

УДК 550.84:553.411.071

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КВАРЦЕВАЯ ГОРА (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)

С.С. Ильин, В.А. Макаров

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

E-mail: IlyinStanislav@yandex.ru

Рассмотрена зональность первичных геохимических ореолов месторождения Кварцевая Гора (Енисейский кряж). На основе данных спектрального анализа керновых проб изучено объемное распределение элементов-спутников золотого оруденения, охарактеризованы вертикальная и поперечная зональности рудно-минерализованной зоны. Охарактеризована изменчивость корреляционных отношений микроэлементов по вертикали в пределах зоны минерализации. Выделены и описаны геохимические ассоциации, в том числе две золотоносных; обоснована связь крупного высокопробного гравитационного золота с наложенной полиметаллической ассоциацией. Сделан вывод о средне-нижнерудном эрозионном срезе объекта.

Ключевые слова:

Золото, Енисейский кряж, месторождение, геохимическая зональность, модель, первичные ореолы, эрозионный срез, геохимические ассоциации.

Key words:

Gold, Enisei ridge, deposit, geochemical zonality, model, primary haloes, erosion level, geochemical associations.

Месторождение Кварцевая Гора расположено в пределах Каменско-Чернореченской структурно-формационной зоны Енисейского кряжа, ограниченной с запада зоной Татарского, а с востока – зоной Ишимбинского глубинных разломов. В металлогеническом плане месторождение относится к Ерудинскому рудному узлу.

По типу оруденения месторождение принадлежит к золото кварцевой малосульфидной формации с содержанием сульфидов до 1,5 %. Морфологический тип оруденения – жильно-прожилковая зона сложного внутреннего строения. Руды месторождения представлены минерализованными двуслюдяными и биотитовыми сланцами, роговиками, метасоматитами кварцевого состава. Главными рудными минералами являются пирротин, пирит, халькопирит, арсенопирит, золото и его соединения. Ближайшим аналогом по вещественному составу руд и геолого-промышленному типу является месторождение «Благодатное».

В строении месторождения принимают участие стратифицированные образования нижнего рифея, представленные отложениями кординской свиты. По результатам разведочных работ они разделены на четыре пачки (снизу вверх): известковистую кварцитовую, переходную, метаалевролитовую и алевросланцевую. Алевросланцевая пачка, в свою очередь, разделена на три горизонта, из которых два верхних являются рудо локализирующими (рис. 1). Молодые отложения представлены мелпалеогеновыми корами выветривания и образованиями палеогеновой и четвертичной систем.

Из интрузивных образований на площади месторождения развиты гранитоиды Татарско-Ахтинского комплекса (R_3ta), представленные породами Нижне-Чиримбинского массива. Тектонический контакт интрузии, представленной гранитами первой фазы внедрения, проходит вдоль восточной границы объекта, рис. 1.

Ключевую роль в структуре месторождения играет Главный надвиг (I), служивший одновременно рудоподводящим каналом и экраном для рудоносных растворов [1]. Главный надвиг разделяет Восточный и Центральный структурные блоки. Строение рудного поля осложнено Подстилающим сдвига-надвигом (II), отделяющим Южный и Центральный структурные блоки. Минерализованная зона расположена в автохтоне Главного надвига и по структурным условиям делится на три участка: Северный, Центральный, Южный. Морфоструктура рудно-минерализованной зоны (РМЗ) на Северном и Южном участках имеет уплощенно-коническую форму, относительно простые и выдержанные параметры залегания. В пределах Северного участка выделяется рудное тело I (РТ-1) выдержанной морфологии и залегания, значительной мощности. При переходе к Центральному участку, приуроченному к ядерной части синклинали руч. Мал. Кварцевого, выдержанное РТ-1 делится на сложно построенный пакет маломощных тел складчатого залегания, формируя структуру «конского хвоста».

Месторождение разведано в 2005–2009 гг. траншеями и колонковыми скважинами по сети 80×40 м со сгущением в центральной части до 40×40 м. В процессе разведки пробы на спектральный анализ отбирались исключительно из керновых проб (7559 проб). Скважины, охваченные спектральным анализом, образуют сеть 160×80 м. Пробы на пробирный анализ на золото отбирались по всем выработкам (всего более 28000 проб).

Содержания золота определялись пробирным анализом в ПАЛ ЗАО «Полюс» (аттестована ОАО «ИРГИРЕДМЕТ» 19.11.2004 г., свидетельство № 43/2004). Геохимические пробы анализировались спектральным анализом на 20 элементов (Ag, As, B, Ba, Be, Bi, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb,

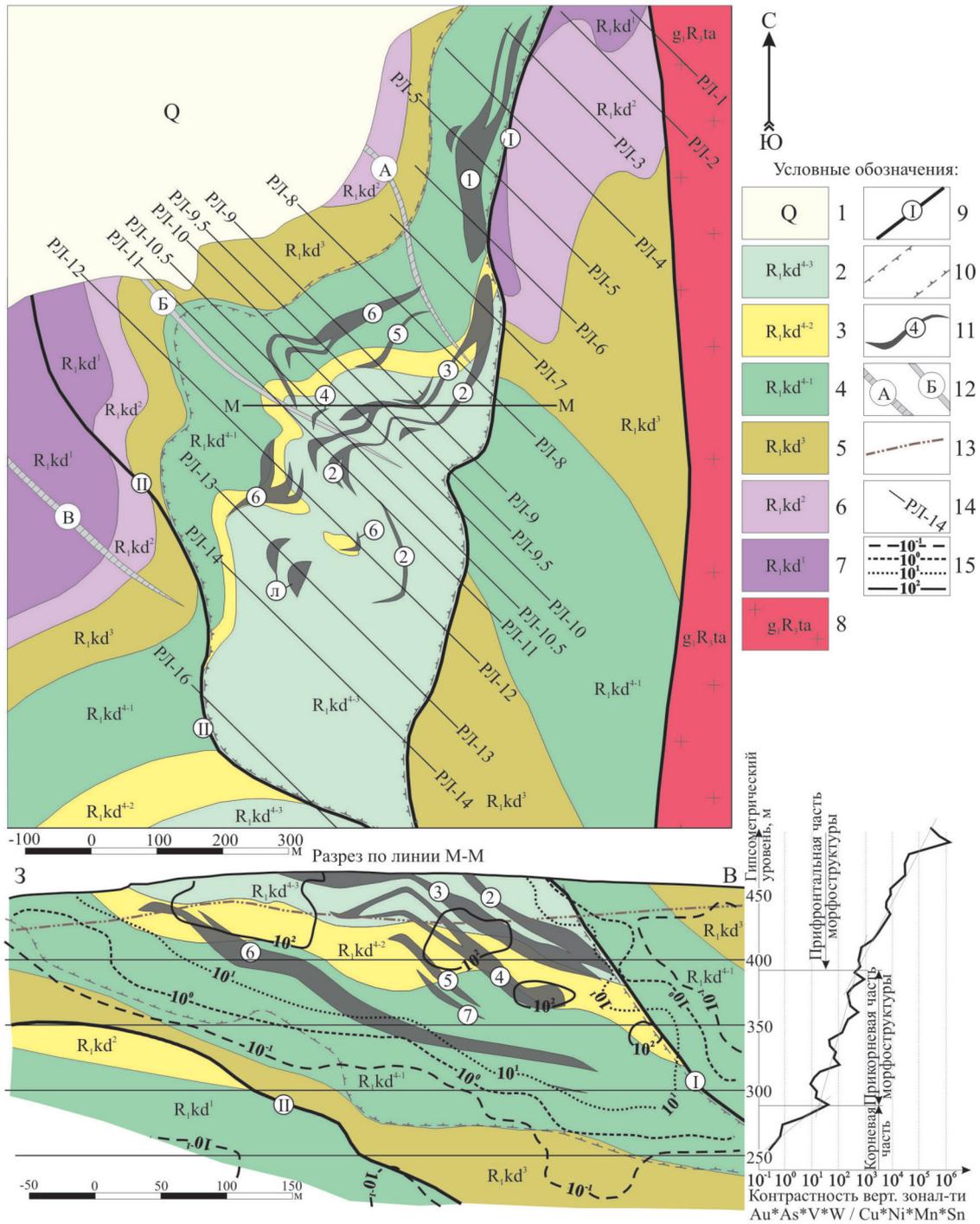


Рис. 1. Геологический план месторождения Кварцевая Гора: 1) четвертичные отложения; 2–5) верхнекординская подсвита (?): 2) верхний горизонт, чередование сланцев, метаалевролитов, метапесчаников; 3) средний горизонт метапесчаников, рудоконтролирующая и рудокализующая структура; 4) нижний горизонт, чередование сланцев, редкие прослои метаалевролитов; 5) метаалевролитовая пачка; 6, 7) среднекординская подсвита (?): 6) переходная пачка, чередование кварцитов, сланцев, метаалевролитов; 7) пачка известковистых кварцитов; 8) гранитоиды Татарско-Аяхтинского комплекса; 9) разрывные нарушения: I – Главный разлом; II – подстилающий разлом; 10) контур рудно-минерализованной зоны; 11) рудные тела, их номера (л – одиночные линзы); 12) оси антиклиналей и синклиналей: А – антиклиналь горы Подкварцевой, Б – синклиналь руч. Мал. Кварцевый, В – антиклиналь горы Кварцевой; 13) граница зоны выветривания; 14) разведочные линии; 15) изоцентры показателя вертикальной зональности $Au \cdot As \cdot V \cdot W / (Cu \cdot Ni \cdot Mn \cdot Sn)$

Sn, Ti, V, W, Zn) в Лаборатории анализа минерального сырья исследовательского центра ЗАО «Поллюс», г. Красноярск (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.22 ЧЦ26). Все геохимические пробы дополнительно подвергались спектрозотометрическому анализу в лаборатории Минусинской геологоразведочной экспедиции (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21 АЮ29).

Элементы Be, Bi, Mo, Sb содержатся на месторождении в количествах, близких к порогу обнаружения. Количество проб ниже порога обнаружения и их доля от общего количества проб составляет 1919 (25 %), 4397 (58 %), 3759 (50 %), 5025 (66 %) соответственно. По этой причине выводы о зональности этих элементов могут быть неоднозначными.

С целью изучения зональности первичных ореолов в горно-геологической системе MicroMine с использованием стандартных процедур было смоделировано распределение микроэлементов в объёме рудного поля. Процесс моделирования распределений элементов включал следующие стадии: оконтуривание геологических образований и структурных элементов на разрезах и планах горизонтов, построение объёмных твердотельных моделей и поверхностей (PM3, основные структуры рудного поля), представление объёма рудного поля в виде блочной модели, интерполяция в модель содержания элементов спутников методом обратных расстояний. Блочная модель кодировалась солидами и поверхностями по геолого-структурным признакам. Указанная модель использовалась для всестороннего изучения геохимической зональности рудного поля.

В таблице приведены средние содержания микроэлементов во вмещающих породах месторождения в сравнении с их кларковыми значениями [5]. Содержания Au, Ag, Be, Co, Cr, Cu, Mo, Nb, Ni, Pb, Sn, V, W, Zn во вмещающих породах рудного поля близки к кларковым значениям (отношение к кларку колеблется от 0,5 до 2,0). Содержания As, B, Bi, Mn, Sb во вмещающих породах по сравнению с кларковыми выше в 2 раза и более (до 10...13 кларков). Содержание бария, напротив, ниже в 4 раза.

По характеру связи с золотоносностью руд все элементы-спутники разделены на 6 групп (рис. 2).

Элементы первой (I) группы (Au, Pb, Be, As, Ti) характеризуются ростом среднего содержания с увеличением золотоносности руд. Для золота и мышьяка величина накопления на рубеже «PM3 –

вмещающие породы» максимальна по сравнению со всеми остальными элементами и составляет 2,2 и 30 раз соответственно. Группа разделена на две подгруппы: а) с линейным возрастанием среднего содержания (Au, Pb, Be); б) с двузонным линейным возрастанием среднего содержания (As, Ti): в бедных и рядовых рудах отмечается быстрый рост до рубежа $Au \geq 1,0$ г/т, который сменяется медленным линейным ростом в более богатых рудах.

Во вторую группу (II) входят элементы с ограниченным ростом среднего содержания при увеличении содержания золота в руде (Co, Mo, W). Среднее содержание элементов данной группы быстро растёт в бедных и рядовых рудах, останавливаясь для руд с $Au \geq 0,6...1,0$ г/т.

К третьей группе (III) отнесены элементы с синусоидальным характером изменения среднего содержания (Ag, B, Mn, Zn). Они характеризуются ростом содержания в бедных рудах (до рубежа $Au = 0,4...0,6$ г/т), снижением его в рядовых рудах и возобновлением роста в богатых рудах (при $Au \geq 1,8...2,0$ г/т).

Элементы с одиночным экстремумом-максимумом в распределении среднего содержания (Ba, Nb, Sb, V) отнесены к группе IV. Среднее содержание этих элементов практически линейно растёт в бедных и рядовых рудах ($Au \leq 0,8...1,0$ г/т), а после достижения максимума начинает снижаться. Снижение может быть двузонным с небольшими сближенными экстремумами максимум-минимум в районе $Au \geq 2,0$ г/т.

Элементы, характеризующиеся практически линейным снижением среднего содержания при переходе к все более продуктивным золотоносным зонам, отнесены к пятой (V) группе (Bi, Cr, Cu, Ni).

Содержания олова, отнесенного к группе VI, очень быстро снижаются при переходе от бедных руд к рядовым, но в рядовых и богатых золотоносных рудах (с порога $Au \geq 1,0$ г/т) олово начинает монотонно накапливаться.

Разделение элементов на такие группы закономерно и отражает гидротермально-метасоматическую природу месторождения. Высокие содержания кобальта и мышьяка коррелируют с пирит-арсенипирит-пирротиновой минерализацией, вместе с которой проявлено золотое оруденение. Обратная связь содержания хрома и золота отражает развитие окварцевания, с которым связана золотоносная минерализация. Минералогическими исследованиями установлено, что золото образует интерметаллиды Au-Ag-Bi-Te. Обратная связь со-

Таблица. Средние содержания микроэлементов во вмещающих породах рудного поля, $n \cdot 10^{-3}$ % (Au, Ag – г/т)

| Au | Ag | As | B | Ba | Be | Bi | Co | Cr | Cu | Выборка |
|--------|-------|------|-----|------|-------|-------|------|------|------|--|
| 0,0026 | 0,068 | 1,24 | 6,4 | 16,1 | 0,201 | 0,163 | 0,93 | 7,3 | 2,9 | Вмещающие породы мест. Кварцевая. Гора |
| 0,0015 | 0,053 | 0,48 | 1,7 | 62,4 | 0,210 | 0,016 | 1,73 | 9,2 | 2,80 | Верх. континент. кора [5] |
| Mn | Mo | Nb | Ni | Pb | Sb | Sn | V | W | Zn | Выборка |
| 44 | 0,072 | 1,00 | 3,1 | 1,5 | 0,548 | 0,35 | 5,9 | 0,17 | 8,1 | Вмещающие породы мест. Кварцевая. Гора |
| 7 | 0,110 | 1,20 | 4,7 | 1,7 | 0,040 | 0,21 | 9,7 | 0,19 | 6,7 | Верх. континент. кора [5] |

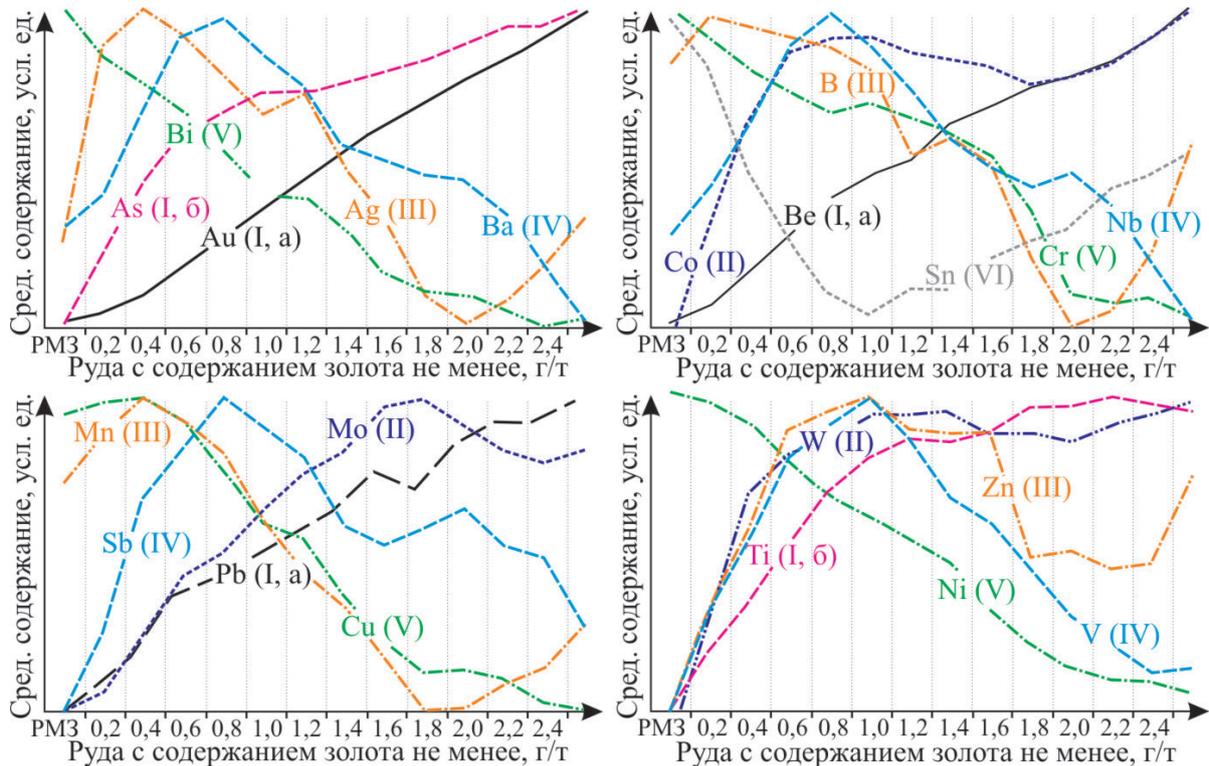


Рис. 2. Связь средних содержаний элементов-спутников в рудах с золотоносностью

держаний висмута отражает тот факт, что крупное и высокопробное золото обычно является интерстиционным и связано с галенитом, а не с интерметаллидами.

По сходству изменения продуктивности ореолов в вертикальном направлении элементы-спутники разделены на 7 групп (рис. 3).

К группе 1 отнесен только ванадий (V), продуктивность ореолов которого полициклично увеличивается с повышением гипсометрического уровня.

В группу 2 входят элементы (Au, As, Co, W), продуктивность которых линейно растёт вверх разреза, но несколько снижается на верхних горизонтах. Наиболее интенсивное и раннее (с горизонта +400...+425 м) снижение продуктивности характерно для ореолов кобальта. Продуктивность ореолов остальных членов группы снижается начиная с отметок +475 м.

Для ореолов микроэлементов группы 3 (Pb, Ba, Mo) характерно субсимметричное изменение продуктивности относительно некоторого гипсометрического уровня. Продуктивность ореолов элементов данной группы возрастает от нижних горизонтов к верхним довольно быстро, но также стремительно снижается после достижения экстремума. Барий и молибден имеют наиболее симметричную форму распределения продуктивности с максимумом на горизонтах +350...+375 м, в отличие от свинца, центр симметрии которого находится выше по разрезу, в районе горизонта +425 м.

Продуктивность ореолов элементов группы 4 (Cr, Zn) слабо растёт от нижних горизонтов к верхним, но быстро снижается после достижения мак-

симума. Экстремум графика изменения продуктивности хрома располагается на горизонте +325...+350 м, в то время как максимум продуктивности ореолов цинка располагается на 75 м выше.

В группу 5 отнесены элементы с синусоидальным характером кривой изменения продуктивности (Bi, Ag, B). Для них характерно некоторое снижение продуктивности по восстанию рудонесных растворов с последующим ростом до определенного гипсометрического уровня. На самых верхних уровнях продуктивность ореолов элементов группы снова снижается. Наиболее близки по характеру изменения продуктивности серебро и бор, при этом серебро также можно отнести и к группе 2, с которой его связывает золотоносная ассоциация.

Ореолы элементов группы 6 (Sb, Ti) характеризуются практически линейным и интенсивным снижением продуктивности при переходе к верхним уровням разреза. Снижение продуктивности ореолов сменяется ее ростом в верхних частях разреза и приурочена к интервалам глубин +425...+425 м, причем для сурьмы эта смена в характере изменения продуктивности наступает раньше. Максимумы продуктивности микроэлементов, относящихся к данной группе, тяготеют к нижним горизонтам.

К группе 7 отнесены элементы, продуктивность ореолов которых снижается вверх по разрезу (Nb, Cu, Ni, Sn, Mn, Be). Их можно разделить на 2 подгруппы: с почти линейным интенсивным снижением по всей вертикали разреза (Nb, Cu, Ni, Sn) и с двузонным снижением продуктивности: слабым на нижних и средних горизонтах и резким в верхней части разреза (Mn, Be).

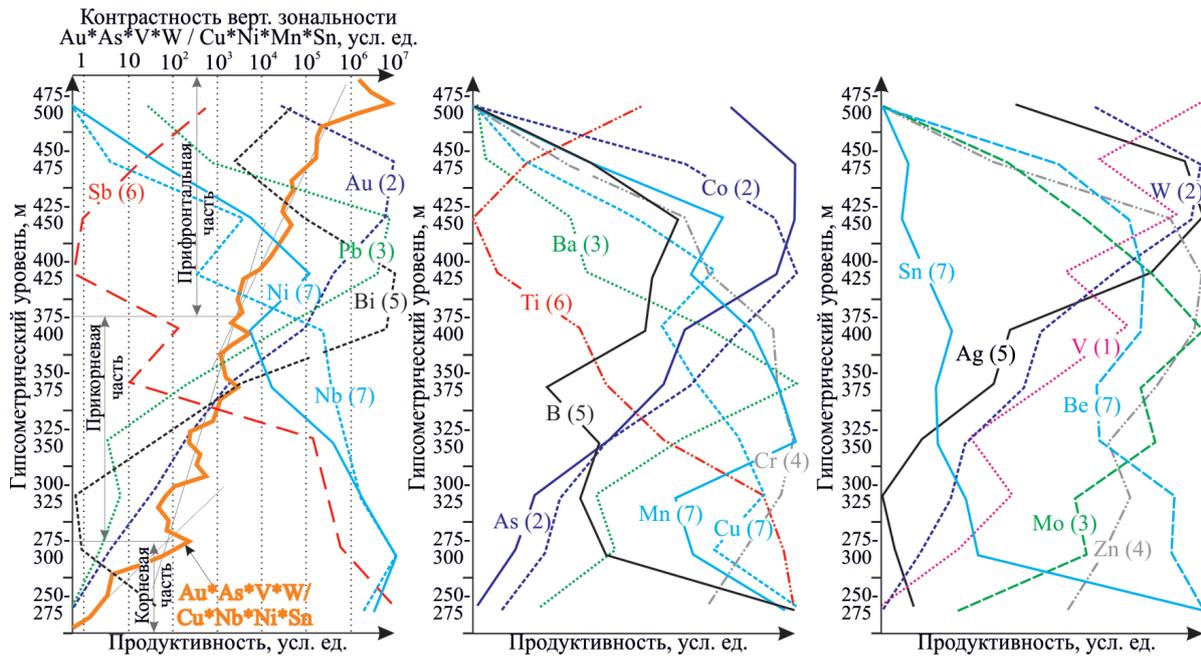


Рис. 3. Вертикальная зональность первичных ореолов золота и элементов-спутников

На основе расчёта погоризонтных продуктивностей и их градиентов для месторождения Кварцевая Гора ряд вертикальной зональности отложения имеет вид (снизу вверх): Sn-Be-Sb-Ti-Ni-Nb-Mn-Cr-Ba-Mo-Bi-Co-Zn-Ag-Pb-B-As-Au-W-V. В общих чертах этот ряд имеет сходство с описанной вертикальной зональностью средне- и высокотемпературных золоторудных месторождений [2]. Значительно отклоняются от классического ряда вольфрам и ванадий, что, очевидно, обусловлено разнообразием минеральных форм, которыми представлены данные элементы. Так, согласно С.В. Григоряну [2], вольфрам шеелита обычно тяготеет к нижним частям гидротермальной колонны, в то время как вольфрамит располагается в более верхних ее частях. Увеличение продуктивности ореолов ванадия по восставанию, возможно, связано с его изоморфными примесями в составе нерудных минералов метасоматитов и вмещающих пород.

Ряд вертикальной зональности в целом и характер распределения отдельных элементов позволяют предложить для оценки уровня эрозионного среза следующий коэффициент: $K_z = Au \cdot As \cdot V \cdot W / (Nb \cdot Ni \cdot Cu \cdot Sn)$. Значения данного коэффициента практически линейно возрастают в $10^6 \dots 10^7$ раз с горизонта +250 м до горизонта +500 м (рис. 3). На графике изменения K_z можно выделить 3 зоны с различным углом наклона, отвечающих различным частям морфоструктуры: до +290 м (корневая часть), +290...+390 м (прикорневая часть), от +390 м (прифронтальная часть). Наиболее интенсивный рост значений K_z происходит в корневой части морфоструктуры, градиент составляет 2 порядка на 25 м. В прикорневой части рост K_z замедляется до 0,35...0,50 порядка на 25 м, отражая начало разгрузки рудоносных растворов. С горизонта +390 м рост значений K_z нес-

колько увеличивается до величины 0,6 порядка на 25 м.

Переходы между частями морфоструктуры РМЗ отчётливо распознаются не только по характеру изменения коэффициента вертикальной зональности, но и по закономерностям эволюции корреляционных связей элементов в РМЗ по направлению движения гидротерм (рис. 4).

Нижние горизонты РМЗ (корневая часть морфоструктуры) характеризуются высокой теснотой и разнообразием корреляционных зависимостей. Количество сильных положительных связей в корневой части РМЗ максимально, но быстро падает с приближением к прикорневой зоне. Средняя величина силы положительных связей снижается даже быстрее, чем количество сильных связей. Данный факт объясняется тем, что на нижнем уровне зарождения РМЗ растворы поступают в сжатую среду по 2–3 подводным каналам и все элементы отлагаются пространственно сближено, что обуславливает их высокую корреляцию.

Вход в прикорневую часть сопровождается небольшим увеличением числа и силы корреляционных зависимостей. С горизонта +325 м наблюдается дальнейшее снижение разнообразия и тесноты связей. Горизонт +375 м является пограничным между прикорневой и прифронтальной частями РМЗ. Вход в прифронтальную часть РМЗ распознается по резкому снижению количества и силы корреляционных зависимостей. Данная тенденция прослеживается вплоть до горизонта +450, который также является пограничным – к нему приурочены резкие изменения в среднем содержании многих элементов. Выше горизонта +450 м фиксируется как рост числа положительных корреляционных зависимостей, так и усиление их тесно-

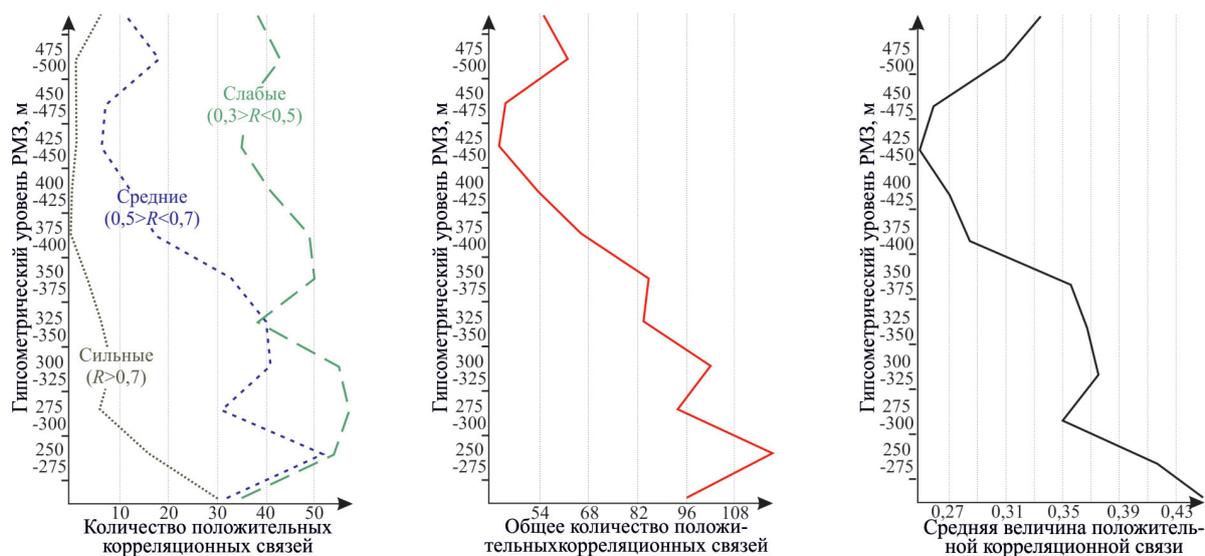


Рис. 4. Эволюция корреляционных связей элементов по восстанию гидротермальной колонны месторождения

ты, что может свидетельствовать о достижении гидротермами некоего равновесия.

Рудно-минерализованная зона характеризуется выраженной симметричной поперечной зональностью, что наиболее явно проявляется на Центральном участке. Большинство элементов в этой части РМЗ характеризуются максимумом содержаний, приуроченным к ее осевой части, и достаточно резким снижением среднего содержания в направлении периферии. Для элементов главной рудоносной ассоциации (As, Au, в меньшей степени W) величина этого снижения максимальна и достигает 1,4...3,4 раз. Северный участок по сумме рангов по всем элементам имеет симметричный характер поперечной зональности, но для отдельно взятых элементов (в том числе и для всей рудоносной ассоциации) устанавливается нарастание среднего содержания на восток (в сторону Главного надвига).

На основе факторного анализа и корреляционных дендрограмм в пределах рудного поля выделены 6 главных геохимических ассоциаций.

Ассоциация Nb-Sb-Ti-Wa является устойчивой и проявляется во всех исследованных доменах (вмещающие породы, РМЗ и руды различного уровня золотоносности) в качестве первого или второго по значимости фактора. Часто данная ассоциация расширяется такими элементами как Mn, V, Cu, Ni, реже Co, W, Pb, Zn. В общем виде данная ассоциация выделена также в рудах и породах месторождения Благодатного, располагающегося в 60 км на север от месторождения Кварцевая Гора. Корреляционная связь внутри ядра ассоциации обычно не менее 0,45. Области повышенных значений фактора, отвечающего данной ассоциации, приходится на Центральный участок РМЗ. По всей видимости, данная ассоциация связана с воздействием гранитоидных массивов и метасоматической проработкой пород рудного поля. При наложении на нее рудного процесса концентрация

элементов, входящих в данную ассоциацию, многократно возрастает, что наглядно видно на более продуктивном Центральном участке. Повышенные значения элементов данной ассоциации также приурочены к пачке R_1kd^2 во вмещающих породах Южного блока.

Комплексная ассоциация (Pb-Zn-Ag)+(Sn-W-Cu-W) наиболее ярко проявляется в РМЗ; ее роль отчетливо возрастает по мере нарастания продуктивности золотоносной минерализации. Во вмещающих породах данная ассоциация обычно более размыта и проявляется в качестве второстепенного фактора. Предположительно данная ассоциация связана с высокотемпературными растворами, отделявшимися от кислых интрузий Татарско-Ахтинского комплекса. Обе составляющие данной комплексной ассоциации могут проявляться раздельно друг от друга. Примечательно, что в рудном поле месторождения Благодатного также присутствует крайне устойчивая и высокая связь между медью и вольфрамом.

Ассоциация, маркирующая развитие гидротермального и метасоматического процессов, объединяет в себе такие элементы как Co, Ni, Zn, Cu, Mn, Cr, к которым могут добавляться V, Pb, W, Ba, Ti, Nb. Ранг данной ассоциации в РМЗ невелик (5–6 факторы), но он возрастает во вмещающих породах (3–4-й факторы).

С золоторудной минерализацией на месторождении связаны две геохимические ассоциации. Наиболее развитой и устойчивой является ассоциация Au-As-Ag-Co-W, проявляющаяся во всех исследованных доменах (вмещающих породах всех трех структурных блоков, РМЗ, рудах различной степени золотоносности). Установлено явное выпадение из данной ассоциации золота в наиболее золотоносных участках. В вертикальном срезе РМЗ данная ассоциация наиболее отчетливо проявляется в интервалах глубин +300...+400 м (прикорневая

часть морфоструктуры). При переходе в прифронтальную часть морфоструктуры связи внутри ассоциации ослабевают. Помимо ослабления связей наблюдается крайне резкое уменьшение влияния серебра в общей дисперсии данного фактора. Выше горизонта +475 м прослеживается связь Au-As-W+Ag, кобальт практически выпадает из данной ассоциации.

Золото-полиметаллическая ассоциация (Pb-Zn-Au-As) проявляется в качестве второстепенного рудно-геохимического фактора. Внутри ассоциации золото сильнее коррелирует со свинцом; серебро связывается с данной ассоциацией только в бедных рудах и очень слабо.

Показательно, что минералогическими и технологическими исследованиями руд на месторождении установлено наличие двух генераций золота: 1) интерстиционное и свободное – крупное, высокой пробности (содержание серебра до 20 %), хорошо раскрываемое и извлекаемое гравитационным способом, золото часто заполняет трещины в арсенопирите вместе с галенитом; 2) интерметаллиды и сростания (включения) золота в сульфидах – мелкое, средней пробности (содержание серебра до 50 %), плохо раскрываемое, извлекаемое преимущественно флотацией. Количественное соотношение генераций золота минералогическим способом не изучено.

В результате проведенных исследований установлен ряд вертикальной зональности на месторождении Кварцевая Гора, на основании которого предложен коэффициент зональности, изменяющийся на 6 и более порядков от корневой части морфоструктуры к низам ее прифронтальной части. Характер изменения коэффициента вертикальной зональности позволяет разделить корневую, прикорневую и прифронтальную части морфоструктуры РМЗ. Исследование парных корреляционных зависимостей микроэлементов по восстанию РМЗ подтверждает разделение морфоструктуры на указанные выше зоны. Совокупность морфоструктурных и геохимических параметров рудно-минерализованной зоны позволяет утверждать о средне-нижнерудном эрозионном срезе рудного поля.

Исследованиями определены и описаны главные геохимические ассоциации рудного поля, в том числе и две рудоносные ассоциации: Au-As-Ag-Co-W и Au-As-Pb-Zn, связанные с первой и второй генерацией золота соответственно. Высокопробное и крупное интерстиционное золото связано с наложенной полиметаллическо-мышьяковистой ассоциацией и, по всей видимости, имеет подчиненное значение. Связь богатых золотоносных руд со второй рудоносной геохимической ассоциацией подтверждается прямой зависимостью между содержаниями золота и свинца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворошилов В.Г. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 104 с.
2. Григорян С.В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке рудных месторождений. – М.: Недра, 1987. – 408 с.
3. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1983. – 191 с.
4. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. – М.: Недра, 1990. – 248 с.
5. Rudnik R.L., Gao S. Composition of the Continental Crust // Treatise on Geochemistry. – Elsevier: Pergamon, 2003. – V. 3. – 659 p.

Поступила 02.11.2011 г.