

УДК 553.411.071:550.4

ОБЪЕМНОЕ ГЕОХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕРТОВО КОРЫТО (ПАТОМСКОЕ НАГОРЬЕ)

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

Актуальность проведенного исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности геолого-разведочных работ на рудное золото на основе создания прогнозно-поисковых моделей известных месторождений и их сравнения с перспективными объектами.

Цель работы: создание объемной геохимической модели месторождения для разработки прогнозно-поисковых критериев золотого оруденения.

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

Результаты. Установлено, что распределение содержания золота и элементов-спутников в объеме месторождения не согласуется ни с одним из известных законов распределения. Наиболее контрастные аномалии в крупнообъемном метасоматическом ореоле создают Au, As, Ag и Pb. Примененный комплекс методов обработки геохимической информации обеспечил расшифровку аномальной структуры геохимического поля. Минерализованная зона расположена в центре крупнообъемного метасоматического ореола, совпадая в пространстве с высококонтрастными Co-Ni, Ag-Pb-Zn-Cu и As геохимическими ассоциациями. Вместе с тем, контуры минерализованной зоны картируются Co-Ni и Ag-Pb-Zn-Cu геохимическими ассоциациями, а ее центральная часть – As ассоциацией. Анализ распределения геохимических ассоциаций показал, что крупнообъемному метасоматическому ореолу свойственно концентрически-зональное строение. Распределение геохимических ассоциаций согласуется со стадийностью гидротермального минералообразования, установленной на месторождении. Очевидно, что образование трех геохимических ассоциаций указывает на различие в условиях и времени образования рудоносных растворов. С использованием горно-геологической программы Datamine studio 3 построена объемная геохимическая модель месторождения. Созданная объемная геохимическая модель золоторудного месторождения может способствовать выделению потенциально перспективных объектов.

Ключевые слова:

Золото, математическая статистика, аномальная структура геохимического поля, геохимическая зональность, объемная геохимическая модель.

Введение

Важным этапом исследования при прогнозировании и поисках рудных месторождений является их изучение и моделирование с применением современных горно-геологических программ. Совершенствуются известные и предлагаются новые методики обработки геохимической информации [1–7].

В основе прогноза оруденения лежат ранее созданные прогнозно-поисковые модели месторождений: геолого-геохимические, геолого-геофизические, геолого-структурные и др. Созданные модели могут сравниваться с площадями и объектами для оценки их перспективности на промышленное оруденение [8–17].

Ранее геохимические работы на месторождении Чертово Корыто проводились с целью реконструкции геологической истории химических элементов в рудовмещающем метасоматическом ореоле, а также для выявления объемной структуры геохимического ореола. Было установлено, что рудовмещающий золото-серебро-мышьяковый геохимический ореол месторождения представлен уплощенной объемной фигурой, которая ориентирована вдоль рудоконтролирующего и раствороподводящего разлома и полого погружается в западном направлении.

Целью данной работы является создание объемной геохимической модели месторождения для разработки прогнозно-поисковых критериев золотого оруденения. Ее создание проводилось на основе результатов, полученных при дешифрировании аномальной структуры геохимического поля (АСГП) [18].

Краткое геологическое описание месторождения

Геологическая характеристика месторождения подробно изложена в [19].

Месторождение располагается в северной части Иркутской области в Патомском нагорье (рис. 1) и относится к золотому оруденению черносланцевой формации. Залежь расположена в синклинальной брахискладке, сложенной раннепротерозойскими углеродистыми породами михайловской свиты (рис. 2). Породы толщи имеют углы падения от 0 до 10...20°. В складке установлены флексуры более высоких порядков. Толща состоит из пород, метаморфизованных до эпидот-амфиболитовой фации: аркозовых разномерных, мелкозернистых песчаников, алевролитов, аргиллитов. Содержание углерода в породах минерализованной зоны варьирует от сотых до 2 мас. %. Метасоматические изменения пород выразились в наложении на

них процессов пропилитизации и березитизации с образованием жил и прожилков золото-сульфидно-карбонат-кварцевого состава.



Рис. 1. Схема расположения месторождения Чертovo Кoryто

Fig. 1. Map of location of deposit Chertovo Koryto

Протяженность рудной залежи, оконтуренной по бортовому содержанию 0,5 г/т и погружающейся в западном направлении под углами от 0 до 20°, составляет 1800 м, а ширина около 500 м. Ее максимальная мощность, зафиксированная в центральной части рудного тела, составляет 140 м. Концентрация золота в руде варьирует от $n \times 0,01$ до $n \times 100$ г/т. Размеры рудной залежи и количество запасов могут изменяться в зависимости от принятых кондиций.

Методика исследования

Месторождение Чертovo Кoryто изучено с использованием керна вертикальных колонковых скважин. По результатам разведочных работ подсчитаны запасы соответствующих категорий. Проведено опробование керна скважин: секционное керновое – для определения содержания золота, и секционное сколковое – для оценки содержания элементов-спутников золотого оруденения и характера их поведения в пределах рудной зоны. Длина проб керна в среднем составляла 1 м, длина секций сколкового опробования – 3 м. Объемная геохимическая модель построена на основании детального изучения 6 разведочных буровых профилей.

Пробы на золото анализировались пробирным и атомно-абсорбционным методами в лабораториях Ленской золоторудной компании. Чувствительность методов составляла 0,1 и 0,01 г/т соответственно.

Содержание элементов-спутников оруденения анализировалось эмиссионным спектральным полуквантитативным методом в лаборатории Бодайбинской геологоразведочной экспедиции. Наиболее полно определены Ag, As, Pb, Co, Cu, Ni, Zn.

Определение остальных элементов проведено в ограниченном количестве и не могло быть использовано в проведении основных статистических расчетов.

Комплексные показатели рассчитаны с использованием аналитических данных, полученных по секционным сколковым пробам ($n > 4000$). Фоновые содержания элементов определены по результатам анализов 170 проб, отобранных из скважин, расположенных за пределами рудно-метасоматических зон.

При построении объемной геохимической модели и расшифровке АСПП проведены расчеты ранговой корреляции, энергии рудообразования, дисперсии и вариации геохимического спектра, проводился кластерный и факторный анализы.

Пространственное распределение золота и элементов-спутников

Распределение содержания золота и элементов-спутников в объеме месторождения не согласуется ни с одним из законов распределения.

Высококонтрастный ореол золота представлен крупнообъемным телом, простирающимся в субмеридиональном направлении (рис. 2). Для внутреннего строения ореола характерны тела трубообразной, игловидной и плитообразной формы. В пределах рудной зоны концентрации элемента превышают кларковый уровень на несколько порядков. В южном направлении наблюдается заметное уменьшение объемов ореолов и рудных зон.

В пределах месторождения преобладают субкларковые содержания серебра. Ореол серебра характеризуется гнездовым строением. Большая часть объема, занимаемого ореолами, представлена умеренно контрастными содержаниями. Умеренно- и высоко контрастные ореолы представлены телами трубообразной и иглообразной формы.

В объеме месторождения высококонтрастный ореол мышьяка имеет овалообразное вытянутое тело, которое занимает практически все пространство рудной зоны. Внутренние ореолы представлены телами трубообразной, пламенивидной и иглообразной форм. Почти все пространство рудной зоны занято ореолами с содержанием элемента, превышающим кларковый уровень на несколько порядков. Повышенные концентрации мышьяка связаны, прежде всего, с его минералом-носителем – арсенопиритом, и совсем незначительно с другими сульфидами.

Основной объем месторождения занят субкларковыми концентрациями свинца. Умеренно контрастные ореолы характеризуются гнездовым распределением. Для них свойственна трубообразная и иглообразная формы. Повышенные концентрации связаны с основным минералом-носителем свинца, обнаруженным в рудной зоне, – галенитом.

Наибольший объем рудовмещающего метасоматического ореола занят субкларковыми содер-

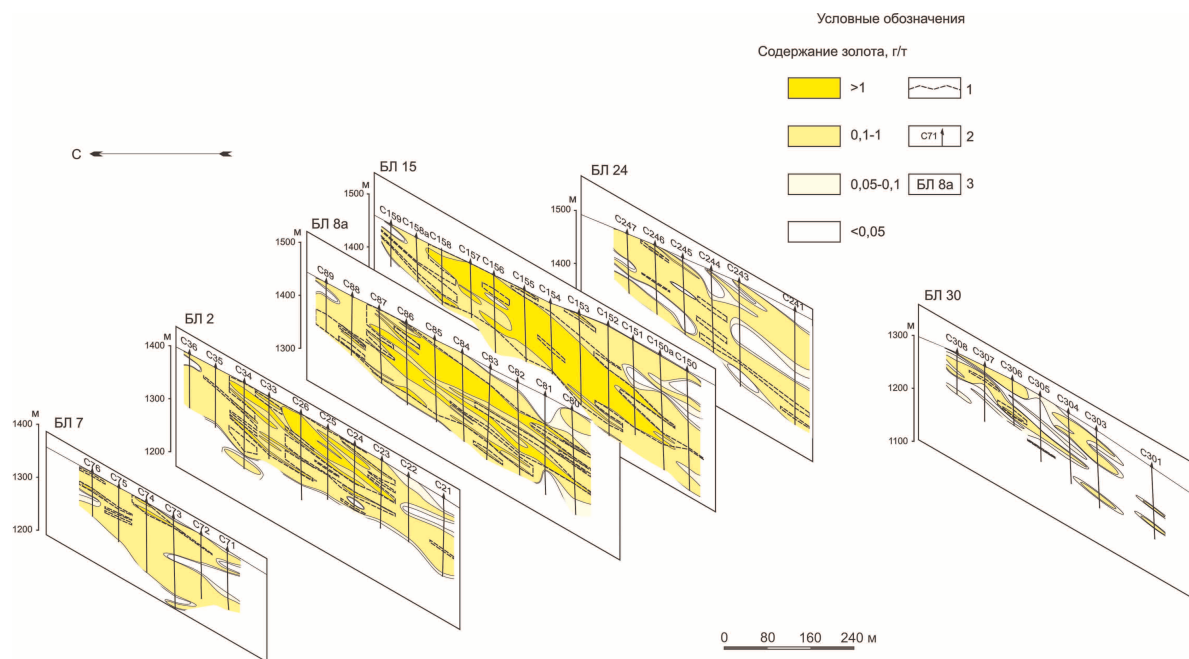


Рис. 2. Блок-диаграмма распределения золота в рудовмещающем метасоматическом ореоле месторождения [20]: 1) контуры рудных тел; 2) разведочные скважины и их номера; 3) буровые линии и их номера

Fig. 2. Block diagram of gold distribution in ore-hosting metasomatic halo of the deposit [20]: 1) ore outline; 2) exploratory wells and their numbers; 3) drilling lines and their numbers

жаниями **цинка**. Слабоконтрастный ореол представлен вытянутым овалообразным телом. Строе-ние ореола характеризуется гнездами овалообраз-ной, трубообразной, изометричной, реже иглооб-разной формы. Вероятнее всего, повышенные со-держания элемента связаны со сфалеритом.

В объеме месторождения контрастный ореол **кобальта** имеет вытянутое овалообразное тело. Внутреннее строение ореола характеризуется тру-бообразными, плитообразными, изометричными телами. В большей части рудной зоны концен-трации элемента значительно превышают кларковый уровень. Наличие контрастных ореолов обуслов-лено присутствием в пределах крупнообъемного ме-тасоматического ореола кобальтина и других суль-фидных минералов.

Наличие контрастных ореолов **никеля** обусло-влено присутствием в пределах метасоматического ореола его минерала-носителя – пирротина, а так-же кобальтина и ряда других минералов, содержа-щих его в виде примеси. В пределах контура руд-ной зоны расположены ореолы различной интен-сивности. Случаи совмещения наиболее контраст-ных ореолов с высококонтрастными ореолами зо-лота крайне редки.

Основное пространство рудовмещающего мета-соматического ореола занято умеренноконтраст-ными концентрациями **меди**. Внутреннее строение ореола представлено системой тел трубообразной, изометричной и иглообразной форм.

Таким образом, наиболее контрастные анома-лии в крупнообъемном метасоматическом ореоле создают Au, As, Ag и Pb.

Обсуждение результатов и выводы

Дешифрирование АСПП проведено с примене-нием методов математической статистики.

Методом *ранговой корреляции* установлено, что значимая положительная корреляционная связь характерна для всех рудогенных элементов, но провести их разделение на отдельные группы не представляется возможным.

Интенсивность процессов гидротермально-ме-тасоматического рудообразования характеризуют комплексные показатели *энергии рудообразования* [21], *дисперсии и вариации геохимического спек-тра* [22].

Энергия рудообразования рассчитывалась на основе суммирования произведений кларков кон-центрации элементов на их логарифмы. Фоновые значения изменяются от –1 до 2 ед. и в пределах минерализованной зоны отмечаются очень редко. Значения показателя достигают 10^4 ед. и более. Ве-личина энергии рудообразования проявляет пря-мую зависимость от значения содержания As.

Метод, позволяющий оценивать степень диф-ференциации вещества по геохимическому спек-тру всех определенных химических элементов в единичной пробе, впервые использован И.И. Выбо-ровым и С.Г. Быстровым [21]. Показатели диспер-сии и вариации геохимического спектра (ДГС и ВГС соответственно) рассчитываются на основе стандартных формул дисперсии и вариации нор-мированных концентраций элементов.

В объеме минерализованной зоны значения ДГС значительно увеличиваются. Максимальные концентрации показателя составляют 10^5 ед. и бо-

лее. Аномальные содержания мышьяка в наибольшей степени влияют на значения комплексного показателя. Этим фактом и объясняется пространственное совмещение ореолов.

Значения ВГС и ДГС в объеме месторождения распределены по-разному. Контуры минерализованной зоны выделяются по высококонтрастным ореолам ВГС, что, вероятно, обусловлено существенным отличием в концентрациях элементов в объеме минерализованной зоны и в ее обрамлении. Установлено, что неравномерный характер распределения содержания рудогенных элементов картируется значениями показателя $ВГС > 140 \%$.

Очевидно, что показатели, характеризующие интенсивность процессов рудообразования, помогают установить границы зон гидротермально-метасоматического изменения, но не способствуют дешифрированию АСГП рудных объектов.

По отличительным особенностям геохимического спектра с использованием *кластер-анализа* выделено 5 классов проб.

Для первого и четвертого класса проб не выявлено элементов существенно влияющих на их геохимический спектр. Второй кластер характеризуется обособлением Cu, Zn, Ag, Pb, связанных со становлением галенит-халькопирит-сфалеритовой минеральной ассоциации. В третьем классе проб высокими содержаниями отличаются Co и Ni, зафиксированные в результате отложения пирит-пирротиновой минеральной ассоциации. Последний, пятый, кластер характеризуется доминирующей ролью As, который принимал активное участие в становлении арсенопирит-пирит-пирротиновой ассоциации. Выделенные геохимические ассоциации хорошо соотносятся со стадиями минералообразования, установленными по результатам ранее проведенных геологических исследований [19]. Ограниченное количество проанализированных элементов не позволило установить четкую картину зонального строения геохимических ассоциаций.

Для выявления ассоциаций рудогенных элементов с идентичным поведением в геохимических процессах был проведен *факторный анализ*. Выделено три ассоциации, вклад которых в общую дисперсию составляет 64 %.

Первый фактор, с вкладом в общую дисперсию 30 %, характеризуется наибольшими нагрузками Pb, Zn, Ag. Наибольшее воздействие на *второй фактор*, с вкладом в общую дисперсию 20 %, оказывают Co, Cu, Ni. *Третий фактор* характеризуется существенной нагрузкой на него одного элемента – As. Таким образом, это свидетельствует о привносе рудогенных элементов в процессе гидротермально-метасоматического рудообразования. Установленные геохимические ассоциации корреспондируют со стадийностью минералообразования [19]. Очевидно, что образование трех геохимических ассоциаций указывает на различие в условиях и времени образования рудоносных растворов.

Результаты обработки геохимических данных статистическими методами позволили построить объемную геохимическую модель золоторудного месторождения Чертово Кoryто (рис. 3).

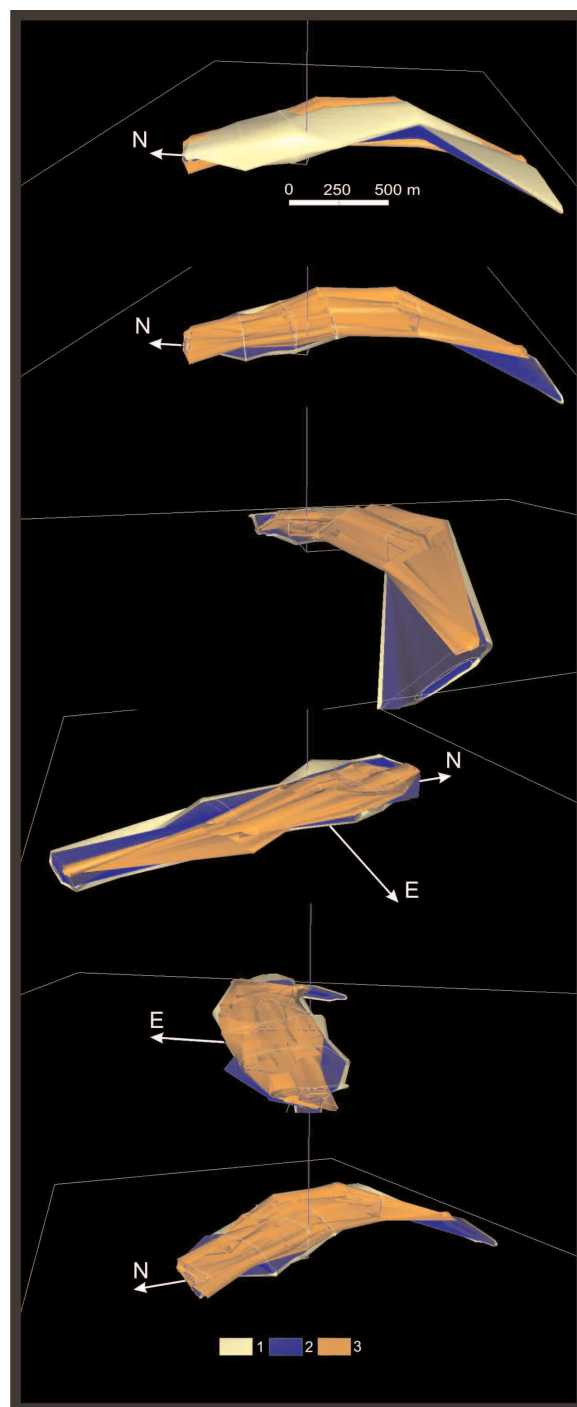


Рис. 3. Объемная геохимическая модель золоторудного месторождения Чертово Кoryто. 1 – Co-Ni ассоциация, 2 – Ag-Pb-Zn-Cu ассоциация; 3 – As ассоциация

Fig. 3. Three-dimentional geophysical model of gold ore deposit Chertovo Koryto. 1 – Co-Ni association, 2 – Ag-Pb-Zn-Cu association; 3 – As association

По результатам ранее проведенных работ установлено, что основная масса золота отлагалась в

галенит-халькопирит-сфалеритовую стадию минералообразования.

Минерализованная зона расположена в центре крупнообъемного метасоматического ореола, совпадая в пространстве с высококонтрастными Co-Ni, Ag-Pb-Zn-Cu и As геохимическими ассоциациями. Вместе с тем контуры минерализованной зоны картируются Co-Ni и Ag-Pb-Zn-Cu геохимическими ассоциациями, а ее центральная часть – As ассоциацией.

Контрастный ореол Co-Ni ассоциации совпадает в пространстве с контурами рудного тела, фрагментарно с Ag-Pb-Zn-Cu ассоциацией, занимая при этом наиболее периферийные части минерализованной зоны. Co и Ni привнесены ранними гидротермальными растворами и отложены с пирит-пирротиновой минерализацией. Для второй группы характерно наличие одного элемента – As. Его отложение, в основном в виде арсенопирита, происходило во время становления арсенопирит-пирит-пирротиновой минерализации.

Установлено концентрически-зональное строение геохимических ассоциаций в пределах крупно-

объемного метасоматического ореола (от центральной части к периферии): As→Ag-Pb-Zn-Cu→Co-Ni. Выявленную закономерность в пространственном распределении геохимических ассоциаций можно применять при проведении поверхностных (площадные литогеохимические исследования) и глубинных (скважины, горные выработки) исследований на перспективных площадях.

Использованный набор методов обработки геохимической информации позволил расшифровать АСП и установить ее концентрически-зональное строение. Наиболее значимые результаты при обработке геохимических данных по месторождению Чертово Корято были получены с применением методов математической статистики: кластерного и факторного анализов. Это позволило локализовать границы золотого оруденения в пределах изучаемого объема недр.

Созданная объемная геохимическая модель золоторудного месторождения может способствовать выделению потенциально перспективных объектов на лицензионных участках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юшкин Н.П. Топоминералогия. – М.: Недра, 1982. – 288 с.
2. Григоров С.А. Основы структурной интерпретации геохимических полей рудных объектов для целей их локализации и оценки // Отечественная геология. – 2007. – № 4. – С. 45–52.
3. Чекваидзе В.Б., Миляев С.А. Эндеогенные ореолы сидерофильных элементов золоторудных месторождений // Руды и металлы. – 2009. – № 6. – С. 15–20.
4. Иванов А.И. Опыт прогнозирования, поисков и оценки новых золоторудных месторождений в Бодайбинском рудном районе // Отечественная геология. – 2008. – № 6. – С. 11–16.
5. Пшеничкин А.Я., Коробейников А.Ф., Мацюшевский А.В. Особенности кристалломорфологии и термо-эдс пиритов золоторудных месторождений различных типов // Известия Томского политехнического института. – 1976. – Т. 260. – С. 39–48.
6. Пшеничкин А.Я. Кристалломорфология пирита и ее использование в практике поисково-разведочных работ на золото // Геология и геофизика. – 1989. – № 11. – С. 65–75.
7. 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. URL: http://iopscience.iop.org/1755-1315/21/1/012005/pdf/1755-1315_21_1_012005.pdf (дата обращения: 20.03.2015).
8. The major gold concentration areas in China and their resource potentials / C.-H. Wang, D.-H. Wang, F. Huang, J. Xu, Z.-H. Chen, L.-J. Ying, S.-B. Liu // *Geology in China*. – 2012. – V. 39. – № 5. – P. 1125–1142.
9. Wang X., Xie X., Ye S. Concepts for geochemical gold exploration based on the abundance and distribution of ultrafine gold // *Journal of Geochemical Exploration*. – 1995. – V. 55. – № 1–3. – P. 329–336.
10. Yilmaz H. Geochemical exploration for gold in western Turkey: success and failure // *J. Geochem. Explor.* – 2003. – V. 80. – № 1. – P. 117–135.
11. 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.
12. Григоров С.А. Отражение в геохимическом поле рудообразующей системы, как объекта геохимических поисков // *Разведка и охрана недр*. – 2009. – № 5. – С. 8–13.
13. 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.
14. Григоров С.А. Золотоносные метасоматиты Центральной Колымы, их потенциал и перспективы освоения // *Руды и металлы*. – 2014. – № 5. – С. 45–49.
15. 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. – V. 21. – P. 1–6. URL: http://iopscience.iop.org/1755-1315/21/1/012009/pdf/1755-1315_21_1_012009.pdf (дата обращения: 20.03.2015).
16. Structure-geochemical zoning of Topolninsk gold-ore field (Gorny Altai) / T.V. Timkin, D.S. Lavrov, O.Y. Askanakova, T.V. Kotchenko // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2014. – V. 21. – P. 1–6. URL: http://iopscience.iop.org/1755-1315/21/1/012010/pdf/1755-1315_21_1_012010.pdf (дата обращения: 20.03.2015).
17. Chernykh A.I. The permian-triassic gold mineralisation of the northwestern altai-sayany folded region // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 1*. – 2014. – P. 341–344.
18. Ворошилов В.Г. Аномальные структуры геохимических полей гидротермальных месторождений золота: механизм формирования, методика геометризации, типовые модели, прогноз масштабности оруденения // *Геология рудных месторождений*. – 2009. – Т. 51. – С. 3–19.
19. Петролого-геохимические черты рудовмещающего метасоматического ореола золоторудного месторождения Чертово Корято (Патомское нагорье) / И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко, А.В. Верхоzin // *Известия Томского политехнического университета*. – 2008. – Т. 312. – № 1. – С. 11–20.
20. Геохимическая зональность рудовмещающего ореола мезотермального золоторудного месторождения Чертово Корято (Патомское нагорье) / Р.Ю. Гаврилов, И.В. Кучеренко, В.Г. Мар-

- тыненко, А.В. Верхоzin // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 1. – С. 42–47.
21. 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.
22. 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.

Поступила 26.03.2015 г.

UDC 553.411.071:550.4

VOLUMETRIC GEOCHEMICAL MODELING OF GOLD OBJECTS ON THE EXAMPLE OF DEPOSIT CHERTOVO KORYTO (PATOM UPLAND)

Roman Y. Gavrilov,

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

The relevance of the study is caused by the need to improve the efficiency of exploration work on the gold ore through the creation of predictive models of known deposits and their comparison with promising targets.

The main aim of the research is to create a bulk geochemical field model to develop the forecasting and prospecting criteria of gold mineralization.

Research methods: geochemical mapping, mathematical processing of the results of geochemical work, modeling of geochemical fields by the methods of multivariate statistics, geological and genetic interpretation of geochemical data

Results. It was ascertained that gold and trace elements distribution in the field volume does not fit any known distribution laws. The most contrasting anomalies in high-volume metasomatic aureole are created by Au, As, Ag and Pb. The applied complex of techniques for processing geochemical information helped to decipher the abnormal structure of geochemical field. The mineralized zone is located in the center of large-volume metasomatic aureole, coinciding in space with high contrast Co-Ni, Ag-Pb-Zn-Cu and As geochemical associations. The contours of the mineralized zone are mapped by Co-Ni and Ag-Pb-Zn-Cu geochemical associations, and its central part is mapped by As association. The analysis of geochemical associations distribution showed that the concentric-zonal structure is typical for large-volume metasomatic aureole. Distribution of geochemical associations fits the staging of hydrothermal mineralization set in the field. It is obvious that the formation of three geochemical associations indicates a difference in conditions and time of formation of ore-bearing solutions. Using mining and geological program Datamine studio 3 the author has made the bulk geochemical model of the deposit. The model of gold deposit may contribute to allocation of potentially interesting objects.

Key words:

Gold, mathematical statistics, anomalous structure of geochemical field, geochemical zonality, volumetric geochemical model.

REFERENCES

1. Yushkin N.P. *Topomineralogiya* [Topo-mineralogy]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 288 p.
2. Grigorov S.A. Osnovy strukturnoy interpretatsii geokhimicheskikh poley rudnykh obektov dlya tseyey ikh lokalizatsii i otsenki [Fundamentals of structural interpretation of ore object of geochemical fields for their localization and evaluation]. *Otechestvennaya geologiya*, 2007, vol. 4, pp. 45–52.
3. Chekvaidze V.B., Milyaev S.A. Endogennye oreoly siderofilnykh elementov zolotorudnykh mestorozhdeniy [Endogenous halos of siderophilic elements of gold deposits]. *Rudy i metally*, 2009, no. 6, pp. 15–20.
4. Ivanov A.I. Opyt prognozirovaniya, poiskov i otsenki novykh zolotorudnykh mestorozhdeniy v Bodaybinskom rudnom rayone [Experience of forecasting, searching and assessing new gold fields in the Bodaybinsky ore area]. *Otechestvennaya geologiya*, 2008, no. 6, pp. 11–16.
5. Pshenichkin A.Ya., Pedlars A.F., Matsyushevsky A.V. Osobennosti kristallomorfologii i termo-eds piritov zolotorudnykh mestorozhdeniy razlichnykh tipov [Features of kristallomorfologiya and thermo-EMF of pyrites of gold fields of various types]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic Institute*, 1976, vol. 260, pp. 39–48.
6. Pshenichkin A.Ya. Kristallomorfologiya pirita i ee ispolzovanie v praktike poiskovo-razvedochnykh rabot na zoloto [Pyrite crystal morphology and its use in exploration for gold]. *Russian Geology and Geophysics*, 1989, no. 11, pp. 65–75.
7. 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. Available at: http://iopscience.iop.org/1755-1315/21/1/012005/pdf/1755-1315_21_1_012005.pdf (accessed 20.03.2015).
8. Wang C.-H., Wang D.-H., Huang F., Xu J., Chen Z.-H., Ying L.-J., Liu S.-B. The major gold concentration areas in China and their resource potentials. *Geology in China*, 2012, vol. 39, no. 5, pp. 1125–1142.
9. Wang X., Xie X., Ye S. Concepts for geochemical gold exploration based on the abundance and distribution of ultrafine gold. *Journal of Geochemical Exploration*, 1995, Vol. 55, no. 1–3, pp. 329–336.
10. Yilmaz H. Geochemical exploration for gold in western Turkey: success and failure. *Journal of Geochemical Exploration*, 2003, vol. 80, no. 1, pp. 117–135.
11. Rafailovich M.S., Golovanov I.M., Fedorenko O.A. Geologo-geokhimicheskie osobennosti gigantskikh 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 geoche-

- mistry: theory, technologies, results]. Almaty, NII prirodnikh resursov JuGGEO, 2004. pp. 67–83.
12. Grigorov S.A. Otrazhenie v geokhimicheskom pole rudoobrazuyushchey sistemy, kak obekta geokhimicheskikh poiskov [Reflection of ore-forming system as an object of geochemical searches in geochemical field]. *Razvedka i okhrana neдр*, 2009, no. 5, pp. 8–13.
 13. Gavrillov R.Yu., Khryapin D.A. Struktura geokhimicheskogo polya mezotermalnogo zolotorudnogo mestorozhdeniya Zapadnoe (Lensky rudnyy rayon) [Geochemical field structure of mesothermal gold ore deposit Zapadnoe (Lensk ore area)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 325, no. 1, pp. 137–146.
 14. Grigorov S.A. Zolotonosnye metasomatity Tsentralnoy Kolymy, ikh potentsial i perspektivy osvoeniya [Gold-bearing metasomatites of the Central Kolyma, their potential and prospects of development]. *Rudy i metally*, 2014, no. 5, pp. 45–49.
 15. 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. Available at: http://iopscience.iop.org/1755-1315/21/1/012009/pdf/1755-1315_21_1_012009.pdf (accessed 20.03.2015).
 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. Available at: http://iopscience.iop.org/1755-1315/21/1/012010/pdf/1755-1315_21_1_012010.pdf (accessed 20.03.2015).
 17. Chernykh A.I. The permian-triassic gold mineralisation of the northwestern Altai-Sayany folded region. *International Multi-disciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 1*. 2014. pp. 341–344.
 18. Voroshilov V.G. Anomaliye 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]. *Geology of the ore deposit*, 2009, vol. 51, no. 1, pp. 3–19.
 19. Kucherenko I.V., Gavrillov R.Yu., Martynenko V.G., Verkhozin A.V. Petrologo-geokhimicheskie cherty rudovmeshchayushchego metasomaticheskogo oreola zolotorudnogo mestorozhdeniya Chertovo Koryto (Patomskoe nagore) [Petrological and geochemical features of ore-bearing metasomatic halo of gold deposit Chertovo Koryto (Patom upland)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2008, vol. 312, no. 1, pp. 11–20.
 20. Gavrillov R.Yu., Kucherenko I.V., Martynenko V.G., Verkhozin A.V. Geokhimicheskaya zonalnost rudovmeshchayushchego oreola mezotermalnogo zolotorudnogo mestorozhdeniya Chertovo Koryto (Patomskoe nagore) [Geochemical zoning of ore-hosting mesothermal gold deposit Chertovo Koryto (Patom upland)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 319, no. 1, pp. 42–47.
 21. 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.
 22. 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.

Received: 26 March 2015.