

УДК 553.411.071:550.4

ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЕТЮГЕНСКОГО ЗОЛОТО-СУРЬЯНОГО РУДНОГО ПОЛЯ (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))

Гаврилов Роман Юрьевич,

канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры геологии и разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: GavrilovRY@ignd.tpu.ru

Ворошилов Валерий Гаврилович,

д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры геологии и разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: v_g_v@tpu.ru

Сенкевич Владислав Сергеевич,

ведущ. геолог ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», Россия, 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, д. 67. E-mail: sink777@mail.ru

Тямисов Николай Эрисенович,

гл. геолог ОАО Ордена Знак Почета «Янгеология», Россия, 678500, Республика Саха (Якутия), Верхоянский улус, пос. Батагай, ул. Октябрьская, д. 6. E-mail: yangeol@mail.ru

Широков Василий Владимирович,

ведущ. специалист ОАО Ордена Знак Почета «Янгеология», Россия, 678500, Россия, Республика Саха (Якутия), Верхоянский улус, пос. Батагай, ул. Октябрьская, д. 6. E-mail: yangeol@mail.ru

Актуальность проведенного исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности ревизионных прогнозно-поисковых работ на рудное золото на основе применения современных методов обработки и интерпретации геохимической информации.

Цель работы: создание геолого-геохимической модели Бетюгенского золото-сурьмяного рудного поля, с выделением участков, перспективных для проведения дальнейших геологоразведочных работ.

Методы исследования: геохимическое картирование, математическая обработка результатов геохимических работ, моделирование геохимических полей методами многомерной статистики, геолого-генетическая интерпретация геохимических данных.

Результаты. На площади Бетюгенского рудного поля проведены геолого-геохимические работы, направленные на локализацию золото-сурьмяного типа оруденения. Фактическим материалом для картирования аномальной структуры геохимического поля и выявления зональности оруденения послужили результаты литогеохимического опробования по вторичным ореолам рассеяния. Установлено концентрически-зональное строение геохимических ореолов, контролирующих золото-сурьмяную минерализацию. Зональность аномального геохимического поля проявлена 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. Создана геолого-геохимическая модель рудного поля и выделены участки, перспективные на выявление золото-сурьмяного типа оруденения. Наличие геохимических ассоциаций гранитофильных элементов, образующих концентрически-зональные структуры вокруг ранее выявленных золото-сурьмяных рудопоявлений, свидетельствует в пользу парагенетической связи оруденения с невоскрывшимися магматическими телами гранодиоритового состава мелового (?) возраста, выходы которых закартированы в 6 км южнее опробованной 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 5 участков для проведения поисковых работ: два участка первой очереди и три – второй очереди.

Ключевые слова:

Бетюгенское рудное поле, золото-сурьмяное оруденение, аномальная структура геохимического поля, геохимическая зональность, вторичные ореолы рассеяния.

Постановка задачи

Возобновление работ на потенциально золото-рудных площадях обусловлено целым рядом факторов: сокращением запасов на эксплуатируемых

месторождениях, отсутствием подготовленных объектов для воспроизводства минерально-сырьевой базы действующих горнодобывающих предприятий, неоднозначностью выводов о потен-

циально перспективных объектах, полученных в процессе ранее проведенных поисковых работ, появлением новых подходов к обработке геохимической информации [1–12].

Целью данной работы является расшифровка геохимической зональности, моделирование аномальной структуры геохимического поля (АСГП) золото-сурьмяного оруденения на площади Бетюгенского рудного поля и выделение перспективных участков для постановки дальнейших геологоразведочных работ.

Методика исследования

На площади Бетюгенского рудного поля выполнена литогеохимическая 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 (P_2dl), 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 лаборатории «Центральная геологическая лаборатория», структурном подразделении Государственного унитарного горно-геологического предприятия Республики Саха (Якутия) «Якутскгеология». Рассчитаны фоновые и минимально-аномальные содержания элементов, построены карты распределения аномальных концентраций химических элементов и комплексных показателей (КП).

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

Краткие сведения о геологическом строении рудного поля

Геологическое строение площади приводится по В.В. Масленникову, выполнявшему в 1978 г. на описываемой территории геологосъемочные работы.

Бетюгенское рудное поле (рис. 1) расположено на правом склоне р. Бетюген – правом притоке р. Кыры (левобережье р. Дулгалах), и приурочено к своду крупной Дулгалахской антиклинали в месте воздымания её шарнира и изгиба оси (сопровождающегося виргацией) на участке Бытантайского поперечного поднятия (Западное Верхоянье). В металлогеническом отношении рудное поле является частью Кимпиче-Берелехского сереборудного узла [13].

В пределах рудного поля вскрывается монотонная толща (мощностью >400 м) черных углистых алевролитов нижней подсвиты дулгалахской свиты верхней перми, смятая в симметричную антиклинальную складку северо-восточного (50°) простирания. Падение крыльев крутое ($65...75^\circ$), юго-восточное крыло осложнено двумя дополнитель-

ными складками с размахом крыльев до первых сотен метров.

Выделятся две серии разломов: продольные северо-восточного простирания (крутопадающие сбросы, пологопадающие внутри- и межпластовые срывы) и поперечные северо-западного простирания (крутопадающие сбросо-сдвиги). С последними в 6 км южнее рудопоявления связаны две дайки меловых (?) кварцевых диорит-порфиритов (мощность 3...4 м, длина до 200...1000 м, простирание 310° , падение крутое). Порфириты слабо магнитны и содержат обильную тонкорассеянную вкрапленность пирита.

Вблизи рудопоявления зафиксирована наиболее интенсивная в этом районе магнитная аномалия, совпадающая с минимумом гравитационного поля и, возможно, связанная с нескрытым малым интрузивом гранодиоритового состава.

Наиболее распространены пологопадающие межпластовые срывы, в зонах которых часто локализируются рудные тела и кварцевые жилы. Часть крутопадающих продольных разрывов также несет оруденение. Одно из выявленных рудных тел локализовано в поперечном разрыве. Многочисленны трещины кливажа осевой поверхности, обеспечившего тонколистоватую отдельность алевролитов, часто маскирующую слоистость.

В пределах рудного поля выявлено 10 сурьмянорудных тел. Морфология отдельных минерализованных антимонитом тел сравнительно простая: компактные, с четкими ровными контактами, при мощности тел от 0,5 до 1,6 м, единично до 6,5 м и протяженностью до 200 м. Однако в совокупности они образуют сложную комбинацию залежей и секущих крутопадающих жил, довольно изменчивых по простиранию и, вероятно, падению. Тела вскрыты канавами, преимущественно в единичных пересечениях, и прослежены по элювиальным развалам обломков антимонита.

Основные результаты исследования и их обсуждение

В результате корреляционного анализа установлено, что Au проявляет устойчивую положительную корреляционную связь с Sb и As, а мышьяк проявляет значимую положительную связь с бором. Таким образом, следует обратить особое внимание на распределение содержаний 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 золото-сурьмяной 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 для ха-

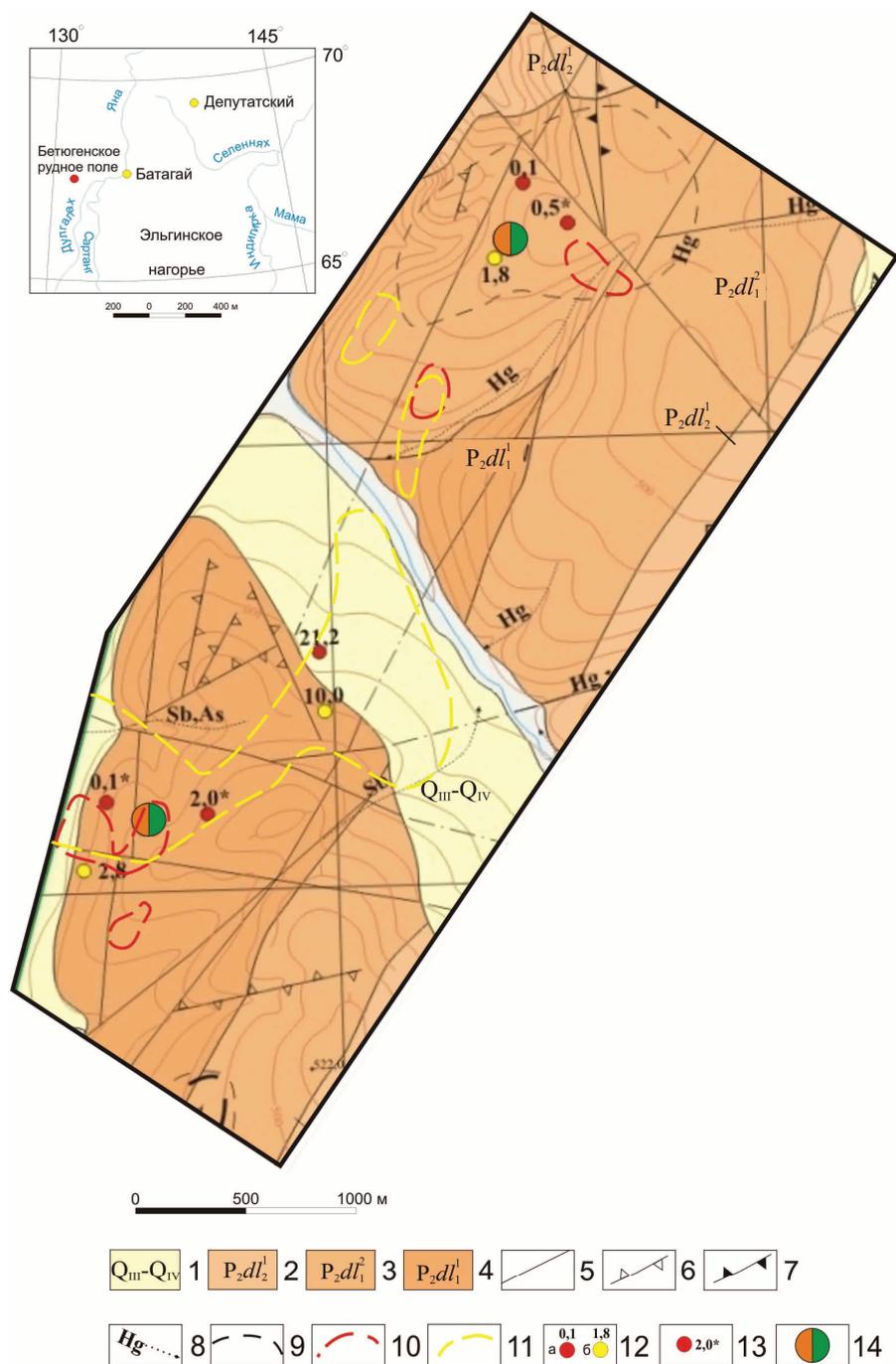


Рис. 1. Геологическая карта Бетюгенского рудного поля: 1 – верхнечетвертичные и современные отложения; 2–4 – дулгалахская свита: 2 – верхняя подсвита: песчаники, алевролиты; 3 – нижняя подсвита, верхняя толща: алевролиты, аргиллиты; 4 – нижняя подсвита, нижняя толща: алевролиты, песчаники; 5 – вертикальные сбросо-сдвиги; 6, 7 – гидротермальные образования: 6 – секущие кварцевые и кварц-карбонатные зоны минерализации; 7 – секущие зоны кварц-халцедон-каолинитовых брекчий; 8 – литохимические потоки рассеяния $>10 C_{pb}$; 9–11 – первичные литохимические ореолы: 9 – $Hg > 100 C_{pb}$; 10 – $Au > 0,005$ г/т; 11 – $Sb > 50$ г/т; 12, 13 – точки с повышенным содержанием золота и серебра: 12 – по результатам пробирного анализа, г/т; 13 – по результатам спектрозолотометрического анализа, г/т; 14 – золото-сурьмяное рудопоявление

Fig. 1. Geological map of Betyugenskoje ore field: 1 – upper quaternary and current deposits; 2–4 – Dulgalkhskaya formation: 2 – upper subformation: sandstones, silt stones; 3 – lower subformation, upper formation: silt stones, argillites; 4 – lower subformation, lower formation: silt stones, sandstones; 5 – vertical diagonal-slip faults; 6, 7 – hydrothermal growth: 6 – cross quartz and quartz-carbonaceous mineralization zones; 7 – cross zones of quartz-chalcedony-kaolinite breccias; 8 – lithochemical dispersion trains $>10 C_{pb}$; 9–11 – primary lithochemical haloes: 9 – $Hg > 100 C_{pb}$; 10 – $Au > 0,005$ g/t; 11 – $Sb > 50$ g/t; 12, 13 – points with high concentration of gold and silver: 12 – by the results of assay test, g/t; 13 – by the results of spectrographic aurometric analysis, g/t; 14 – gold-antimony mineral occurrence

рактические руд сложного состава и комплексных ореолов [14]:

$$E_n = \sum_{i=1}^n K_i \cdot \ln K_i,$$

где K_i – коэффициент концентрации элемента относительно кларка.

Значения показателя на поисковом участке варьируют в широких пределах, изменяясь от –1,9 до 68 (в безразмерных единицах). Высококонтрастные положительные ореолы (>10), занимающие ограниченные площади, распространены в южной и северной частях площади по периферии известных рудопроявлений (рис. 2). Сами золото-сурьмяные проявления расположены в пределах ореолов со значениями 3...5, что свидетельствует о парагенетической связи комплекса рассматриваемых элементов с золото-сурьмяным 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»), применительно к аккумуляциям во вторичном геохимическом поле, нельзя напрямую использовать для оконтуривания перспективных участков.

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

Все факторы являются «рудными», то есть элементы, характеризующиеся максимальными нагрузками на эти факторы, участвовали в рудном процессе.

Первый фактор, с вкладом в общую дисперсию 21 %, в большинстве случаев пространственно ассоциирует с ранее выявленными рудопроявлениями и геохимическими аномалиями золота (рис. 3).

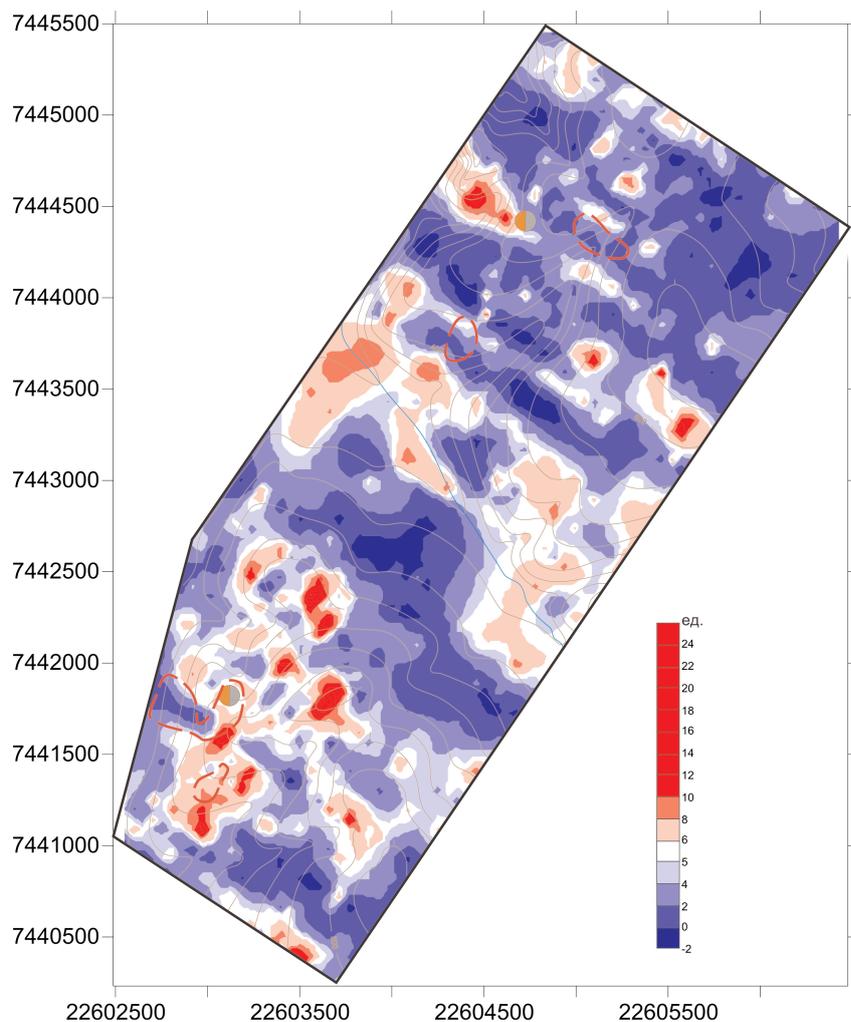


Рис. 2. Схема распределения значений показателя энергии рудообразования. Здесь и на рис. 3, 5 красной пунктирной линией обозначены ореолы Au >0,005 г/т

Fig. 2. Pattern of distribution of mineralization energy index values. Here and in Fig. 3, 5 the haloes Au >0,005 g/t are dotted

Аномальные значения фактора окаймляют известные рудопоявления. Ореолы представлены линейными, изометричными и дугowymi 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. Первый фактор, 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 повышенных значений фактора имеют преимущественно дуговые и

линейно вытянутые очертания. Высокие значения фактора окаймляют золото-сурьмяную минерализацию дугowymi структурами. На южной границе площади высокие значения фактора пространственно частично совмещены с первичными ореолами мышьяка и сурьмы. Генетическая интерпретация 2-го фактора – 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 значение фактора вносит Ni. Аномальные значения фактора совпадают с проявлениями золото-сурьмяной минерализации, а также образуют отдельные ореолы на всей поисковой площади. Судя по составу и пространствен-

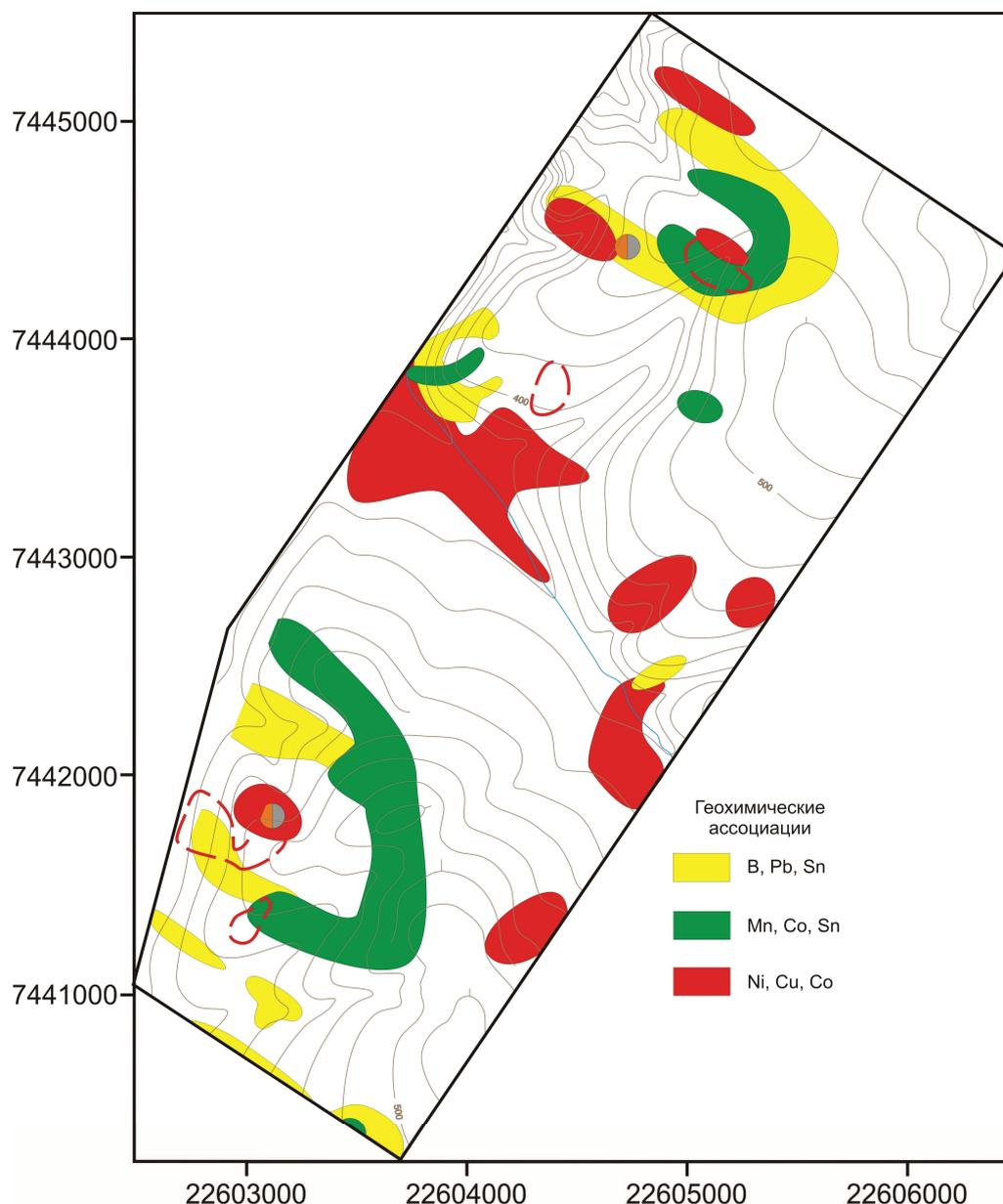


Рис. 3. Схема распределения геохимических ассоциаций по результатам факторного анализа

Fig. 3. Pattern of geochemical association distribution by the results of factor analysis

ному положению аномалий, фактор 3 отражает суммарное воздействие гипогенных и гипергенных процессов на наиболее подвижные элементы.

Геохимические ассоциации элементов, выделенные по результатам факторного анализа, образуют концентрически-зональные структуры, приуроченные к ранее выявленным золото-сурьмяным рудопроявлениям. Однако наблюдается некоторое отличие в строении ореолов и их расположении относительно золото-сурьмяных рудопроявлений. От центральной части к периферии элементный состав ореолов изменяется следующим образом: в южной части – Ni, Cu, Co → V, Pb, Sn → Mn, Co, Sn, в северной части – Ni, Cu, Co → Mn, Co, Sn → V, Pb, Sn. Если южное рудопроявление приурочено к центральной части концентрически-зональной структуры, то северное – к ее периферии. Данные отличия могут быть связаны как с различным уровнем эрозионного среза рудопроявлений, так и со значительной мощностью отложений, перекрывающих северную часть площади.

С использованием *кластер-анализа* построена иерархическая структура корреляционных взаимосвязей химических элементов (рис. 4). Элементы объединились в следующие кластеры: 1) Mn, Co; 2) Pb, Sn, V; 3) Cu, Ni.

Методом К-средних проведено разделение 3125 наблюдений (проб) на 6 кластеров. При статистических расчетах использовались нормированные содержания химических элементов. В результате в пределах участка работ геометризованы квазигомогенные области геохимического поля, характеризующиеся специфическими геохимическими спектрами (рис. 5).

Наибольший вклад в кластер 4 вносят содержания Ni (2,6), Co (1,2), Pb (1,1) и Cu (0,9) (цифры в скобках – сверхфоновые средние содержания элементов в пределах кластера, нормированные по стандартным отклонениям). Ореолы кластера достаточно уверенно картируют золото-сурьмяные рудопроявления, а также образуют существенные площадные аномалии в долине безымянного ручья, обусловленные, видимо, сносом со склонов обломочного материала.

Pb (2,7), V (1,4), Sn (1,2), Ni (1,2), Co (1) – геохимический спектр 6-го кластера. В южной и северной части площади ореолы кластера образуют незамкнутые кольцевые структуры по периферии золото-сурьмяных рудопроявлений.

Области геохимического поля, характеризующиеся наибольшими концентрациями Mn (3,3) и повышенным содержанием Pb (1,3), Sn (1,2), Co (0,9), относятся к 1 кластеру. Они образуют ореолы дугообразной формы вокруг золото-сурьмяных рудопроявлений.

3-й кластер (Cu (1,2), Pb (1,1), Ni (1,1)) объединяет пробы, образующие незамкнутые кольцевые структуры также по периферии золото-сурьмяных рудопроявлений.

Пробы, относящиеся к кластеру 2, характеризующемуся спектром Ni (1,2), Pb (0,9) и Co (0,9), в пределах исследуемой площади распространены относительно равномерно, фиксируя, видимо, периферийные зоны гидротермально-метасоматических преобразований, образующие замкнутые фигуры только в пределах более обширных площадей (рудных полей и/или узлов).

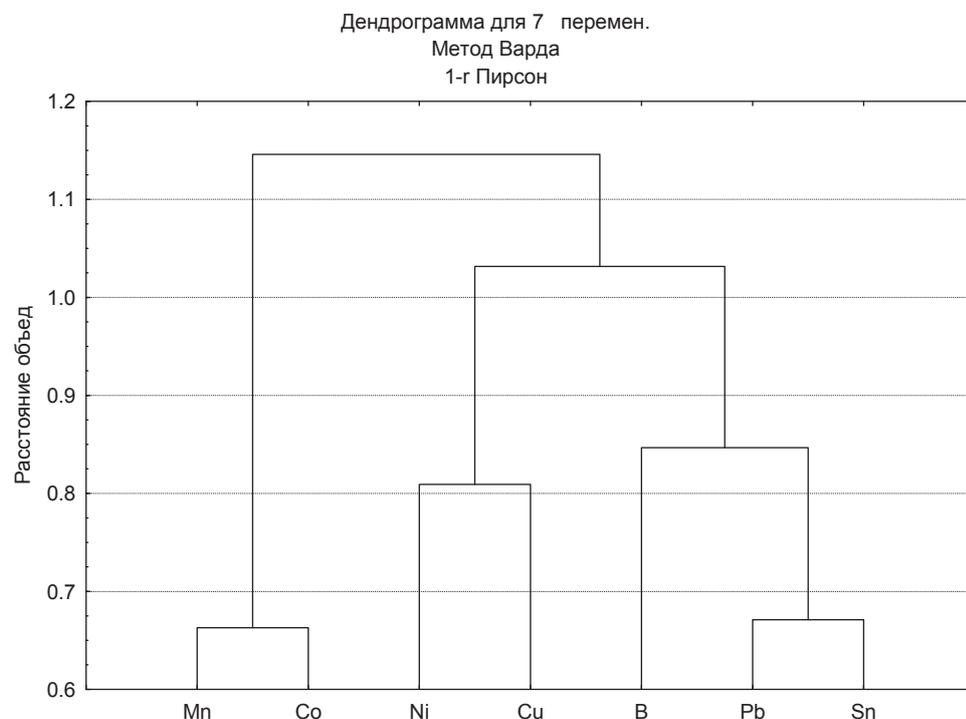


Рис. 4. Результаты кластер-анализа по вторичным ореолам рассеяния

Fig. 4. Results of cluster analysis by the secondary haloes of distribution

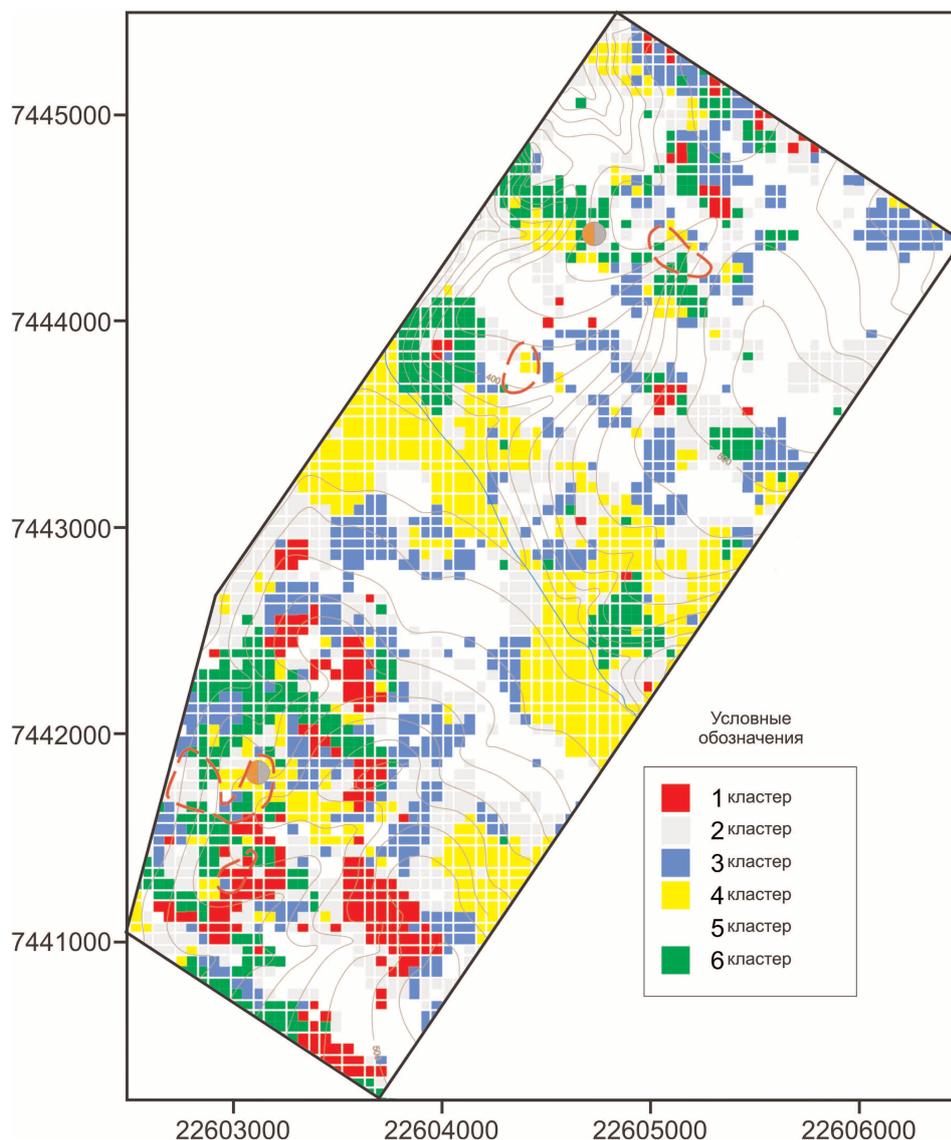


Рис. 5. Схема распределения кластеров

Fig. 5. Diagram of clusters distribution

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

По совокупности полученных данных создана многомерная модель структуры аномального геохимического поля поискового участка (рис. 6).

В результате проведенного анализа установлено, что выделенные ассоциации элементов образуют концентрически-зональные структуры, приуроченные к золото-сурьмяным 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, простран-

ственно ассоциирующая с вторичными 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.

Выявленная зональность в целом не противоречит результатам, установленным в работах [15–21].

Заключение

Расшифровка строения аномального геохимического поля позволила установить концентрически-зональное строение вторичных ореолов рассеяния элементов-спутников, приуроченных к золото-сурьмяным рудопроявлениям, расположенным в северной и южной части площади. Зональность аномального геохимического поля проявлена в

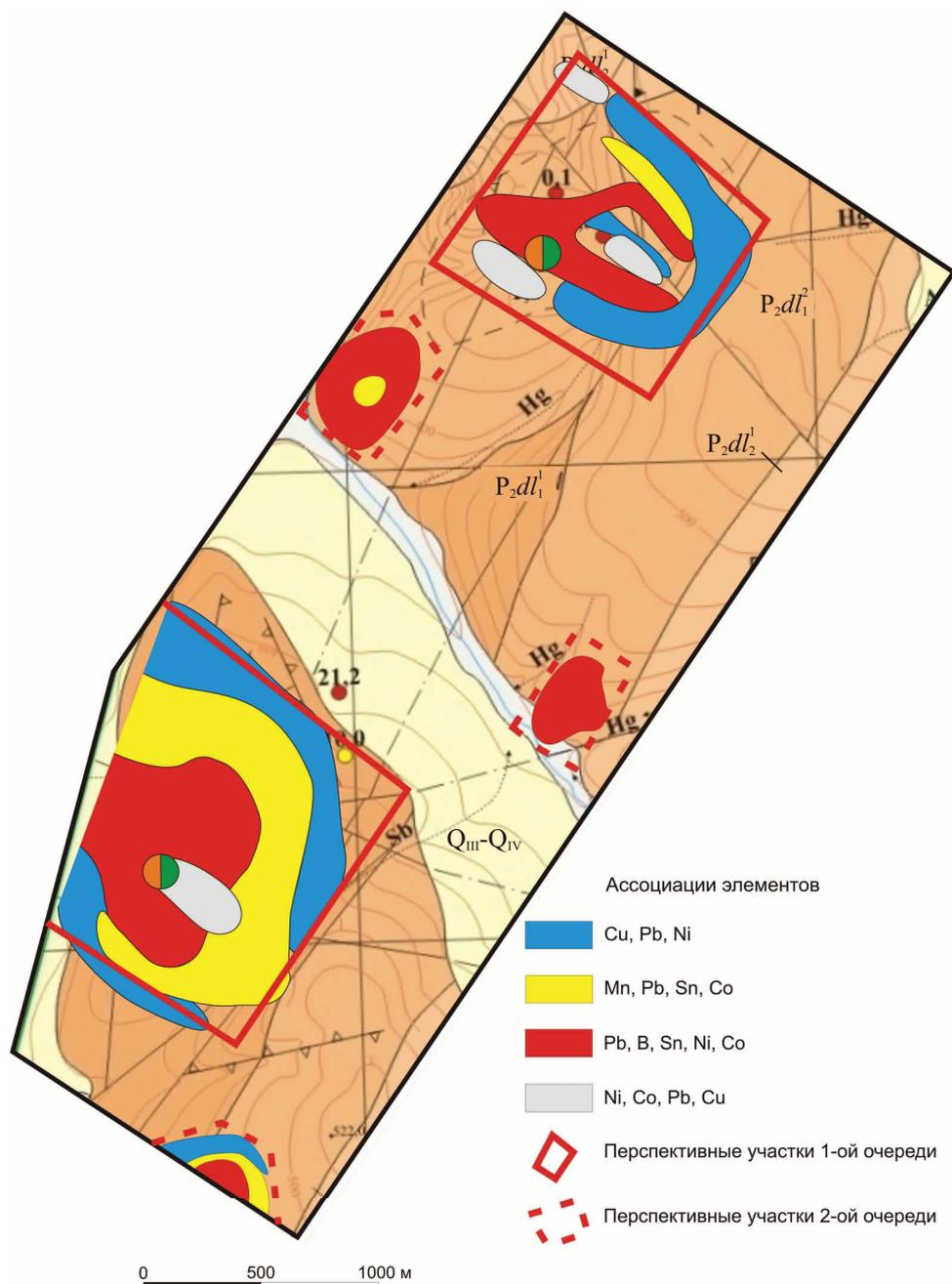


Рис. 6. Модель структуры аномального геохимического поля с выделенными перспективными участками. Условные обозначения см. на рис. 1

Fig. 6. Model of abnormal geochemical field structure with perspective areas. The symbols are the same as in Fig. 1.

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 отличие от южной части, аномальное геохимическое поле 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 на северном фланге. Полученные данные, наряду с геологической информацией, могут свидетельствовать о среднерудном

уровне эрозионного среза южного рудопроявления и верхнерудном – северного.

Наличие геохимических ассоциаций гранитофильных элементов, образующих концентрически-зональные структуры вокруг ранее выявленных золото-сурьмяных рудопроявлений, свидетельствует в пользу парагенетической связи оруденения с нескрытыми магматическими телами гранодиоритового состава мелового (?) возраста, выходы которых закартированы в 6 км южнее опосредованной площади.

Анализ геохимической информации, основанный на статистических расчетах, построении карт химических элементов и комплексных показателей позволил создать геолого-геохимическую мо-

дель Бетюгенского рудного поля и выделить 5 участков для проведения поисковых работ: два участка первой очереди и три – второй очереди.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григоров С.А. Основы структурной интерпретации геохимических полей рудных объектов для целей их локализации и оценки // Отечественная геология. – 2007. – № 4. – С. 45–52.
2. Ворошилов В.Г. Аномальные структуры геохимических полей гидротермальных месторождений золота: механизм формирования, методика геометризации, типовые модели, прогноз масштабы оруденения // Геология рудных месторождений. – 2009. – Т. 51. – С. 3–19.
3. Гаврилов Р.Ю., Хряпин Д.А. Структура геохимического поля мезотермального золоторудного месторождения Западное (Ленский рудный район) // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 325. – № 1. – С. 137–146.
4. Yilmaz H. Geochemical exploration for gold in western Turkey: success and failure // J. Geochem. Explor. – 2003. – V. 80. – № 1. – P. 117–135.
5. Goodman S., Williams-Jones A.E., Carles P. Structural controls on the Archean troilus gold-copper deposit, Quebec, Canada // Econ. Geol. – 2005. – V. 100. – № 3. – P. 577–582.
6. Thompson J.F.H., Newberry R.J. Gold deposits related to reduced granitic intrusions // Society of Economic Geologists. – 2000. – Reviews 13. – P. 377–400.
7. Gold and metal enrichment in natural granitic melts during fractional crystallization / R. Mustard, Th. Ulrich, V.S. Kamenetsky, T. Mernagh // Geology. – 2006. – V. 34. – № 2. – P. 85–88.
8. Mustard R. Granite-hosted gold mineralization at Timbarra, northern New South Wales // Mineral Deposita. – 2001. – V. 36. – № 4. – P. 542–562.
9. Yang H.M., Lentz D.R. Chemical composition of rock-forming minerals in gold-related granitoid intrusion southwestern New Brunswick, Canada: implications for crystallization conditions, volatile exsolution and fluorine-chlorine activity // Contribution Mineral Petroleum. – 2005. – V. 150. – P. 287–305.
10. Геолого-геохимические особенности гигантских месторождений золота в черных сланцах Центральной Азии / М.С. Рафаилович, И.М. Голованов, О.А. Федоренко и др. // Поисковая геохимия: теоретические основы, технологии, результаты. – Алматы: НИИ природных ресурсов ЮГГЕО, 2004. – С. 67–83.
11. Чекваидзе В.Б., Миляев С.А. Эндеогенные ореолы сидерофильных элементов золоторудных месторождений // Руды и металлы. – 2009. – № 6. – С. 15–20.
12. Выборов С.Г., Быстров И.И. Опыт использования комплексного показателя нарушенности геохимического поля для прогнозирования оруденения // Известия вузов. Геология и разведка. – 1990. – № 4. – С. 102–110.
13. Тихонова Н.В. Геологическое строение серебряного месторождения Кимпиче: Западное Верхоянье: дис.... канд. геол.-минерал. наук. – М., 2009. – 143 с.
14. Сафронов Н.И., Мещеряков С.С., Иванов Н.П. Энергия рудообразования и поиски полезных ископаемых / под общ. ред. Н.И. Марочкина. – Л.: Недра, 1978. – 215 с.
15. Gavrilo R.Y., Khmelev M.S., Abramova R.N. Volumetric geochemical model of Chortovo Koryto gold-ore deposit (Patom range) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2014 – V. 21. – Iss. 1. – P. 1–6.
16. Structure-geochemical zoning of Topolninsk gold-ore field (Gorny Altai) / T.V. Timkin, D.S. Lavrov, O.Y. Askanakova, T.V. Korotchenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2014 – V. 21. – P. 1–6.
17. Gold in Pyrite within Altai – Sayan Folded Belt Gold Deposits / A.Y. Pshenichkin, Y.A. Oskina, O.V. Savinova, T.F. Dolgaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2014 – V. 21. – P. 1–4.
18. Anomaly Geochemical Fields in Siberian Hydrothermal Gold Deposits / V.G. Voroshilov, O.V. Savinova, Y.S. Ananjev, R.N. Abramova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2014 – V. 21. – P. 1–6.
19. Григоров С.А. Генезис и динамика формирования Наталкинского золоторудного месторождения по данным системного анализа геохимического поля // Руды и металлы. – 2006. – № 3. – С. 44–48.
20. Григоров С.А. Отражение в геохимическом поле рудообразующей системы, как объекта геохимических поисков // Разведка и охрана недр. – 2009. – № 5. – С. 8–13.
21. Григоров С.А. Золотоносные метасоматиты Центральной Колымы, их потенциал и перспективы освоения // Руды и металлы. – 2014. – № 5. – С. 45–49.

Поступила 22.01.2015 г.

UDC 553.411.071:550.4

GEOLOGY-GEOCHEMISTRY MODEL OF BETYUGENSK GOLD-ANTIMONY ORE FIELD (REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA))

Roman Yu. Gavrilov,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: GavrilovRY@ignd.tpu.ru

Valeriy G. Voroshilov,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: v_g_v@tpu.ru

Vladislav S. Senkevich,

Siberian Research-and-development Institute of geology, geophysics,
67, Krasny Avenue, Novosibirsk, 630091 Russia. E-mail: sink777@mail.ru

Nikolay E. Tyamisov,

Yangeologiya, 6, Oktyabrskaya street, Batogay, Verchoyanskiy ulus,
Republic of Sacha (Yakutia), 678500, Russia. E-mail: yangeol@mail.ru

Shirokov V. Vasily,

Yangeologiya, 6, Oktyabrskaya street, Batogay, Verchoyanskiy ulus,
Republic of Sacha (Yakutia), 678500, Russia. E-mail: yangeol@mail.ru

The relevance of the research is caused by the necessity to improve the efficiency of revising forecast and search gold-bearing operations based on using modern methods of geochemical information processing and interpretation.

The main aim of the research is to study geochemical zones and to detect abnormality of geochemical structure of Betyugenskoe gold-antimonite ore zone designating perspective areas.

Research methods: calculation of statistical parameters by nonparametric statistics methods and their processing in programs: Surfer, Statistica, Corel Draw, emission spectral half-amount analyzing, analyzing in test-tube.

Results. At Betyugenskoe gold ore-zones the geological-geochemical operations were performed with a view to localize gold-antimonite mineralization. The results of litho-geochemical testing by secondary dispersion haloes served as the material for charting abnormality zone of geochemical area and detection ore zones. The concentrically zoned structure of geochemical halos controlling gold-antimonite ores was determined. Zonality of abnormal geochemical field occurs in change of the following geochemical associations (from the backcourt zone to the front one): Ni, Co, Pb, Cu→Pb, B, Sn, Ni, Co→Mn, Pb, Sn, Co→Cu, Pb, Ni. The authors developed the geological-geochemical model of ore field and allocated perspective areas. Presence of geochemical associations of granite elements forming concentrically-zone structures around earlier revealed gold-antimony mineralization identifies the paragenetic bound of mineralization with untapped rock bodies of granite-diorite structure of K-P (?) age. Their outputs are mapped 6 km to the south of the search area. The analysis of geochemical information based on statistical calculations, mapping chemical elements and integrated indicators allow developing geological and geochemical model of Betyugenskoe ore field and allocating five areas for survey and assessment work: two sections of the first stage and three sections of the second stage.

Key words:

Betyugenskoy ore field, gold-antimony ore, anomalous structure of geochemical field, geochemical zonality, secondary dispersion halos.

REFERENCES

1. Grigorov S.A. Osnovy strukturnoy interpretatsii geokhimicheskikh poley rudnykh obektov dlya tseley ikh lokalizatsii i otsenki [Fundamentals of structural interpretation of ore object geochemical fields for their localization and evaluation]. *Otechestvennaya geologiya*, 2007, vol. 4, pp. 45–52.
2. Voroshilov V.G. Anomalnye struktury geokhimicheskikh poley gidrotermalnykh mestorozhdeniy zolota: mekhanizm formirovaniya, metodika geometrizatsii, tipovye modeli, prognoz masshtabnosti orudneniya [Anomalous structures of geochemical fields of hydrothermal gold deposits: formation mechanism, methods of geometrization, typical models, and forecasting of ore mineralization]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of ore deposit*, 2009, vol. 51, no. 1, pp. 3–19.
3. Gavrilov R.Yu. Obemnaya geologo-geokhimicheskaya model mezotermalnogo zolotorudnogo mestorozhdeniya Chertovo Koryto (Patomskoe nagore) [Geochemical field structure of mesothermal zapadnoe gold ore deposit (Lensk ore area)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 325, no. 1, pp. 137–146.
4. Yilmaz H. Geochemical exploration for gold in western Turkey: success and failure. *J. Geochem. Explor.*, 2003, vol. 80, no. 1, pp. 117–135.
5. Goodman S., Williams-Jones A.E., Carles P. Structural controls on the Archean troilus gold-copper deposit, Quebec, Canada. *Econ. Geol.*, 2005, vol. 100, no. 3, pp. 577–582.
6. Thompson J.F.H., Newberry R.J. Gold deposits related to reduced granitic intrusions. *Society of Economic Geologists*, 2000, Reviews 13, pp. 377–400.
7. Mustard R., Ulrich Th., Kamenetsky V.S., Mernagh T. Gold and metal enrichment in natural granitic melts during fractional crystallization. *Geology*, 2006, vol. 34, no. 2, pp. 85–88.
8. Mustard R. Granite-hosted gold mineralization at Timbarra, northern New South Wales. *Mineral Deposita*, 2001, vol. 36, no. 4, pp. 542–562.

9. Yang H.M., Lentz D.R. Chemical composition of rock-forming minerals in gold-related granitoid intrusion southwestern New Brunswick, Canada: implications for crystallization conditions, volatile exsolution and fluorine-chlorine activity. *Contribution Mineral Petroleum*, 2005, vol. 150, pp. 287–305.
10. Rafailovich M.S., Golovanov I.M., Fedorenko O.A. Geologo-geokhimicheskie osobennosti gigantских mestorozhdeniy zolota v chernykh slantsakh Tsentralnoy Azii [Geological and geochemical features of giant gold deposits in black slate]. *Poiskovaya geokhimiya: teoreticheskie osnovy, tekhnologii, rezultaty* [Search geochemistry: theory, technologies, results]. Almaty, NII prirodnikh resursov JuGGEO Press, 2004. pp. 67–83.
11. Chekvaidze V.B., Milyaev S.A. Endogennye oreoly siderofilnykh elementov zolotorudnykh mestorozhdeniy [Endogenous aura of siderophilic elements of gold deposits]. *Rudy i metally – Ores and metals*, 2009, no. 6, pp. 15–20.
12. Vyborov S.G., Bystrov I.I. Opyt ispolzovaniya kompleksnogo pokazatelya narushennosti geokhimicheskogo polya dlya prognozirovaniya orudneniya [Experience in using composite indicator of geochemical field fracturing to predict mineralization]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 1990, no. 4, pp. 102–110.
13. Tikhonova N.V. *Geologicheskoe stroenie serebryanogo mestorozhdeniya Kimpiche: Zapadnoe Verkhoyane. Dis. Kand. nauk* [Geological structure of a silver field Kimpich: Western Verkhoyane. Cand. Diss.]. Moscow. 2009. 143 p.
14. Safronov N.I., Meshcheryakov S.S., Ivanov N.P. *Energiya rudoobrazovaniya i poiski poleznykh iskopaemykh* [Ore formation energy and mineral exploration]. Ed. N.I. Marochkin. Leningrad, Nedra Publ., 1978. 215 p.
15. Gavrillov R.Y., Khmelev M.S., Abramova R.N. Volumetric geochemical model of Chortovo Koryto gold-ore deposit (Patom range). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2014, vol. 21, Iss. 1, pp. 1–6.
16. Timkin T.V., Lavrov D.S., Askanakova O.Y., Korotchenko T.V. Structure-geochemical zoning of Topolninsk gold-ore field (Gorny Altai). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2014, vol. 21, pp. 1–6.
17. Pshenichkin A.Y., Oskina Y.A., Savinova O.V., Dolgaya T.F. Gold in Pyrite within Altai – Sayan Folded Belt Gold Deposits. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2014, vol. 21, pp. 1–4.
18. Voroshilov V.G., Savinova O.V., Ananjev Y.S., Abramova R.N. Anomaly Geochemical Fields in Siberian Hydrothermal Gold Deposits. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2014, vol. 21, pp. 1–6.
19. Grigorov S.A. Genesis i dinamika formirovaniya Natalkinskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya po dannym sistemnogo analiza geokhimicheskogo polya [Genesis and dynamics of formation of the Natalkinsky gold field according to the system analysis of a geochemical field]. *Rudy i metally – Ores and metals*, 2006, no. 3, pp. 44–48.
20. Grigorov S.A. Otrazhenie v geokhimicheskome pole rudoobrazuyushchey sistemy, kak obekta geokhimicheskikh poiskov [Reflection in a geochemical field of ore-forming system, as an object of geochemical searches]. *Razvedka i okhrana neдр – Investigation and protection of a subsoil*, 2009, no. 5, pp. 8–13.
21. Grigorov S.A. Zolotonosnye metasomatity Centralnoy Kolymy, ikh potentsial i perspektivy osvoeniya [Gold-bearing metasomatites of the Central Kolyma, their potential and prospects of development]. *Rudy i metally – Ores and metals*, 2014, no. 5, pp. 45–49.

Received: 22 January 2015.