



УДК 553.411'497.2.071:550.4(571.56)

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ БЕТЮГЕНСКОГО ЗОЛОТОСУРЬМЯНОГО РУДНОГО ПОЛЯ (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))

Р. Ю. Гаврилов, В. Г. Ворошилов, В. С. Сенкевич, Н. Э. Тямисов, В. В. Широков

На площади Бетюгенского рудного поля проведены ревизионные геолого-геохимические работы, направленные на локализацию золотосурьмяного типа оруденения. В основу исследования аномальной структуры геохимического поля положены результаты литогеохимического опробования по вторичным ореолам рассеяния. Установлено концентрически-зональное строение геохимических ореолов, контролирующих золотосурьмяную минерализацию. Анализ пространственного размещения моноэлементных аномалий и многомерных геохимических показателей позволил выявить зональность аномального геохимического поля, которая выражена в смене следующих геохимических ассоциаций (по мере удаления от рудных зон): Ni, Co, Pb, Cu → Pb, B, Sn, Ni, Co → Mn, Pb, Sn, Co → Cu, Pb, Ni. В результате проведенных исследований локализованы площади, перспективные на золотосурьмяное оруденение: два участка первой очереди и три – второй.

Ключевые слова: Бетюгенское рудное поле, золотосурьмяное оруденение, аномальная структура геохимического поля, геохимическая зональность, вторичные ореолы рассеяния.

GEOCHEMICAL ZONATION OF THE BETYUGEN GOLD-ANTIMONY ORE FIELD (SAKHA (YAKUTIYA) REPUBLIC)

R. Yu. Gavrilov, V. G. Voroshilov, V. S. Senkevich, N. E. Tyamisso, V. V. Shirokov

Checking geological and geochemical survey was carried out at the Betyugen ore field to outline the gold-antimony mineralization. The study of abnormal structure of the geochemical field was based on litho-geochemical testing results on secondary scattering halos. The geochemical halos controlling the gold-antimony mineralization were found to have a concentric-zonal structure. Analysis of spatial position of mono-elemental anomalies and multidimensional geochemical indicators revealed zonation of the abnormal geochemical field, which is evident in alternation of the following geochemical associations (with distance from the ore zones): Ni, Co, Pb, Cu → Pb, B, Sn, Ni, Co → Mn, Pb, Sn, Co → Cu, Pb, Ni. The studies allowed outlining of areas promising for gold-antimony mineralization: two areas of the first priority and three areas of the second priority.

Keywords: Betyugen ore field, gold-antimony mineralization, abnormal structure of geochemical field, geochemical zonation, secondary scattering halos.

Постановка задачи

Золото – наиболее ликвидный благородный металл, вследствие чего его добыча является приоритетной задачей для обеспечения экономической безопасности Российской Федерации. Одним из перспективных направлений наращивания потенциала золоторудных месторождений следует считать проведение ревизионных работ на объектах, открытых в период «золотого века» советской геологии (1970–1980-е гг.). Это обусловлено целым рядом причин: сокращение запасов на эксплуатируемых месторождениях; отсутствие подготовленных объектов для воспроизводства минерально-сырьевой базы действующих горнодобывающих предприятий; неоднозначность выводов о потенциально перспективных объектах, сделанных в процессе поисковых работ прежних лет; появление новых подходов к обработке геохимической информации [1–3].

Цель данной работы – расшифровка геохимической зональности, моделирование аномальной структуры геохимического поля (АСГП) золотосурьмяного оруденения на площади Бетюгенского руд-

ного поля и выделение перспективных участков для постановки дальнейших геолого-разведочных работ.

Методика исследования

Сотрудниками ФГУП «СНИИГГиМС» в 2013 г. на площади Бетюгенского рудного поля (рис. 1) выполнена литохимическая съемка по вторичным ореолам рассеяния. Опробование проведено по сети 200×20 м, для участка детализации – 100×20 м. Из коры выветривания, развитой по осадочным породам деленжинской свиты (P₂dl), и перекрывающих четвертичных отложений отобрано более 3000 проб. Содержания золота определены химико-спектральным методом, элементов – спутников оруденения – эмиссионным спектральным полуколичественным анализом. Все анализы проведены в аттестованной и аккредитованной Центральной геологической лаборатории (структурное подразделение УГПП Республики Саха (Якутия) «Якутскгеология»). Рассчитаны фоновые и минимально аномальные содержания элементов, построены карты распределения аномальных концентраций химических элементов и комплексных показателей (КП).



Рис. 1. Схема расположения Бетюгенского рудного поля

При составлении геолого-геохимической модели использовались моноэлементные карты, расчеты мультипликативных показателей (МП) и показателя интенсивности геохимических преобразований, методы непараметрической (ранговая корреляция) и многомерной (кластерный и факторный анализы) статистики.

Краткий очерк геологического строения рудного поля

Геологическая позиция площади дана на основании представлений В. В. Масленникова, в 1978 г. проводившего на ней геолого-съёмочные работы.

Бетюгенское рудное поле (рис. 2) расположено на правом склоне истока р. Бетюген – правого притока р. Кыра (левобережье р. Дулгалах) и приурочено к своду крупной Дулгалахской антиклинали в месте воздымания ее шарнира и изгиба оси (сопровождающегося виргацией) на участке Бытантайского поперечного поднятия. В металлогеническом отношении рудное поле является частью Кимпиче-Берелехского серебрянорудного узла [5].

На исследуемой площади прослеживается монотонная толща (мощностью более 400 м) черных углистых алевролитов нижней подсвиты дулгалахской свиты (верхняя пермь), смятая в симметричную антиклинальную складку северо-восточного (50°) простирания. Падение крыльев крутое (65–75°). Юго-восточное крыло антиклинали осложнено двумя дополнительными складками с размахом крыльев до первых сотен метров.

Установлены два типа разломов: продольные северо-восточного простирания (крутопадающие сбросы, пологопадающие внутри- и межпластовые срывы) и поперечные северо-западного простирания (крутопадающие сбросо-сдвиги). С поперечными разломами связаны две дайки кварцевых

диорит-порфировитов предположительно мелового возраста, установленные в 6 км южнее рудопроявления. Дайки насыщены тонкой вкрапленностью пирита и характеризуются слабыми магнитными свойствами.

Установленная вблизи рудопроявления наиболее интенсивная магнитная аномалия предположительно связана с интрузивным телом средне-кислого состава, не выходящим на дневную поверхность.

Наиболее распространены в рудном поле пологопадающие межпластовые срывы, в которых локализуется существенная часть рудных тел и кварцевых жил. Некоторые крутопадающие продольные разрывные нарушения также характеризуются наличием оруденения. В поперечных разрывных нарушениях установлено одно рудное тело. Многочисленные трещины кливажа осевой поверхности, разбивающие алевролиты на тонкие пластинки, затрудняют определение истинного положения слоистости.

На площади Бетюгенского рудного поля выявлено 10 сурьмянорудных тел. Компактные, с четкими ровными контактами кварцевые жилы мощностью 0,5–1,6 м, в редких случаях до 6,5 м прослеживаются по простиранию до 200 м. Вместе с тем рудные тела образуют сложную комбинацию залежей и секущих крутопадающих жил, весьма изменчивых по простиранию и, очевидно, по падению.

Обсуждение результатов и выводы

В результате корреляционного анализа установлено, что Au проявляет устойчивую положительную корреляционную связь с Sb и As, а As, в свою очередь, – с В. Таким образом, следует обратить особое внимание на распределение содержания бора и ассоциаций элементов, в которые этот элемент входит.

Бор пространственно ассоциирует с комплексом аномалий Ni, Mn, Co, Sn, Cu, Pb. Для получения дополнительной информации о строении аномального геохимического поля были вычислены многомерные показатели, включающие эти элементы, и проанализирована взаимосвязь их пространственного распределения с золотосурьмяной минерализацией. Статистические расчеты КП проведены с использованием показателя энергии рудообразования, факторного и кластерного анализов.

Показатель энергии рудообразования, характеризующий интенсивность процессов массопереноса вещества, предложен Н. И. Сафроновым [4]:

$$E_n = \sum_{i=1}^n K_i \ln K_i, \text{ где } K_i - \text{коэффициент концентрации}$$

элемента относительно кларка.

Значения показателя на поисковом участке варьируют в широких пределах – от –1,9 до 68 (в безразмерных единицах). Высококонтрастные

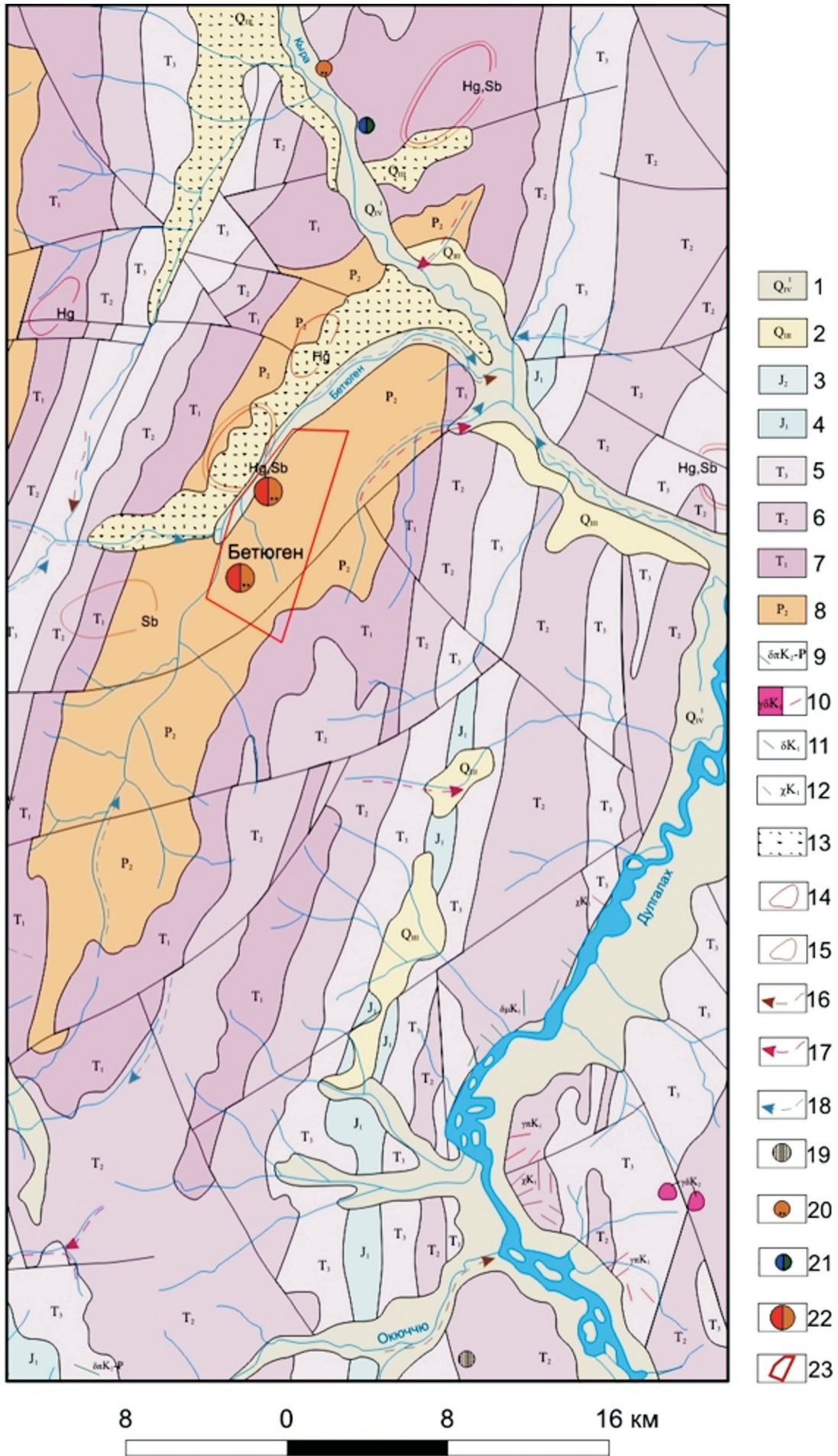




Рис. 2. Схема геологического строения района работ

1 – морские пески, алевритовые глины первой морской террасы; 2 – аллювиальные и озерно-аллювиальные: галечники, супеси, илы, торф; отложения вероятно криогенно-эолового происхождения (супеси, суглинки, пески), морские (илы, пески, галечники); 3 – средний отдел: песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты гравелиты, туфопесчаники, туфоалевролиты, туффиты, андезиты, базальты, туфы; 4 – нижний отдел: песчаники, конгломераты, алевролиты, аргиллиты, туфоалевролиты, туфопесчаники, туффиты, известняки; 5 – верхний отдел: песчаники, конгломераты, алевролиты, аргиллиты, туфоалевролиты, туфопесчаники, туффиты, туфы, известняки; 6 – средний отдел: песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты, известняки; 7 – нижний отдел: алевролиты, аргиллиты, песчаники, известняки, туфогенные породы; 8 – верхний отдел: песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки, угли, конгломераты, андезитовые и диабазовые порфириды, туфы; 9 – диориты (δ), диоритовые порфириды (δл), андезитовые порфириды (αл), андезиты (α); 10 – гранодиориты (γδ), гранодиорит-порфиры (γδл); 11 – диориты (δ), диоритовые порфириды (δл), кварцевые диоритовые порфириды (qδл), андезитовые порфириды (αл), кварцевые диориты (qδ); 12 – лампрофиры; 13 – делювиальные и элювиально-делювиальные отложения; 14–15 – геохимические аномалии: 14 – Hg (>0,001 %), 15 – Sb (>0,01 %); 16–18 – шлиховые потоки: 16 – касситерита (до 1 г/т³), 17 – киновари (знаки), 18 – циркона, монацита, куларита (до >100 г/т³); 19 – олово (точка минерализации); 20 – сурьма (рудопоявление); 21 – кобальт, свинец (рудопоявление); 22 – золотосурьмяное рудопоявление; 23 – контур лицензионного участка

положительные ореолы (>10), занимающие ограниченные территории, распространены в южной и северной частях площади по периферии известных рудопоявлений. Сами золотосурьмяные проявления расположены в пределах ореолов со значениями 3–5, что свидетельствует о парагенетической связи комплекса рассматриваемых элементов с золотосурьмяным оруденением. Кроме того, крупные и достаточно интенсивные (>5) ореолы показателя картируются в центральной части участка, что, вероятнее всего, связано с массовым сносом обломочного материала различного состава в долину водотока.

Таким образом, показатель энергии рудообразования отражает в данном случае не только интенсивность рудообразующего процесса, но и гипергенные преобразования в меняющихся ландшафтных условиях. Соответственно, этот показатель (как и другие показатели «интенсивности») нельзя напрямую использовать для оконтуривания перспективных участков.

Для выявления ассоциаций рудогенных элементов с синхронным поведением в геохимических процессах был проведен факторный анализ (табл. 1). Выделены три ассоциации, вклад которых в общую дисперсию составляет 60 %: *B, Pb, Sn* – фактор 1; *Mn, Co, Sn* – фактор 2; *Ni, Cu, Co* – фактор 3.

Все факторы «рудные», т. е. элементы, характеризующиеся максимальными нагрузками на эти факторы, участвовали в рудном процессе.

Фактор 1 (вклад в общую дисперсию 21 %) в большинстве случаев пространственно ассоциирует с ранее определенными рудопоявлениями и геохимическими аномалиями золота. Аномальные ореолы фактора окаймляют известные рудопоявления. Ореолы представлены линейными, изометричными и дугвыми формами. Еще несколько структур подобного типа располагаются в центральной и южной части площади. Они приурочены к долине безымянного водотока и пространственно ассоциируют с первичными ореолами мышьяка и сурьмы. Фактор 1, судя по составу,

отражает интенсивность воздействия на вмещающие породы не вскрытой гранитоидной интрузии, маркируя, видимо, ее куполовидные выступы.

Таким же вкладом в общую дисперсию характеризуется фактор 2. Ореолы его повышенных значений имеют преимущественно дугвые и линейно вытянутые очертания. Высокие ореолы фактора окаймляют золотосурьмяную минерализацию дугвыми структурами. На южной границе площади высокие значения фактора пространственно частично совмещены с первичными ореолами мышьяка и сурьмы. Генетическая интерпретация фактора 2 – это процесс выноса элементов за пределы рудных зон и их переотложение на периферии этих зон.

Фактор 3 определяет около 18 % общей дисперсии. Наибольший вклад в его значение вносит *Ni*. Аномальные значения фактора совпадают с проявлениями золотосурьмяной минерализации, а также образуют отдельные ореолы на всей поисковой площади. Судя по составу и пространственному положению аномалий, фактор 3 отражает суммарное воздействие гипогенных и гипергенных процессов на наиболее подвижные элементы.

Геохимические ассоциации элементов, выделенные по результатам факторного анализа,

Таблица 1

Матрица факторных нагрузок

Элемент	Фактор		
	1	2	3
Sn	0,57	0,48	0,09
Pb	0,75	0,16	0,07
Cu	0,33	0,10	0,45
Co	0,17	0,64	0,43
Ni	–0,06	–0,07	0,92
B	0,71	–0,32	0,04
Mn	–0,08	0,86	–0,15
Вклад, %	21,0	21,0	18,0

Примечание. Жирным шрифтом выделены факторные нагрузки элементов, вносящих основной вклад в соответствующий фактор.



Рис. 3. Результаты кластерного анализа проб по вторичным ореолам рассеяния

образуют концентрически-зональные структуры, приуроченные к ранее установленным золотосурьмяным рудопрооявлениям. Однако наблюдается некоторое отличие в строении ореолов и их расположении относительно указанных рудопрооявлений. От центральной части к периферии элементный состав ореолов изменяется следующим образом: в южной части – *Ni, Cu, Co* → *B, Pb, Sn* → *Mn, Co, Sn*, в северной части – *Ni, Cu, Co* → *Mn, Co, Sn* → *B, Pb, Sn*. Если южное рудопрооявление приурочено к центральной части концентрически-зональной структуры, то северное – к ее периферии. Данные отличия могут быть связаны как с различным уровнем эрозионного среза рудопрооявлений, так и со значительной мощностью отложений, перекрывающих северную часть площади.

С использованием *кластер-анализа* построена иерархическая структура корреляционных взаимосвязей химических элементов (рис. 3): 1) *Mn, Co*; 2) *Pb, Sn, B*; 3) *Cu, Ni*.

Методом К-средних 3125 наблюдений (проб) разделено на шесть кластеров. При статистических расчетах использовались содержания химических элементов за вычетом фона, нормированные на стандартные отклонения фона. В результате на участке работ геометризованы квазиоднородные

Таблица 2

Элемент	Кластер					
	1	2	3	4	5	6
B	0,00	-0,16	-0,06	-0,16	-0,19	1,42
Co	0,90	0,89	-0,05	1,23	-0,28	1,05
Cu	0,48	-0,41	1,26	0,94	-0,43	0,41
Mn	3,34	0,41	0,26	0,11	0,15	0,37
Ni	0,61	1,23	1,10	2,58	0,46	1,20
Pb	1,28	0,90	1,12	1,13	0,49	2,66
Sn	1,25	0,42	0,61	0,58	-0,58	1,25

Примечание. Жирным шрифтом выделены содержания элементов, вносящих основной вклад в кластеры.

области геохимического поля, характеризующиеся специфическими геохимическими спектрами (табл. 2).

Наибольший вклад в кластер 4 вносят содержания *Ni* (2,58), *Co* (1,23), *Pb* (1,13) и *Cu* (0,94) (цифры в скобках – сверхфоновые средние содержания элементов в пределах кластера, нормированные по стандартным отклонениям). Ореолы кластера достаточно уверенно картируют золотосурьмяные рудопрооявления, а также образуют существенные площадные аномалии в долине безымянного ручья, обусловленные, видимо, сносом со склонов обломочного материала.

Геохимический спектр кластера 6 – *Pb* (2,66), *B* (1,42), *Sn* (1,25), *Ni* (1,20), *Co* (1,05). В южной и северной частях площади ореолы кластера образуют незамкнутые кольцевые структуры по периферии золотосурьмяных рудопрооявлений.

Области геохимического поля, характеризующиеся наибольшими концентрациями *Mn* (3,34) и повышенным содержанием *Pb* (1,28), *Sn* (1,25), *Co* (0,90), относятся к кластеру 1 и образуют ореолы дугообразной формы вокруг золотосурьмяных рудопрооявлений.

Кластер 3 (*Cu* (1,26), *Pb* (1,12), *Ni* (1,10)) объединяет пробы, образующие незамкнутые кольцевые структуры также по периферии золотосурьмяных рудопрооявлений.

Пробы, относящиеся к кластеру 2, характеризующемуся спектром *Ni* (1,23), *Pb* (0,90) и *Co* (0,89), на исследуемой площади распространены относительно равномерно, фиксируя, видимо, периферийные зоны гидротермально-метасоматических преобразований. Они формируют замкнутые фигуры только в пределах более обширных площадей (рудных полей и/или узлов).

Пробы кластера 5 также распределены относительно равномерно, характеризуются фоновыми содержаниями всех элементов и маркируют участки, наименее затронутые процессами гидротермально-метасоматического преобразования («породный» кластер).

В результате проведенного анализа было установлено, что выделенные классы проб по особенностям поведения геохимического спектра рудогенных элементов образуют концентрически-зональные структуры, приуроченные к золотосурьмяным рудопрооявлениям в северной и южной частях площади.

На южном фланге опосредованной площади отмечается не оконтуренная с юга концентрически-зональная геохимическая структура, пространственно совмещенная с первичными ореолами мышьяка и сурьмы. По правому борту безымянного ручья в центре участка также проявлены две слабо структурированные аномалии геохимического поля, характеризующиеся повышенными концентрациями гранитофильных элементов, ассоциирующих с потоками рассеяния ртути.

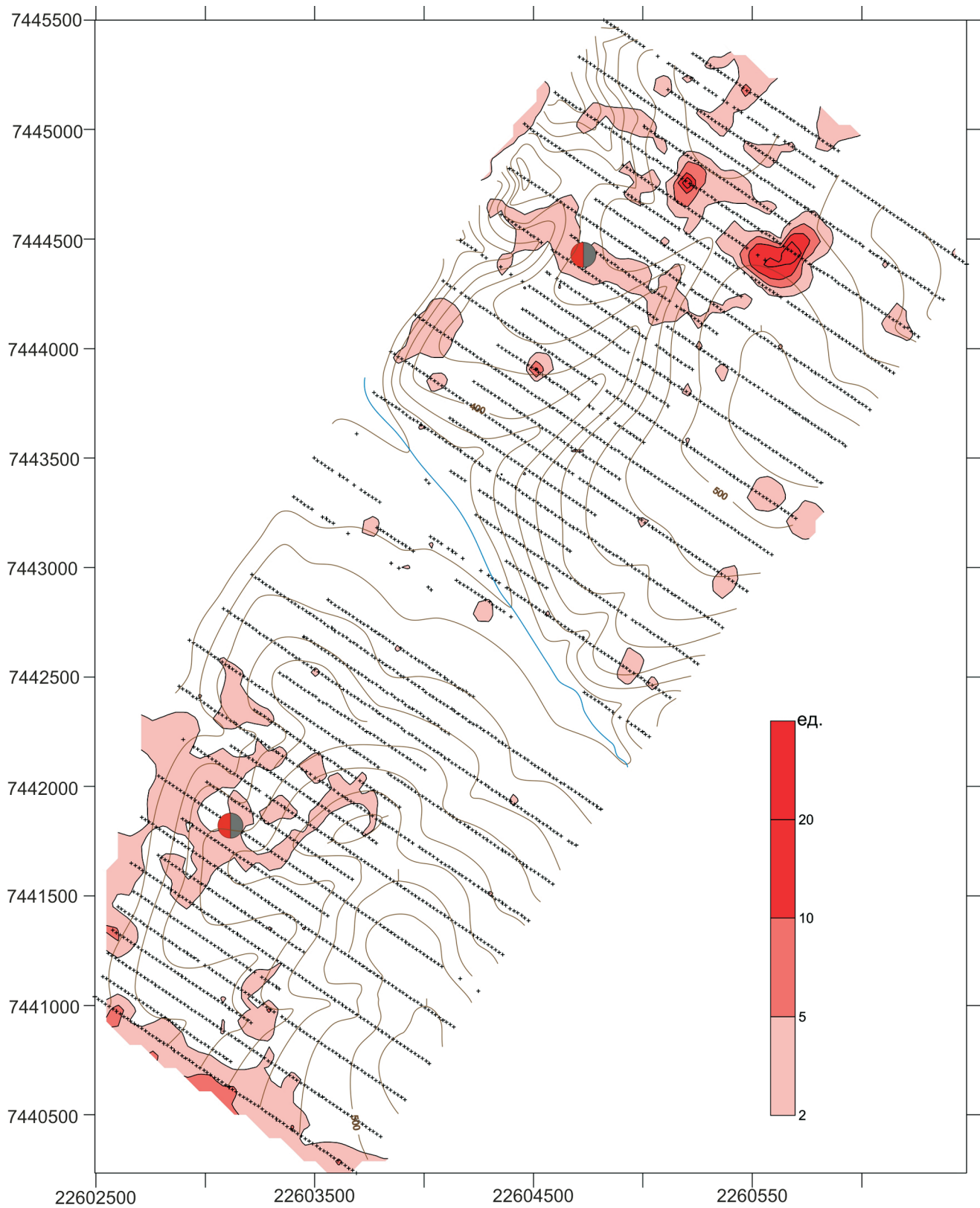


Рис. 4. Схема распределения значений показателя $V \times Pb / Mn \times Co$

На основе геохимических ассоциаций, выделенных по результатам факторного и кластерного анализов, по нормированным содержаниям элементов построены три многомерных показателя (МП), отражающих степень интенсивности дифференциации геохимического поля: $V \times Pb$; $Mn \times Co$; $Co \times Ni$.

Повышенные значения МП $V \times Pb$ (больше 2 безразмерных единиц) приурочены к зонам золотосурьмяной минерализации. Единичные контрастные ореолы картируются в долине безымянного ручья и на периферии поискового участка. Небольшие по площади аномалии $Mn \times Co$ фиксируют отложение этих элементов на пери-

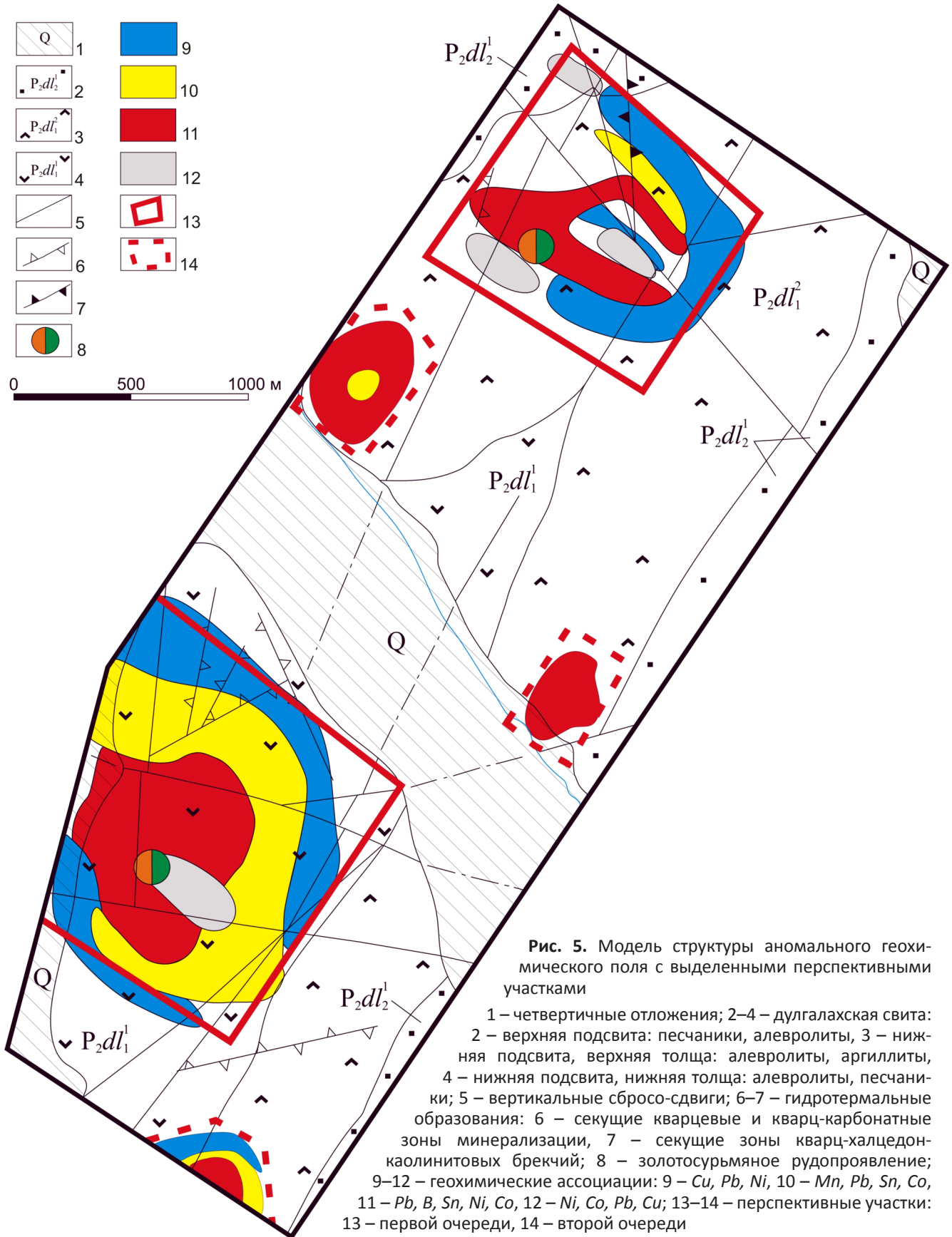
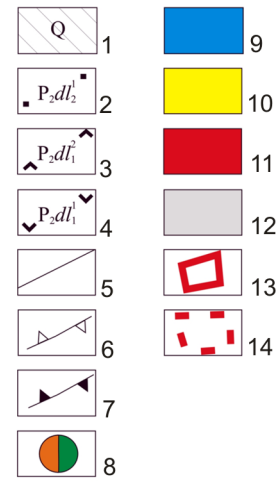


Рис. 5. Модель структуры аномального геохимического поля с выделенными перспективными участками

1 – четвертичные отложения; 2–4 – дулгалахская свита: 2 – верхняя подсвита: песчаники, алевролиты, 3 – нижняя подсвита, верхняя толща: алевролиты, аргиллиты, 4 – нижняя подсвита, нижняя толща: алевролиты, песчаники; 5 – вертикальные сбросо-сдвиги; 6–7 – гидротермальные образования: 6 – секущие кварцевые и кварц-карбонатные зоны минерализации, 7 – секущие зоны кварц-халцедон-каолиновых брекчий; 8 – золотосурьмяное рудопроявление; 9–12 – геохимические ассоциации: 9 – Cu, Pb, Ni, 10 – Mn, Pb, Sn, Co, 11 – Pb, B, Sn, Ni, Co, 12 – Ni, Co, Pb, Cu; 13–14 – перспективные участки: 13 – первой очереди, 14 – второй очереди

ферии гидротермально-метасоматических зон. Установленные ранее золотосурьмяные рудопроявления, оконтуриваются ореолами со значениями показателя более 2–3. Наиболее интенсивные ореолы $Co \times Ni$ (больше 5) картируются в долине

водотока. К золотосурьмяным рудопроявлениям приурочены ореолы со значениями показателя более 3.

Для усиления полезного сигнала, отражающего процессы рудообразования, был рассчитан ком-



плексный показатель по элементам, занимающим центральную ($B \times Pb$) и периферийную ($Mn \times Co$) части золотосурьмяных рудопроявлений.

Значения показателя $B \times Pb / Mn \times Co$ редко превышают 5–10 (рис. 4). Золотосурьмяные рудопроявления окаймляют ореолы со значениями > 2 . На южной границе участка картируется контрастный ореол, приуроченный к первичным ореолам мышьяка и сурьмы. Характер распределения показателя позволяет сделать вывод о приуроченности его повышенных значений к зонам интенсивного проявления процессов гидротермально-метасоматического рудообразования.

В результате обработки геохимических данных создана многомерная модель структуры аномального геохимического поля поискового участка (рис. 5).

Установлено, что выделенные ассоциации элементов образуют концентрически-зональные структуры, приуроченные к золотосурьмяным рудопроявлениям в северной и южной частях площади.

Помимо аномальных геохимических полей, связанных с известными ранее рудопроявлениями, на южном фланге опоискованной площади отмечается не оконтуренная с юга концентрически-зональная геохимическая структура, пространственно ассоциирующая со вторичными ореолами мышьяка и сурьмы. По правому борту безымянного ручья в центре участка также выражены две слабо структурированные аномалии геохимического поля, характеризующиеся повышенными концентрациями гранитофильных элементов, ассоциирующих с потоками рассеяния ртути.

Расшифровка строения аномального геохимического поля позволила установить концентрически-зональное строение вторичных ореолов рассеяния элементов-спутников, приуроченных к золотосурьмяным рудопроявлениям, расположенным в северной и южной частях площади. Зональность аномального геохимического поля проявляется в смене следующих геохимических ассоциаций (от тыловой зоны к фронтальной): $Ni, Co, Pb, Cu \rightarrow Pb, B, Sn, Ni, Co \rightarrow Mn, Pb, Sn, Co \rightarrow Cu, Pb, Ni$.

В отличие от южной части АСГП на севере площади имеет менее четко выраженную структуру, что связано, по нашему мнению, с различным уровнем эрозионного среза оруденения и наличием более мощной толщи перекрывающих отложений. Наряду с геологической информацией полученные данные могут свидетельствовать о среднерудном уровне эрозионного среза южного рудопроявления и верхнерудном – северного.

Наличие геохимических ассоциаций гранитофильных элементов, образующих концентрически-зональные структуры вокруг ранее выявленных золотосурьмяных рудопроявлений, свидетельствует в пользу парагенетической связи оруденения с не-вскрытыми магматическими телами гранодиори-

тового состава мелового(?) возраста, выходы которых закартированы в 6 км южнее опоискованной площади.

Анализ геохимической информации, основанный на статистических расчетах, построении карт химических элементов и комплексных показателей, позволил создать геолого-геохимическую модель Бетюгенского рудного поля и выделить пять участков для поисковых работ: два участка первой очереди и три – второй.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ворошилов, В. Г.** Аномальные структуры геохимических полей гидротермальных месторождений золота: механизм формирования, методика геометризации, типовые модели, прогноз масштабности оруденения [Текст] / В. Г. Ворошилов // Геология рудных месторождений. – 2009. – Т. 51. – С. 3–19.
2. **Гаврилов, Р. Ю.** Структура геохимического поля мезотермального золоторудного месторождения Западное (Ленский рудный район) [Текст] / Р. Ю. Гаврилов, Д. А. Хряпин // Изв. ТПУ. – 2014. – Т. 325, № 1. – С. 137–146.
3. **Григоров, С. А.** Основы структурной интерпретации геохимических полей рудных объектов для целей их локализации и оценки [Текст] / С. А. Григоров // Отечественная геология. – 2007. – № 4. – С. 45–52.
4. **Сафронов, Н. И.** Энергия рудообразования и поиски полезных ископаемых [Текст] / Н. И. Сафронов, С. С. Мещеряков, Н. П. Иванов ; под общ. ред. Н. И. Марочкина. – Л. : Недра, 1978. – 215 с.
5. **Тихонова, Н. В.** Геологическое строение серебряного месторождения Кимпиче: Западное Верхоянье : Автореф. дис. ... к. г.-м. н. [Текст] / Н. В. Тихонова. – М., 2009. – 24 с.

REFERENCES

1. Voroshilov V.G. [Abnormal structures of geochemical fields of hydrothermal gold deposits: formation mechanisms, geometrization methods, typical models, mineralization prediction]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of Ore Deposits*, 2009, vol. 51, pp. 3–19. (In Russ.).
2. Gavrillov R.Yu., Khryapin D.A. [Structure of geochemical field of the Zapadnoye mesothermal gold ore deposit (Lena ore region)]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 325, no. 1, pp. 137–146. (In Russ.).
3. Grigorov S.A. [Principles of structural interpretation of geochemical fields of ore sites for their localizing and assessment]. *Otechestvennaya geologiya – National Geology*, 2007, no. 4, pp. 45–52. (In Russ.).
4. Safronov N.I., Meshcheryakov S.S., Ivanov N.P. *Energiya rudoobrazovaniya i poiski poleznykh iskopaemykh* [Ore formation energy and search for mineral deposits]. Leningrad, Nedra Publ., 1978. 215 p. (In Russ.).



5. Tikhonova N.V. *Geologicheskoe stroenie serebryanogo mestorozhdeniya Kimpiche: Zapadnoe Verkhoyan'e* [Geological structure of the Kimpiche

silver deposit: Western Verkhoyanye]. PhD thesis in geology and mineralogy. Moscow, 2009. 143 p. (In Russ.).

© Р. Ю. Гаврилов, В. Г. Ворошилов, В. С. Сенкевич, Н. Э. Тяμισов, В. В. Широков, 2015

ГАВРИЛОВ Роман Юрьевич, Институт природных ресурсов Томского политехнического университета, Томск, доцент, к. г.-м.н. *E-mail: GavrilovRY@ignd.tpu.ru*

ВОРОШИЛОВ Валерий Гаврилович, Институт природных ресурсов Томского политехнического университета, Томск, профессор, д. г.-м.н. *E-mail: v_g_v@tpu.ru*

СЕНКЕВИЧ Владислав Сергеевич, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, вед. геолог. *E-mail: sink777@mail.ru*

ТЯМИСОВ Николай Эрисенович, ОАО «Янгеология», пос. Батагай Верхоянского района, Республика Саха (Якутия), гл. геолог. *E-mail: yangeol@mail.ru*

ШИРОКОВ Василий Владимирович, ОАО «Янгеология», пос. Батагай Верхоянского района, Республика Саха (Якутия), вед. специалист. *E-mail: yangeol@mail.ru*

GAVRILOV Roman, PhD, Institute of Natural Resources under the Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia. *E-mail: GavrilovRY@ignd.tpu.ru*

VOROSHILOV Valery, DSc, Professor, Institute of Natural Resources under the Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia. *E-mail: v_g_v@tpu.ru*

SENKEVICH Vladislav, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Natural Resources (SNIIGGIMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: sink777@mail.ru*

TYAMISOV Nikolay, OAO Yangeologiya, Bogatai Township, Verkhoyanskiy Region, Sakha (Yakutiya) Republic, Russia. *E-mail: yangeol@mail.ru*

SHIROKOV Vasily, OAO Yangeologiya, Bogatai Township, Verkhoyanskiy Region, Sakha (Yakutiya) Republic, Russia. *E-mail: yangeol@mail.ru*