

Выявление геохимической зональности эндогенного оруденения по вторичным ореолам рассеяния на примере Зыгыркольской зоны (Северный фланг Тырнаузского рудного узла)

С.Г.ПАРАДА (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук» (ЮНЦ РАН); 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41)

Предложен вариант решения задачи объёмного геохимического моделирования рудной зоны в условиях сильно расчленённого рельефа по химико-аналитическим данным, полученным при геохимических поисках по вторичным ореолам рассеяния. Для этого осуществлена ГИС-обработка массива геохимических данных, полученных по результатам литохимической съёмки по вторичным ореолам рассеяния в пределах Северного фланга Тырнаузского рудного узла. Проведён анализ площадного и высотного (по абсолютным отметкам рельефа) распределения геохимических аномалий Au, Ag, Sn, Bi, As, Pb, Zn, Cu, W, Mo, Sb, Mn во вторичных ореолах рассеяния. В результате установлена вертикальная геохимическая зональность Зыгыркольской рудной зоны, отражающая эндогенную зональность оруденения. Она отражена последовательным рядом следующих химических элементов, ранжированных в порядке максимумов проявления по мере продвижения от нижнерудных к надрудным зонам гидротермальной системы: Mn→Bi, Mo→W, Sn→Cu, Ag, Au→Zn, Pb→As→Sb.

Ключевые слова: золото, геохимические аномалии, вторичные ореолы рассеяния, геохимическая зональность, вертикальная зональность, объёмная геохимическая модель, Зыгыркольская зона, Тырнаузский рудный узел, Северный Кавказ.

Парада Сергей Григорьевич
доктор геолого-минералогических наук



parada@ssc-ras.ru

Revealing geochemical zoning of endogenous mineralization by secondary dispersion halos: example from the Zygyrkolskaya gold zone (Northern flank of the Tyrnyauz ore cluster)

S.G.PARADA («Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences»)

A possible solution of the 3-D geochemical ore zone modeling problem of in conditions of strongly rugged topography by the chemical-analytical data obtained in geochemical prospecting by secondary dispersion halos has been suggested. For this purpose, the GIS processing of geochemical data array obtained by results of the lithochemical survey by secondary dispersion halos within the Northern flank of the Tyrnyauz ore cluster has been performed. An analysis of areal and altitude (by absolute relief altitudes) distribution of geochemical Au, Ag, Sn, Bi, As, Pb, Zn, Cu, W, Mo, Sb, Mn anomalies in secondary dispersion halos has been carried out. As a result, the vertical geochemical zoning of the Zygyrkolskaya ore zone, reflecting endogenous mineralization zoning, has been determined. It is reflected in the sequence of the following chemical elements arranged in order of development maxima as they moved from the sub-ore to supra-ore zones of the hydrothermal system: Mn→Bi, Mo→W, Sn→Cu, Ag, Au→Zn, Pb→As→Sb.

Key words: gold, geochemical anomalies, secondary dispersion halos, geochemical zoning, 3-D geochemical model, Zygyrkolskaya zone, Tyrnyauz ore cluster, North Caucasus.

Постановка проблемы и методы исследования. Выявление эндогенной геохимической зональности месторождений и рудных полей – важная задача при оценке перспективности объекта и определении направления поисковых и геологоразведочных работ [5, 8, 15]. Достаточно надёжно она выявляется на основе

изучения первичных ореолов рассеяния рудообразующих элементов при наличии относительно густой сети горных выработок, вскрывших руды различных частей месторождения и вмещающие породы за его пределами, что бывает только на стадии геологической разведки и отработки месторождения. На стадии поисковых

работ таких возможностей обычно нет. Один из основных методов на этой стадии – геохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния. В результате накапливаются огромные массивы химико-аналитических данных, которые обычно не используются для определения эндогенной зональности.

В данной статье предложен новый подход к изучению эндогенной зональности флюидогенных рудных месторождений, основанный на изучении геохимии вторичных ореолов рассеяния. Установлено [4, 15], что в активно денудированных горных районах любых ландшафтно-геохимических зон, благодаря быстрому обновлению ореолов рассеяния для большинства рудных элементов, обнаруживается равенство количества химического элемента в остаточном ореоле рассеяния и в коренных породах, связанное с установившимся динамическим равновесием между привнесом и убылью минералов в зоне гипергенеза. Полученные данные по сопоставлению содержаний рудообразующих элементов в рыхлых отложениях и подстилающих их коренных породах в районе Северного фланга Тырныузского рудного узла и других высокогорных районах Северного Кавказа даже на крутых склонах показали их практически одинаковые значения [10–12, 17]. Таким образом, в зоне гипергенеза должна наследоваться зональность первичных (эндогенных) геохимических ореолов.

Зональность первичных геохимических ореолов характеризуется тремя взаимно перпендикулярными составляющими по направлениям пространственных осей: *X* – вкрест простирания рудоносного объекта (поперечная или латеральная), *Y* – по простиранию рудного объекта (продольная), *Z* – по восстанию или падению рудоносного объекта (осевая или вертикальная) [15]. Очевидно, что при изучении зональности вторичных геохимических ореолов можно определить только её латеральную и продольную составляющие. Вместе с тем при геохимических поисках и оценке оруденения изучение вертикальной зональности имеет особое практическое значение [8]. Автор предполагает, что глубоко расчленённый рельеф даёт возможность определить вертикальную эндогенную зональность по вторичным ореолам рассеяния, то есть решать задачу объёмного геохимического моделирования рудного поля по данным, накопленным в процессе геохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния.

В настоящей статье приводится результат решения такой задачи для Зыгыркольской рудной зоны Гитче-Тырныузского рудного поля (рис. 1), расположенного на Северном фланге Тырныузского рудного узла. В последние годы здесь по результатам поисковых работ, проведённых ООО «Каббалкгеология» под руководством автора, выявлены золотые руды в скарнах и различных метасоматитах [16, 17]. К настоящему времени достаточно подробно изучены состав руд и типоморфизм самородного золота, а также геологическое

строение рудного поля и геолого-геофизические условия локализации золотых руд [2, 6, 9, 13, 14, 17].

Приведём результаты специальной обработки химико-аналитических данных, полученных при площадной геохимической съёмке Северного фланга Тырныузского рудного узла (всего 7120 проб, проанализированных на Au и 25 других рудообразующих элементов). Она включала получение статистических характеристик для каждого элемента, множественный корреляционный анализ, построение карт распределения во вторичных ореолах рассеяния химических элементов в программе Golden Software Surfer 10 и выявление геохимических аномалий каждого элемента. После чего производился анализ площадного распределения и высотного (гипсометрического) положения геохимических аномалий, их связей с геохимическими аномалиями золота.

Анализ распределения геохимических аномалий в пределах Северного фланга Тырныузского рудного узла. Анализ площадного распределения аномалий рудообразующих химических элементов во вторичных ореолах рассеяния относительно различных геологических комплексов позволяет сгруппировать изученные элементы по следующим признакам:

- 1) элементы, пространственная позиция которых определяется только положением Зыгыркольской (основной) рудоносной тектонической зоны (Sn, Bi, W);
- 2) элементы, пространственная позиция которых определяется в первую очередь положением Зыгыркольской зоны в целом, в меньшей степени положением нижней части вулканического комплекса кызыл-кольской свиты (Cu, Zn, Au, Co);
- 3) элементы, пространственная позиция которых определяется в первую очередь положением Зыгыркольской зоны в целом, в меньшей степени положением Хромитовой и Таверсинчикульской тектоническими зонами (Ag, As, Au, Pb, Zn, Sb, W);
- 4) элементы, пространственная позиция которых определяется положением ультрабазитов и развитых по ним лиственинов и кварц-карбонатных метасоматитов (Cr, Ni, Co);
- 5) элементы, положительные аномалии которых пространственно совпадают с положительными аномалиями золота: Ag, Cu, Sn, Pb, Zn, W, Mo, Bi, As, Sb, Mn.

Для целей настоящего исследования имеют значение Au и последние 11 элементов, благодаря которым Зыгыркольская рудоносная зона чётко проявилась в геохимических полях (рис. 2).

Золото является основным рудообразующим элементом Гитче-Тырныузского рудного поля, имеющим промышленное значение. В пределах Зыгыркольской рудной зоны геохимические аномалии Au образуют практически сплошной ореол, ограниченный с северо-запада экзоконтактной зоной палеозойской интрузии кварцевых диоритов (см. рисунки 2 и 3). С исчезновением интрузии в северо-восточном направлении исчезает и геохимический ореол золота. То же самое

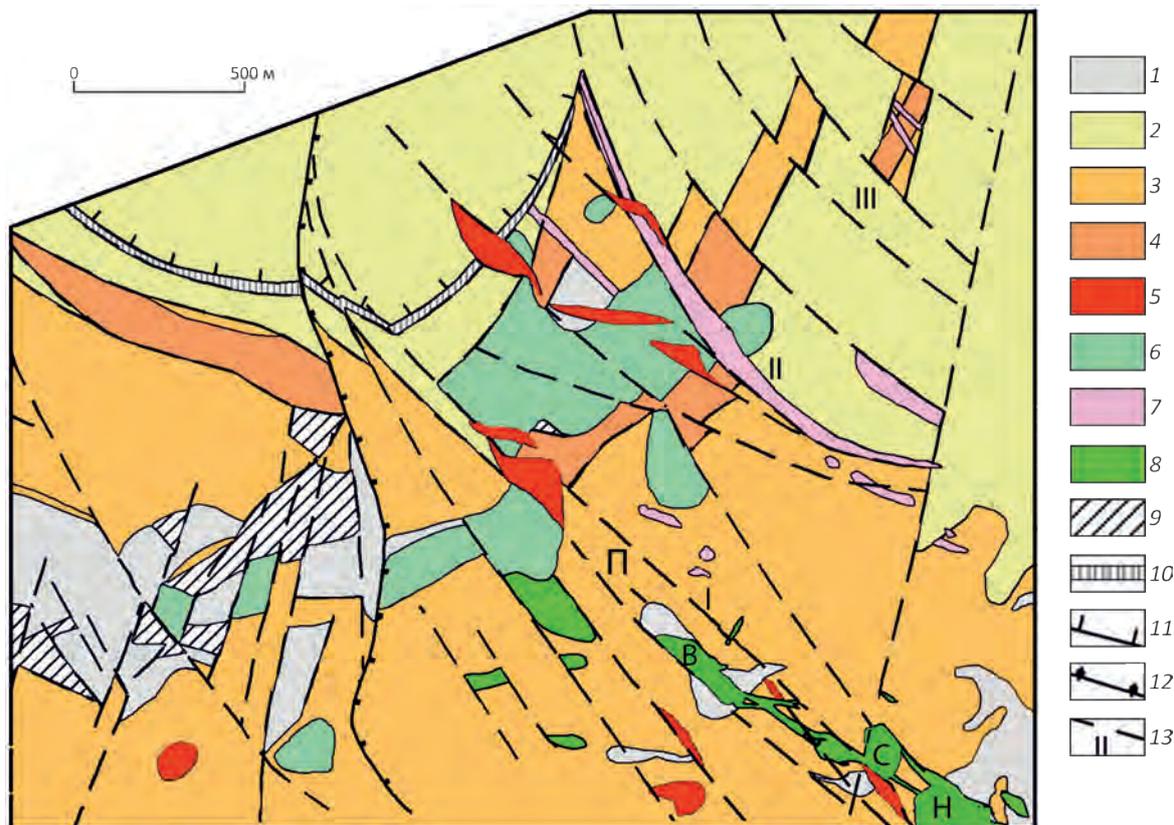


Рис. 1. Геологические комплексы Северного фланга Тырныаузского рудного узла:

1–4 – стратифицированные образования: 1 – карбонатный комплекс ($D_3 - C_1$), 2 – континентальные обломочный (молассовый) комплекс ($D_2 - C_3$), 3 – осадочно-вулканогенный комплекс (D_2), 4 – морской терригенный комплекс (D_1); 5–7 – интрузивные породы: 5 – тырныаузский комплекс лейкократовых гранитов альпийского магматического цикла, 6 – чучкурский комплекс диорит-гранодиорит-порфировый гипабиссальный позднегерцинского магматического цикла, 7 – комплекс гипербазитов герцинского магматического цикла; 8–10 – гидротермально-метасоматические образования: 8 – скарны (П – Перевальный, В – Верхний, С – Средний, Н – Нижний), 9 – кварц-карбонатные метасоматиты, 10 – лиственизированные милониты; 11–13 – разрывные нарушения: 11–12 – надвиги: 11 – продольный и 12 – поперечный, 13 – тектонические зоны сбросо-взбросового типа, включая наиболее крупные (I – Зыгыркольская, II – Хромитовая, III – Таверсинчикольская)

происходит и в юго-западном направлении. В меньшем масштабе подобная ситуация отмечается у южной рамки площади, где геохимический ореол Au полностью занимает экзоконтактовую зону небольшого штока кварцевых диорит-порфиров.

В целом аномалии золота интенсивностью 0,1 г/т и выше обнаружены на всех гипсометрических уровнях рудного поля от 2500 до 3350 м. Наиболее интенсивные из них (более 0,5 г/т) расположены в пределах Зыгыркольской зоны, где совпадают с выходами на поверхность скарнов (включая проекцию на поверхность слепого Перевального скарна) и альпийских даек лейкократовых гранитов, вместе с которыми вытягиваются цепочкой в северо-западном направлении. Наибольшая по площади геохимическая аномалия интенсивностью до 8 г/т связана с Нижним скарновым телом, в котором выявлено промышленное золотое орудене-

ние. Далее на северо-запад площадь таких интенсивных геохимических аномалий золота сокращается в соответствии с уменьшением площадей выходов скарновых тел (Среднего, Верхнего и далее слепого Перевального). Северо-западнее Перевального скарна небольшая интенсивная аномалия соответствует выходу штокообразного тела альпийского лейкократового гранита.

Серия небольших по площади локальных геохимических аномалий с содержанием золота 0,1–0,5 г/т располагается в северной части территории в пределах развития обломочного (молассового) комплекса, где они составляют центральные зоны небольших по площади и интенсивности геохимических аномалий, проявленных в связи с кварцево-жильными и сульфидно-вкрапленными рудопроявлениями сурьмы. Содержания золота 0,1–0,5 г/т обычно отмечаются по 1–2 пробам.

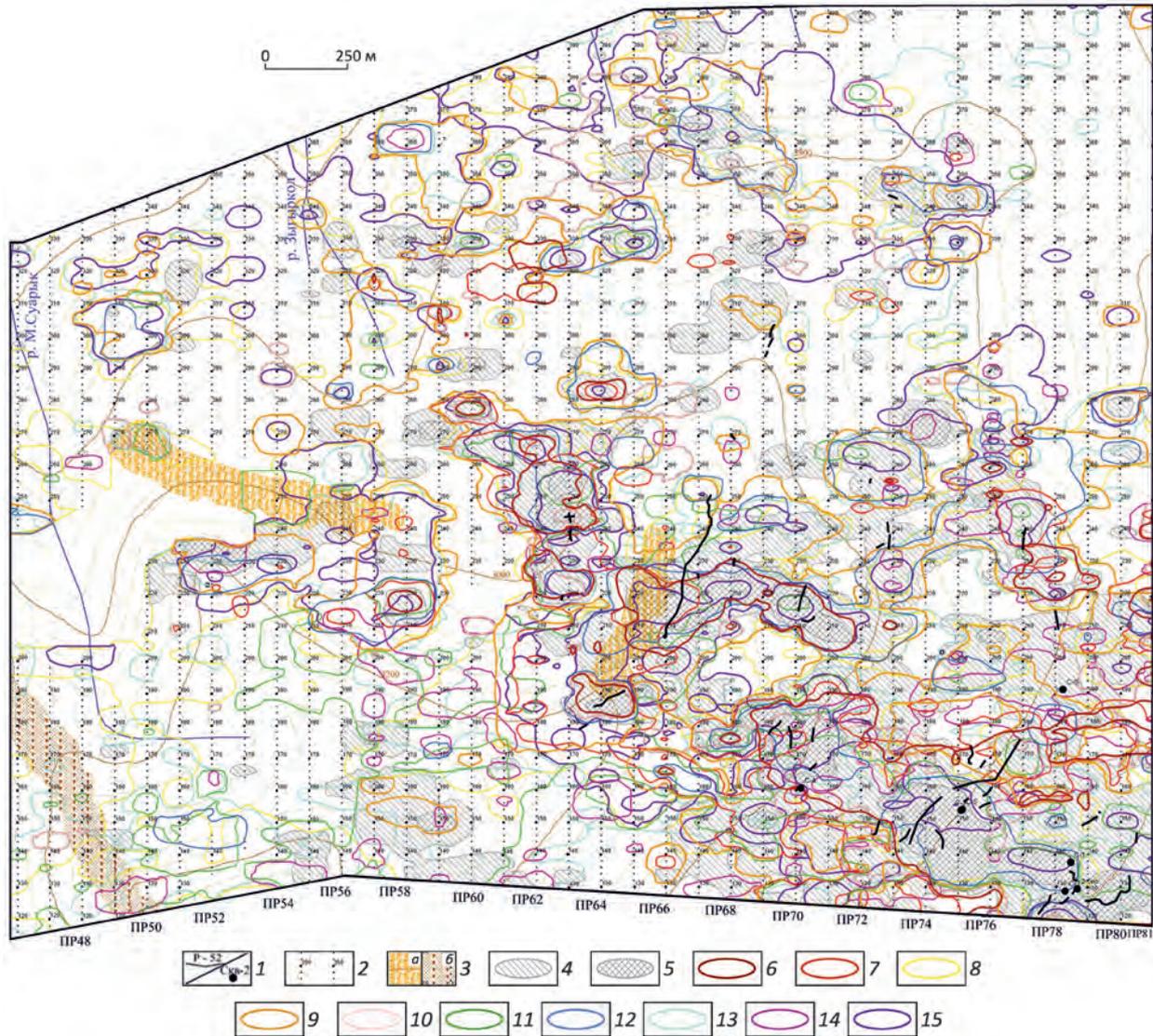


Рис. 2. Сводная карта геохимических аномалий золота и других (коррелируемых с золотом) рудообразующих элементов во вторичных ореолах рассеяния Северного фланга Тырнауэзского рудного узла:

1 – горные выработки и скважины; 2 – поисковая сеть; 3 – элементы рельефа: а – остаточные ледниковые хребты, б – обвально-осыпные накопления; 4–15 – геохимические аномалии элементов: 4–5 – золото: 4 – 0,014–0,1 г/т, 5 – 0,1–8,0 г/т, 6–15 – содержание рудообразующих элементов (в $\mu\text{г}/\text{г}$): 6 – олово $\geq 0,99$, 7 – висмут $\geq 0,27$, 8 – мышьяк $\geq 12,1$, 9 – серебро $\geq 0,05$, 10 – вольфрам $\geq 0,7$, 11 – медь $\geq 11,6$, 12 – свинец $\geq 9,6$, 13 – цинк $\geq 23,2$, 14 – молибден $\geq 0,68$, 15 – сурьма $\geq 3,05$

Ещё три геохимические аномалии, в центральных частях которых содержания золота составляют 0,1–0,5 г/т, приурочены к участкам кварц-карбонатных метасоматитов на контакте верхнедевонско-нижнекаменноугольных известняков и среднедевонских вулканитов.

Таким образом, распределение аномалий золота в пределах изученной площади определяется, прежде всего, наиболее молодыми разломами северо-западного простирания, фиксируемыми альпийскими дайками лейкократовых гранитов и золотоносными скарнами. В

южной половине небольшие геохимические аномалии золота контролируются, скорее всего, разломом северо-восточного простирания и связаны с кварц-карбонатными метасоматитами. На севере изученной территории малые размеры имеют аномалии, связанные с кварц-антимонитовыми жилами и сульфидной вкрапленностью в терригенных породах верхнекаменноугольной молассы.

Содержания золота во вторичных ореолах рассеяния имеют относительно слабые положительные корреляционные связи со следующими элементами (по

степени убывания коэффициента корреляции): Ag 0,54; Sn 0,45; Bi 0,42; As 0,39; Pb 0,37; Zn 0,25; Cu 0,23; W 0,22; Mo 0,21; Sb 0,12; Mn 0,12. В целом на исследуемой площади аномалии всех перечисленных элементов обычно более-менее совпадают с аномалиями золота (см. рис. 2). Дальнейшее описание элементов приведено в порядке уменьшения коэффициента корреляции с золотом.

Серебро. Геохимические аномалии Ag в основном совпадают с геохимическими аномалиями Au (см. рисунки 2 и 3). Это хорошо заметно в пределах Зыгыркольской рудоносной зоны, где наиболее интенсивные аномалии Ag (5 г/т и более) практически совмещены по площади с наиболее интенсивными аномалиями Au и приурочены к выходам тел золотоносных скарнов – Нижнего, Среднего, Верхнего – и проекцией на поверхность слепого Перевального скарна, а также с небольшим штоком лейкократового гранита.

Следует отметить, что в юго-восточном углу изучаемого района как слабые, так и интенсивные аномалии Ag по площади меньше, чем соответствующие по интенсивности аномалии Au. В северо-западном направлении картина меняется на противоположную, а именно – аномалии Ag становятся всё более широкими, превосходящими по площади соответствующие по интенсивности аномалии Au. А в северной части территории аномалии Ag значительно превосходят по площади аномалии Au и часто не совпадают с ними.

В целом аномалии Ag контролируются теми же геологическими факторами, что и аномалии Au. Однако у северной рамки территории появляются новые самостоятельные для Ag геологические факторы контроля. Это свинцово-сурьмяные рудопоявления.

Гипсометрическое положение аномалий Ag в пределах Зыгыркольской зоны практически совпадает с таковым для аномалий Au. Однако, в отличие от аномалий Au, аномалии Ag не поднимаются выше изолинии рельефа 3200 м.

Олово. В площадном распределении геохимических аномалий Sn во вторичных ореолах рассеяния намечается площадная неравномерность их распределения (см. рисунки 2 и 3). Аномалии Sn, являясь менее распространёнными по площади, чем Au, располагаются внутри последних. Отмечается чёткая закономерная приуроченность наиболее интенсивных частей аномалий Sn к выходам скарновых тел. Важная особенность распределения аномалий Sn заключается в том, что их наиболее интенсивные части фиксируют наиболее вскрытые Нижний и Верхний золотоносные скарны. Средний скарн выделяется менее интенсивной аномалией, а вот не выходящий на поверхность Перевальный скарн практически не фиксируется в аномалиях Sn. В целом аномалии Sn не поднимаются выше абсолютной отметки 3040 м.

Другая важная особенность – постепенное сокращение площади аномалий Sn и уменьшение их интенсив-

ности в северо-западном направлении. Этот факт в совокупности с сокращением площади аномалий может свидетельствовать об уменьшении уровня эрозионного среза рудоносных образований в северо-западном направлении. Если это так, то Средний скарн эродирован в меньшей степени, чем Верхний и Нижний скарны.

Висмут. В пределах изученной территории аномалии Bi практически совпадают по площади с аномалиями Au (см. рисунки 2 и 3). Отмечается чёткая закономерная приуроченность наиболее интенсивных частей аномалий Bi к выходам скарновых тел. При этом они не поднимаются выше абсолютных отметок рельефа 3100 м. Меньше всего в аномалиях Bi выражен Верхний скарн, что, скорее всего, связано с геохимической зональностью оруденения, обусловленной минералогическими особенностями продуктивной минерализации [17]. В районе Нижнего скарна наиболее интенсивные аномалии Bi распространены шире, чем наиболее интенсивные аномалии Au, в районе Среднего скарна отмечается полное совпадение, а в районе Верхнего и Перевального скарнов происходит смещение к юго-западу слабых и интенсивных аномалий Bi относительно соответствующих аномалий Au. На севере изученной территории выделяются геохимические аномалии Bi, не совпадающие с аномалиями Au. Наиболее контрастная из них совпадает только с аномалией Sn. Аномалий Ag там нет.

Слабые по интенсивности аномалии Bi, совпадающие с аномалиями Au, приурочены к Хромитовой зоне разломов, где расположена наиболее крупная дайка метасоматически изменённых серпентинитов.

Мышьяк. В пределах изученной территории аномалии As в целом совпадают по площади с аномалиями Au (см. рисунки 2 и 3). Отмечается приуроченность наиболее интенсивных частей аномалий As к выходам скарновых тел. Меньше всего в интенсивных аномалиях As проявлены Нижний и Средний скарны. При этом они не отмечаются ниже абсолютных отметок 2900 м. В районе Верхнего скарна начинают появляться наиболее интенсивные аномалии As. Больше всего их отмечено на участке поверхности, расположенном непосредственно над слепым Перевальным скарном, а также над минерализованным штоком лейкократового гранита. Таким образом, в северо-западном направлении интенсивность и площади геохимических аномалий As увеличиваются. Увеличиваются и их гипсометрические отметки до 3240 м. Далее на северо-запад площади аномалий начинают заметно сокращаться, а их интенсивность уменьшаться.

Следует отметить смещение аномалий As в западном и юго-западном направлениях относительно аномалий Au. На северной половине территории аномалии As уже не связаны с аномалиями Au. Таким образом, увеличение интенсивности и площади аномалий As в пределах Зыгыркольской зоны, вероятнее всего, связано с уменьшением глубины эрозионного среза этой рудоносной структуры.

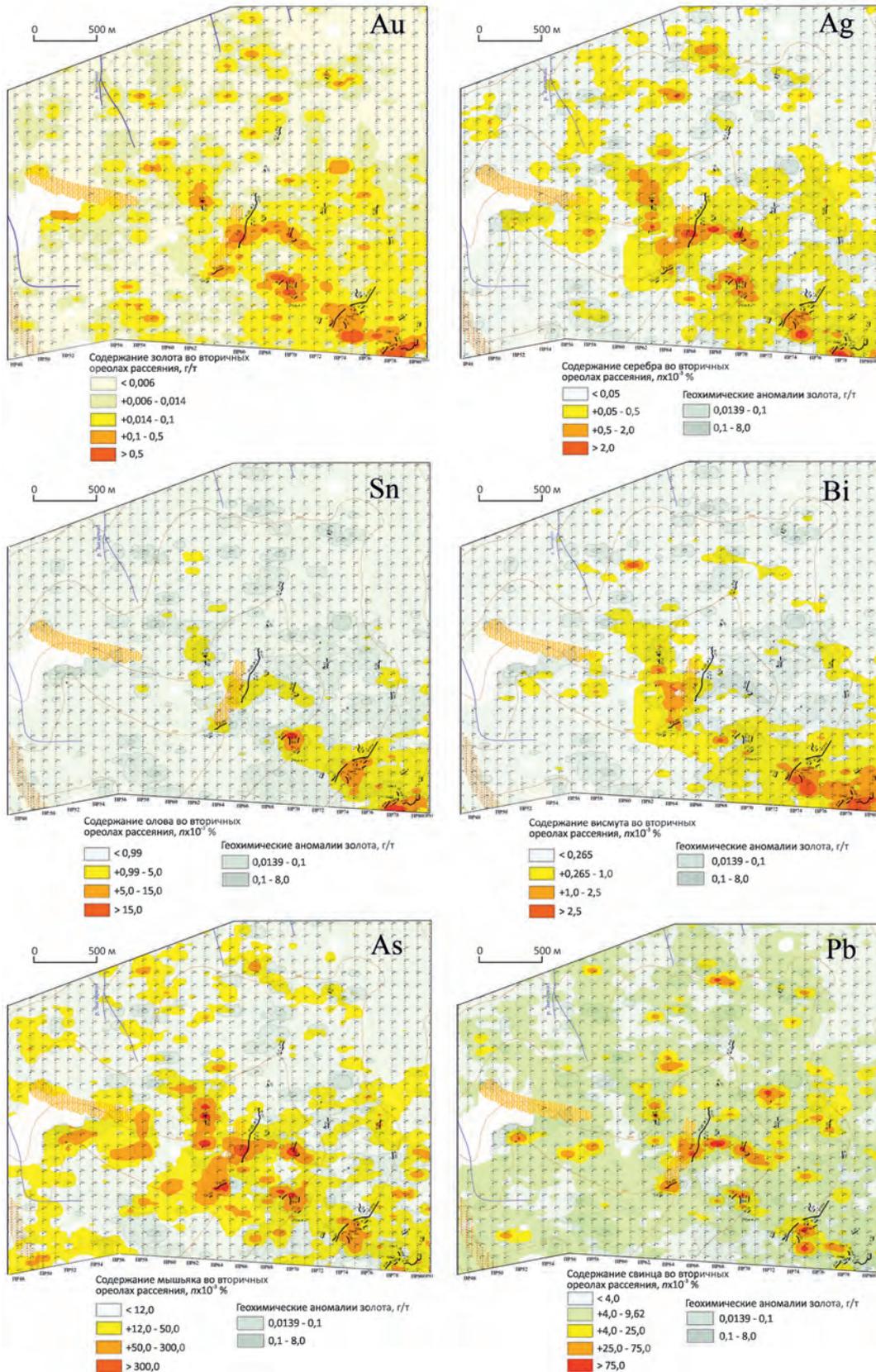


Рис. 3. Распределение Au, Ag, Sn, Pb, As, Cu во вторичных ореолах рассеяния Северного фланга Тырнаузского рудного узла

На северо-востоке исследуемого участка цепочки аномалий As северо-западного простирания, по-видимому, связаны с параллельными Зыгыркольской зоне Хромитовым и Таверсинчикольским разломами.

Свинец. В пределах изученной территории аномалии Pb в целом совпадают по площади с аномалиями Au (см. рисунки 2 и 3). Аномалии Pb занимают меньшую площадь, чем аномалии Au и, в отличие от предыдущих элементов, располагаются внутри площадей развития наиболее интенсивных аномалий Au. При этом данные аномалии Pb расположены в интервале высот от 2780 до 3200 м. В южной половине территории аномалии Pb приурочены к отдельным выходам среднепалеозойских известняков. Несколько мелких аномалий Pb не совпадают с аномалиями Au. Две из них в северной части участка связаны с рудопроявлениями Sb, ещё одна, расположенная у южной рамки участка, связана с небольшим штоком альпийских диоритов, и ещё две связаны с кварц-карбонатными метасоматитами.

Наиболее интенсивные и наибольшие по площади аномалии Pb развиты на хребте Гитче-Тырныауз в районе не выходящего на поверхность Перевального скарна, две аномалии поменьше развиты в районе наименее вскрытого Среднего скарна. Таким образом, очевидно, что увеличение интенсивности и площади аномалий Pb в пределах Зыгыркольской зоны связано с уменьшением глубины денудационного среза этой рудоносной структуры.

Ещё одна аномалия Pb отмечается в районе северной группы рудопоявлений свинца и сурьмы в пределах молассового комплекса обломочных пород. Всё это может свидетельствовать о том, что свинец наиболее развит в верхних и надрудных частях золотоносных тел и фиксирует низкий уровень их эрозионного среза.

На северо-востоке участка цепочки аномалий Pb северо-западного простирания связаны с разломами данного направления – Хромитовым и Таверсинчикольским.

Цинк. Распределение геохимических аномалий Zn принципиально отличается от распределения аномалий описанных ранее химических элементов (см. рисунки 2 и 4). В целом намечается близширотное – северо-восточное простирание одной из групп аномалий Zn, соответствующее простиранию продуктивной на стратиформное оруденение Cu и Zn кызылкольской свиты. Другие цепочки аномалий Zn вытягиваются в северо-западном направлении, в соответствии с простиранием молодых золотоносных разломов. Это Зыгыркольская, Хромитовая и Таверсинчикольская зоны. В целом аномалии Zn не отмечаются ниже 2700 м, а у южной границы достигают высот 3360 м. В пределах наиболее продуктивной на золото Зыгыркольской зоны аномалии Zn (как и аномалии Pb) совпадают по площади с ядрами наиболее интенсивных аномалий Au.

Таким образом, распределение аномалий Zn на изученной площади обусловлено двумя основными факторами: 1) выходами потенциально рудоносной в отно-

шении Cu и Zn кизилкольской вулканогенной свиты, 2) северо-западными тектоническими зонами, контролирующими оруденение альпийской гидротермальной рудной системы.

Медь. В площадном распределении геохимических аномалий Cu во вторичных ореолах рассеяния есть заметные отличия, связанные, прежде всего, со значительно меньшей площадью их распространения (см. рисунки 2 и 4). Вместе с тем эти аномалии охватывают весь интервал высот рудного поля от 2500 до 3360 м. Другое отличие заключается в том, что аномалии Cu не распространяются на север и северо-восток территории за пределы Зыгыркольской зоны.

Первым фактором, определяющим распределение аномалий Cu в пространстве, является наличие медноколчеданных рудопоявлений, связанных с продуктивной вулканогенной толщей кызылкольской свиты. Они вытягиваются в субширотном направлении вдоль южной границы изученной территории, в соответствии с простиранием вулканогенной толщи.

Вторым фактором, определяющим распределение аномалий Cu в пространстве, является Зыгыркольская минерализованная зона разломов, которая фиксируется цепочкой наиболее интенсивных аномалий Cu, совпадающих с наиболее интенсивными аномалиями Au. В пределах других северо-западных зон разломов (Хромитового и Таверсинчикольского) аномалии Cu отсутствуют.

Вольфрам. Этот элемент является главным рудным компонентом Тырныаузского Mo-W месторождения, примыкающего с юго-востока к изучаемой территории. В связи с этим на изучаемой площади неоднократно проводились поисковые работы на вольфрам, однако промышленное оруденение здесь не выявлено.

Вольфрам, также как Zn и Cu, не обладает достаточно очевидной корреляционной связью с Au ($r=0,22$). Важное отличие площадного распределения геохимических аномалий W во вторичных ореолах рассеяния от распределения всех предыдущих элементов – локализация наиболее интенсивных аномалий в основном только в пределах Зыгыркольской зоны и у северной рамки территории в районе северного окончания ареала сурьмяных рудопоявлений (см. рисунки 2 и 4). Можно также считать, что этот северный участок интенсивной аномалии W приурочен к окончанию крупной дайки серпентинизированных ультрабазитов Хромитовой зоны, где она уходит под тектонический покров. Если рассмотреть характер изменения геохимических аномалий W в пространстве, то от осевой части хребта Гитче-Тырныауз их интенсивность возрастает в юго-восточном направлении от Перевального скарна (минимальная) до Нижнего скарна (максимальная). Далее на юго-восток она, скорее всего, продолжает нарастать в связи с наличием там шеелитового оруденения.

В пределах Зыгыркольской зоны геохимические аномалии W полностью находятся в контурах геохимических аномалий Au. При этом наиболее интенсивные из

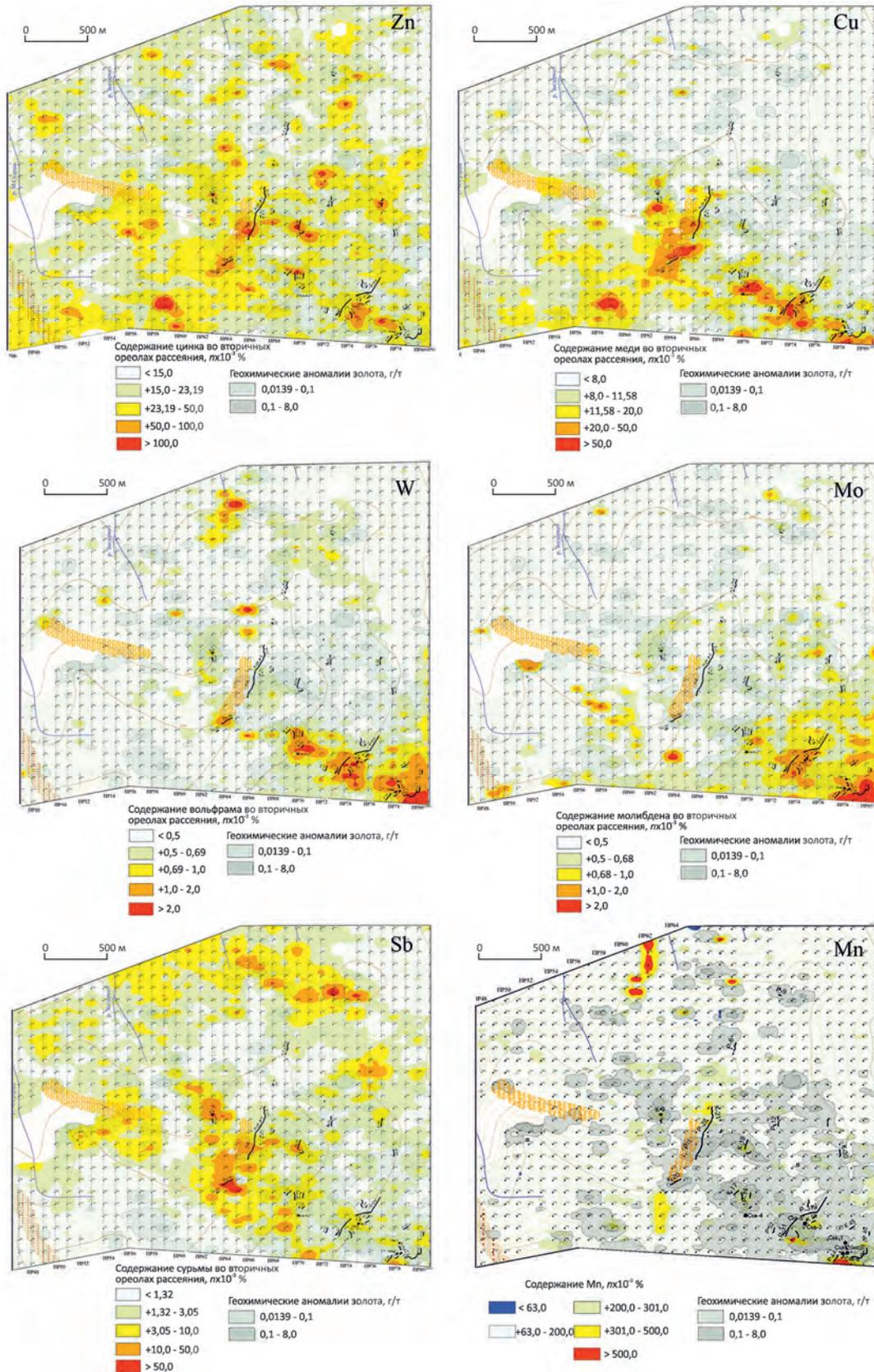


Рис. 4. Распределение Au, Zn, Cu, W, Mo, Sb, Mn во вторичных ореолах рассеяния Северного фланга Тырнауэзского рудного узла

них не поднимаются выше отметок 3000 м. В районе Среднего скарна наиболее интенсивные аномалии W полностью совпадают с наиболее интенсивными аномалиями Au. В районах Верхнего и Нижнего скарнов ареалы наиболее интенсивных аномалий W шире ареалов наиболее интенсивных аномалий Au. Примерно тоже самое, но не по площади, а по интенсивности, отмечалось ранее для Sn. Это подтверждает высказанное выше предположение о более глубоком эрозионном срезе Верхнего и Нижнего скарнов относительно Среднего скарна. Не выходящий на поверхность Перевальный скарн вообще не отражается в геохимических аномалиях W, но обнаруживается по относительно слабоинтенсивным аномалиям Sn. Таким образом, W, как и Sn, в геохимических аномалиях вторичных ореолов рассеяния характеризует наиболее глубокие части золоторудной системы. При этом, если аномалии W в пределах Зыгыркольской зоны связаны только с выходами скарнов на дневную поверхность, то аномалии Sn проявляются над не выходящими на поверхность рудоносными скарнами. Последнее может быть обусловлено наличием ещё и кайнозойского этапа оловянного оруденения в секущих скарны жильно-прожилковых и сульфидно-вкрапленных минерализациях.

Таким образом, основными геологическими факторами, контролирующими проявление аномалий W во вторичных ореолах рассеяния, являются минерализованные зоны разломов северо-западного простирания (Зыгыркольская и в меньшей степени Таверсинчикольская) и выходы рудоносных скарнов.

Молибден. Положительные аномалии Mo занимают в основном юго-восточный угол территории, где располагаются внутри контура аномалий Au, а иногда выходят за его пределы, то есть распространены шире, чем аномалии Au (см. рисунки 2 и 4). Наиболее интенсивные из них совпадают с наиболее интенсивными аномалиями Au и приурочены здесь к выходам Среднего и Нижнего скарнов. При этом они не поднимаются выше абсолютных отметок рельефа 2800 м. В районе Верхнего скарна площадь интенсивной аномалии Mo заметно меньше площади наиболее интенсивной аномалии Au. Не выходящий на поверхность Перевальный скарн в аномалиях Mo не отражается. Далее на северо-запад от Перевального скарна отмечаются отдельные точечные аномалии Mo внутри более широкого контура аномалий Au. Одна цепочка аномалий Mo, совпадающих с аномалиями Au, связана с Хромитовой зоной разломов, другая цепочка аномалий Mo выделяется западнее Зыгыркольской зоны и параллельна ей. Здесь аномалии Mo имеют самостоятельное, не связанное с аномалиями Au значение и приурочены к выходам небольших тел скарнов и пироксен-плагиоклазовых метасоматитов. Наиболее интенсивная и обширная по площади из них приурочена к кварц-карбонатным породам и совпадает здесь с наиболее интенсивной аномалией Au.

В целом главными факторами контроля геохимических аномалий Mo являются наличие северо-западных разломных зон, выходов скарнов и близость к очагу кайнозойского магматизма.

Сурьма. Распределение этого элемента в пределах изученной территории, так же как в отношении W и Mo, представляет особый интерес, в том числе и поисковый, потому что в пределах изученной территории проявлено сурьмяное оруденение в виде Мало-Тырныаузского месторождения и нескольких рудопроявлений. Вся изученная территория в целом обладает повышенным фоном Sb. При этом Sb практически не обнаруживает корреляционной связи с золотом ($r=0,12$).

Можно выделить четыре обособленные группы геохимических аномалий Sb во вторичных ореолах рассеяния (см. рисунки 2 и 4), контролируемых различными геологическими факторами. Первая из них приурочена к Зыгыркольской зоне разломов, от осевой части которой аномалии смещены к юго-западу так, что наиболее интенсивные не совпадают с выходами золотоносных скарнов. Последние проявляются в мелких аномалиях Sb слабой интенсивности. Цепочка интенсивных аномалий Sb протягивается в северо-западном направлении параллельно Зыгыркольской зоне до области Перевального скарна. Здесь, в осевой части хребта Гитче-Тырныауз, отмечается самая интенсивная аномалия Sb, которая своей северной частью совпадает с интенсивной аномалией Au. Далее на северо-восток эта аномалия, но с несколько меньшей интенсивностью продолжается до района Перевального скарна, где также совпадает с другой интенсивной аномалией Au. Аномалии Sb, совмещённые с геохимическими аномалиями Au, проявляются также в области кайнозойской интрузии лейкократового гранита, расположенного севернее Перевального скарна. В целом в пределах Зыгыркольской зоны аномалии Sb располагаются выше отметок 3000 м.

По цепочке аномалий Sb намечается самостоятельная минерализованная зона северо-западного простирания, параллельная Зыгыркольской зоне, которая продолжается далее на северо-запад, где расширяясь образует обширную площадную аномалию с несколькими ядрами повышенной интенсивности. Эти ядра совпадают с аномалиями Au и приурочены к полю развития кварц-карбонатных пород.

Именно по конфигурациям аномалий Sb наиболее чётко проявляются минерализованные разломные зоны северо-восточного простирания. На их пересечении с северо-западными разломами аномалии Sb вытягиваются в северо-восточном направлении. Особенно масштабная северо-восточная структура проявляется в осевой части хребта Гитче-Тырныауз, где она, пересекая последний и протягиваясь далее в северо-восточном направлении, создаёт третий ареал геохимических аномалий Sb. Этот обширный ареал аномалий Sb не совпадает с аномалиями Au и отражает ареал распространения

рудопроявлений сурьмы, аналогичных расположенному севернее Мало-Тырныаузскому месторождению. Поскольку в районе месторождения геохимические пробы не отбирались, так как вся его площадь представляет защищенную глубоко в коренные породы площадку, то, по-видимому, данная геохимическая аномалия Sb протягивается на север через месторождение до слияния с другой (четвёртой) группой геохимических аномалий Sb. Эта группа аномалий местами совпадает с аномалиями Au и контролируется областью развития кварц-антимонитовых жил и прожилков. В западном направлении интенсивность аномалий ослабевает, и уже на левобережье руч. Зыгыркол они распадаются на несколько меньших по площади и интенсивности аномалий Sb, несвязанных с аномалиями Au.

В целом, если учесть даже минимальную корреляционную связь Sb и Au, можно предположить, что геохимические аномалии Sb контролируют надрудный (в отношении золота) срез рудоносных структур. Косвенно это подтверждается значительным расширением наиболее интенсивных аномалий Sb в районах не вскрытого Перевального скарна и области развития кварц-сурьмяных жил и прожилков.

Марганец. Этот элемент, так же как и Sb, практически не обладает корреляционной связью с Au ($r=0,12$). Площадное распределение положительных аномалий Mn характеризуется проявлением наиболее интенсивных аномалий марганца у северной рамки и в юго-восточном углу территории (см. рисунки 2 и 4). В юго-восточном углу исследуемой площади аномалии Mn совпадают с центральными частями наиболее интенсивных аномалий Au и приурочены к Нижнему и Среднему скарнам. В целом наиболее интенсивные аномалии Mn не распространяются выше абсолютных отметок 2800 м. Менее интенсивные аномалии Mn приурочены к Верхнему скарну и к осевой части хребта Гитче-Тырныауз в районе Перевального скарна, а также небольшого штока кайнозойских лейкократовых гранитов. Северная группа положительных аномалий Mn характеризуется повышенной интенсивностью.

В целом геологические факторы, контролирующие аномалии Mn в пределах Зыгыркольской зоны разло-

мов, очевидны – это наиболее глубоко эродированные тела скарнов преимущественно гранатового состава. Поэтому содержания Mn во вторичных ореолах рассеяния можно использовать как показатель наибольшей глубины денудационного среза рудоносных структур. Северная группа геохимических аномалий Mn связана, скорее всего, с первично осадочными концентрациями Mn, контролируемые локальными фациальными условиями седиментогенеза.

Вертикальная геохимическая зональность оруденения Зыгыркольской зоны. Результаты анализа положения геохимических аномалий по отношению к уровню денудационного среза золотоносных скарнов в пределах Зыгыркольской рудной зоны в условиях резко расчленённого рельефа позволяют определить вертикальную геохимическую зональность оруденения (см. таблицу).

Таким образом, данная модель, отражающая вертикальную геохимическую зональность золотого оруденения в совокупности с комплектом моноэлементных карт, характеризующих горизонтальную зональность, позволяет в соответствии с [7] получить представление об объёмной эндогенной геохимической зональности золотого оруденения Зыгыркольской зоны. Она выражена последовательным рядом следующих химических элементов, ранжированных в порядке максимумов проявления по мере продвижения от нижнерудных к надрудным и от центральных к периферическим зонам гидротермальной рудообразующей системы: Mn→Bi, Mo→W, Sn→Cu, Ag, Au→Zn, Pb→As→Sb.

В соответствии с классификацией, приведённой в работе [3], проявленную зональность можно отнести к внутреннему подтипу конформного типа. Данная геохимическая зональность отражает с одной стороны металлогеническую зональность рудного поля, с другой – уровень эрозионного среза рудоносной структуры. Очевидно, что участки одиночных геохимических аномалий Sb указывают на минимальный эрозионный срез золотоносной структуры, а участки развития только аномалий Mn указывают на её максимальный срез.

Для более точной оценки уровня среза золотоносных структур обычно используются отношения групп

Модель вертикальной геохимической зональности золотого оруденения Зыгыркольской зоны Северного фланга Тырныаузского рудного узла

Золотоносный участок	Sb	As	Pb	Zn	Au	Cu	Ag	Bi	W	Sn	Mo	Mn	Абсолютные отметки рельефа, м	
													min	max
Перевальный	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	3100	3300
Верхний	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	2900	3100
Средний	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	2700	2900
Нижний	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	2500	2700

Примечание. Наличие геохимической аномалии элемента: «+» – совпадающей с геохимической аномалией Au, «-» – не совпадающей.

индикаторных элементов, отражающих минимальный и максимальный срез, например в [1, 15]. Вычисленные значения индикаторного отношения $Ag \times Pb \times Sb / W \times Co \times Mo$ для геохимических аномалий разных сегментов Зыгыркольской зоны подтвердили надрудный уровень среза для геохимических аномалий над не выходящим на поверхность Перевальным скарном (605), верхнерудный срез для участка Среднего скарна (0,21) и среднерудный для Нижнего скарна (0,01), что не противоречит геологическим данным и результатам поисковых работ.

По представленным материалам можно сделать следующие выводы:

1. Подтверждена гипотеза о том, что в условиях сильно расчленённого горного рельефа возможно осуществлять объёмное геохимическое моделирование оруденения на основе химико-аналитических данных, полученных при геохимических поисках по вторичным ореолам рассеяния.

2. Осуществлена ГИС-обработка массива химико-аналитических данных, полученных по результатам литохимической съёмки по вторичным ореолам рассеяния в пределах Северного фланга Тырныузского рудного узла.

3. На основе анализа площадного и высотного (гипсометрического) распределения геохимических аномалий рудообразующих элементов во вторичных ореолах рассеяния установлена эндогенная геохимическая зональность оруденения Зыгыркольской зоны Северного фланга Тырныузского рудного узла. Она отражена последовательным рядом химических элементов, ранжированных в порядке максимумов проявления по мере продвижения от нижнерудных к надрудным и от центральных к фронтальным зонам гидротермальной рудообразующей системы: $Mn \rightarrow Bi$, $Mo \rightarrow W$, $Sn \rightarrow Cu$, Ag , $Au \rightarrow Zn$, $Pb \rightarrow As \rightarrow Sb$.

Работа выполнена в рамках реализации Государственного задания ЮНЦ РАН на 2019 г. № госрегистрации АААА-А19-119011190181-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворошилов В.Г. О взаимосвязи структуры аномально-геохимического поля с механизмом формирования гидротермальной системы // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. № 4. С. 35–40.
2. Геофизические методы при поисках золоторудной минерализации на флангах Тырныузского рудного узла / В.А.Тарасов, М.С.Емкужева, С.Г.Парада, В.В.Столяров // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2015. № 1. С. 109–117.
3. Геохимическая зональность металлогенических зон, рудных районов и узлов / Ю.Н.Николаев, Л.А.Криночкин, А.А.Головин, В.А.Дамбаев // Разведка и охрана недр. 2004. № 32. С. 31–36.
4. Кокин А.В., Троценко В.В. Зональность эндогенных рудных месторождений, как отражение фундаментальных свойств химических элементов // Наука Юга России. 2016. Т. 12. № 2. С. 28–42.
5. Кременецкий А.А. Поисковые геолого-геохимические модели рудных месторождений: проблемы и решения // Разведка и охрана недр. 2009. № 5. С. 3–7.
6. Маркин М.Ю., Столяров В.В., Шишкалов И.Ю. Геологические условия локализации золотого оруденения северного фланга Тырныузского рудного поля // Вестник Южного научного центра. 2014. Т. 10. № 2. С. 44–51.
7. Методы геохимической томографии и их использование в практике геологоразведочных работ / А.И.Бураго, С.А.Шлыков, В.А.Бураго, Н.П.Митрофанов // Разведка и охрана недр. 2013. № 11. С. 36–41.
8. Миляев С.А. Комплекс геохимических признаков для обоснования прогноза оруденения на глубину (на примере месторождений золотосульфидно-кварцевой и золотосеребряной формаций) // Отечественная геология. 2016. № 2. С. 53–58.
9. Опыт применения крупномасштабной магнитной съёмки при поисках золотого оруденения в восточной части Передового хребта (Кабардино-Балкарская республика) / А.С.Емкужева, С.Г.Парада, В.В.Столяров, В.А.Тарасов // Геология и геофизика Юга России. 2013. № 3. С. 3–19.
10. Парада С.Г., Холод Ю.В., Шишкалов И.Ю. Геохимия вторичных ореолов рассеяния Малка-Муштинского рудного узла (Северный Кавказ) // Вестник Южного научного центра. 2011. Т. 7. № 3. С. 55–60.
11. Первые химико-аналитические данные о платиноносности Беденского серпентинитового массива (Карачаево-Черкесская республика) / С.Г.Парада, М.Ю.Маркин, В.В.Столяров, И.Ю.Шишкалов // Доклады Академии наук. 2014. Т. 454. № 5. С. 567–570.
12. Проявление потенциально платиноносных гипербазитов в геохимических аномалиях Ni, Cr и Co на примере восточной части Передового хребта (Кабардино-Балкарская республика) / С.Г.Парада, В.В.Столяров, М.Ю.Маркин, И.Ю.Шишкалов // Геология и геофизика Юга России. 2014. № 2. С. 42–54.
13. Столяров В.В. Прогнозно-поисковая модель золотого оруденения в скарнах Северного фланга Тырныузского рудного поля (Кабардино-Балкарская республика) // Руды и металлы. 2015. № 3. С. 25–37.
14. Столяров В.В. Стадийность минералообразования в золотосульфидных рудах северного фланга Тырныузского рудного поля (Кабардино-Балкарская республика) // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013. № 2. С. 30–33.
15. Чекваидзе В.Б., Миляев С.А., Исакович И.З. Комплексная петрографо-минералого-геохимическая методика поисков золоторудных месторождений. – М.: «Бородино-Е», 2004.
16. Parada S.G., Popov Yu.V., Stolyarov V.V. New Type of Gold Mineralization of the Tyrnyauz Ore Cluster (Kabardino-Balkar Republic) // Doklady Earth Sciences. 2017. Vol. 477. Part 1. P. 1256–1259.
17. Parada S.G., Stolyarov V.V. Relation of Gold Mineralization on the Northern Flank of the Tyrnyauz Deposit to Intrusive Complexes, Kabardino-Balkar Republic // Doklady Earth Sciences. 2012. Т. 445. № 2. С. 939–942.