

УДК 550.4:551.24:553.41

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ С ЭЛЕМЕНТАМИ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ТОПОЛЬНИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Тимкин Т.В., Ананьев Ю.С., Бушманов А.И.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, e-mail: timkin@tpu.ru*

В настоящее время в пределах Топольнинского рудного поля осуществляются поисковые работы, направленные на уточнение геологического строения территории, локализацию прогнозных ресурсов и проведение укрупненной геолого-экономической оценки, разработку комплекса поисковых предпосылок и признаков золотого оруденения, и обоснование дальнейших геолого-разведочных работ. В данной работе исследована геохимическая зональность с элементами геолого-структурной неоднородности перспективного для региона золото-скарнового геолого-промышленного типа. Для решения поставленной задачи были использованы методы геостатистики и дешифрирование космоснимков высокого пространственного разрешения. В результате проведенных исследований выявлены структуры аномального геохимического поля различных иерархических уровней, связанные с золото-скарновым оруденением. Выполнены исследования взаимосвязи между строением рудо-геохимических полей и ассоциирующихся с ними кольцевых структур. Предложены комплексные структурно-геохимические критерии поисков и оценки золотого оруденения. Отмечены наиболее перспективные участки, в пределах изученного рудного поля, на обнаружение промышленного оруденения.

Ключевые слова: геохимическая зональность, оруденение, кольцевые структуры, критерии оруденения

GEOCHEMICAL ZONATION WITH ELEMENTS OF GEOLOGICAL AND STRUCTURAL HETEROGENEITY OF THE TOPOLNINSKOYE ORE FIELD (GORNYY ALTAI)

Timkin T.V., Ananov Y.S., Bushmanov A.I.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: timkin@tpu.ru

The article deals with exploration works taking place within the bounds of the Topolninskoye ore field. They are aimed at specifying geological structure of the area, localization of probable resources, as well as carrying out enlarged geological and economical appraisal. These works also set the following goals: to develop a set of prospecting indicators of gold mineralization and to justify further exploration. This paper covers geochemical zonation with elements of geological and structural heterogeneity of the prospective gold-skar type. To solve this task geostatistical methods and interpretation of high resolution satellite imagery have been used. As a result, abnormal geochemical field structures of different hierarchy levels associated with gold-skar formations were revealed. The interrelation between the structure of ore-geochemical fields and associated ring structures was studied. Complex structure-geochemical criteria for gold mineralization prospecting and evaluation were proposed. The most prospective commercial areas within the studied ore field were identified.

Keywords: geochemical zoning, mineralization, ring structures, mineralization criteria

Топольнинское рудное поле находится в правобережье р. Ануй и р. Карама между селами Топольное и Степное на территории Солонешенского района Алтайского края (рис. 1). В структурном плане рудное поле расположено в пределах Ануйского структурного блока, который по зонам крупных разломов – на западе Башчелакского, на востоке Куячинского, граничит соответственно с Талицким и Катунским блоками. По металлогеническому районированию Топольнинское золоторудное поле входит в состав Ануйского медно-золоторудно-россыпного узла Ануйского рудного района Северо-Алтайского золотоносного пояса.

Площадь рассматриваемого района сложена нижнесилурийскими отложениями существенно терригенной чинетинской, терригенно-карбонатной полатинской свитой, нерасчленённой карбонатно-терригенной громотухинской серией, терригенной чес-

ноковской, нижнедевонской карбонатно-терригенной камышенской и барагашской свитами.

Интрузивные образования занимают треть площади Топольнинского золоторудного поля, они представлены двумя массивами (Топольнинский, Караминский) и многочисленными дайками различного состава топольнинского габбро-гранодиорит-гранитового комплекса, штоками и линейными субвулканическими телами куяганского рiolит-дацит-андезитового комплекса.

В пределах большой площади поля в экзоконтактах массивов вмещающие породы подвергнуты слабому ороговикованию и местами скарнированы [2]. Скарновый процесс, в пределах рудного поля, носит рассеянный характер. По нашим данным, в рудном поле так же проявлены изменения пропилитового типа. Эти метасоматиты более локальны, и приурочены к периферии

скарнов, что позволяет относить их к послескарновым метасоматитам [5]. Рудная минерализация в наибольших концентрациях приурочена к скарнам, послескарновым пропиткам и к березитам. Ведущее оруденение в рудном поле представлено золото-скарновым типом. Из сульфидов, количество которых варьируется 1–5%, развиты в основном пирит, арсенопирит, пирротин и халькопирит, реже – сфалерит, молибденит, борнит, халькозин, галенит, блеклые руды, теллуриды и сульфотеллуриды Bi, Pb, Ag [5].

Оруденение сопровождается интенсивными первичными и вторичными ореолами широкого круга элементов. Набор их типичен для данного типа оруденения и региона, однако состав выявленных ассоциаций химических элементов и характера их пространственных взаимоотношений позволяет говорить о достаточно отчетливой специфике внутреннего строения аномальных геохимических полей.

Материалы и методы исследования

В основу наших исследований положены результаты литогеохимической съемки масштаба 1:25000, 1:10000 по вторичным ореолам рассеяния (более 8000 проб) в пределах Топольнинского золоторудного поля, выполненной ОАО «Горно-Алтайской экспедицией» 2012–2014 гг., и данных геохимического опробования керн скважин. Обработка материалов проводилась с использованием стандартных статистических программ, а геометризация результатов

выполнена с применением ГИС-технологий, в соответствии с разработанной методикой [1, 3].

В работе использованы спектротональные космические снимки Modis, Landsat ETM+, Aster, IRS и цифровые модели рельефа SRTM и Aster DEM. Обработка, дешифрирование, анализ космоматериалов и моделирование геологических и рудно-геохимических систем выполнены в соответствии с методическими рекомендациями и подходами [4].

Так как Топольнинское рудное поле находится в сложных ландшафтных условиях, и интерпретация только геохимических данных не позволяла реконструировать целостную картину аномального геохимического поля (АГП), в первую очередь были выполнены исследования взаимосвязи между строением рудогенных геохимических полей и ассоциирующихся с ними кольцевых структур. Впоследствии это дало возможность делать прогноз и давать правильную оценку наиболее перспективным золоторудным объектам.

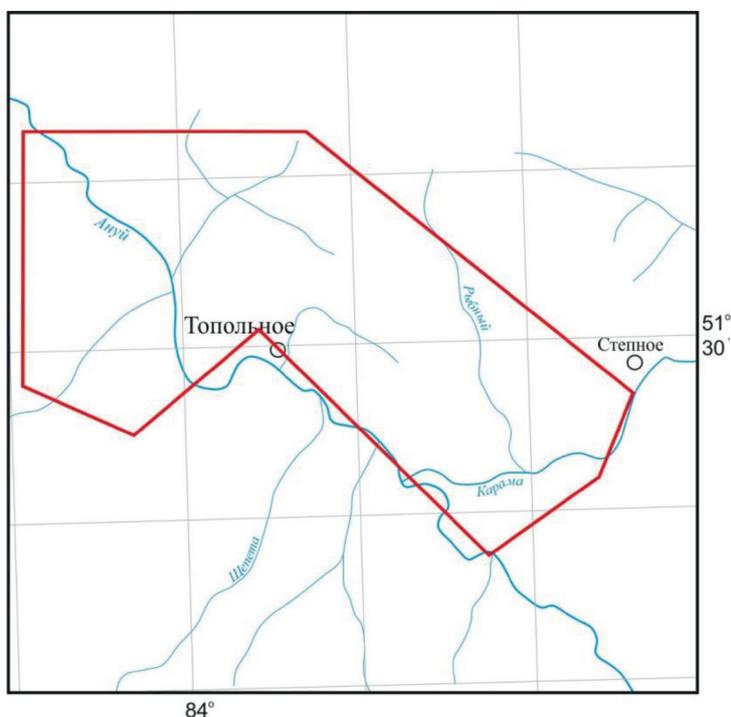
Результаты исследований и их обсуждение

В процессе исследований нами:

- определены фоновые и минимально-аномальные концентрации золота и элементов-спутников во вторичных ореолах рассеяния;

- выявлены геохимические ассоциации и исследована зональность их размещения в пределах рассматриваемого рудного поля;

- определена связь с кольцевыми структурами в строении аномального геохимического поля и позиция золотого оруденения в нём;



 - контур Топольнинского золоторудного поля

Рис. 1. Схема расположения Топольнинского рудного поля

– предложены структурно-геохимические критерии прогноза золотого оруденения.

Фоновые и минимально аномальные содержания элементов рассчитаны по стандартной методике А.П. Соловова [6]. Поскольку на рассматриваемой площади распределение всех элементов не соответствует нормальному закону ($A/S_A > 3$ и $E/S_E > 3$), то при расчете фоновых и аномальных значений использована модель логнормального распределения (таблица).

Для всей площади рудного поля факторным анализом выделяется 3 устойчивые ассоциации главных элементов-индикаторов, отражающих пространственно-временную эволюцию рудообразующих флюидов: F1–Au,Ag,Bi,Cu,(As,Sb), F2–Sn,Pb,Zn,W,Mn, F3–Cr,Ni,V. Первый фактор соответствует собственно золоторудной минерализации, набор второго можно интерпретировать как «породный», фактор 2 пространственно приурочен к интрузивам, указывая на возможную температурную зональность оруденения. Фактор F3 фиксирует области с рассеянной сульфидной минерализацией.

Дешифрирование спектрозонального космического снимка высокого пространственного разрешения позволило вывить комплекс иерархически соподчиненных кольцевых структур. На рис. 2 показано пространственное размещение выделенных ассоциаций, кольцевых структур и разрывных нарушений на изучаемой площади.

Анализ рис. 2 позволяет заключить следующее. На площади рудного поля известные рудопроявления фиксируются аномалиями Au,Ag,Bi,Cu,As,Sb, контролируются разломами северо-западного и северо-восточного направления, малыми кольцевыми

и дуговыми (до 9,5 км) структурами. Близкие закономерности устанавливаются в распределении Co, Ni и V. Они образуют внешнюю зону по отношению к ореолам Au, Ag, Bi, Cu, As, Sb и отгоняются во фронтальные зоны, где образуют дуговые ореолы, повторяющие контуры кольцевой структуры.

Как видим, большая часть контрастных аномалий Au, Ag, Bi, Cu, As, Sb располагается по периферии выявленных кольцевых структур, это объясняется тем, что зона фронтального обогащения АГП ранга рудного поля представлена совокупностью известных рудопроявлений и зон рассеянной минерализации, приуроченных к менее благоприятным для концентрации оруденения тектоническим структурам [7–9].

Рис. 3 демонстрирует структуру аномального геохимического поля (АГП) перспективного участка. Здесь обособились 3 главных фактора, вклад которых в общую дисперсию составляет около 70%. Они формируют контрастную полузакнутую концентрическую структуру, где выделяются внутренняя (ядерная), промежуточная и внешняя (фронтальная) зоны, которые имеют различные размеры, состав и степень концентрации главных и сопутствующих элементов. Для ядерной зоны концентрирования характерны ассоциации золота, серебра, меди, висмута, вольфрама, олова, в которых эти элементы достигают максимальных концентраций. Промежуточная зона АСГП не фиксируется повышенными значениями элементов, но четко отделяет ядерную зону от фронтальной. Во фронтальной зоне концентрируются кобальт, никель, хром и ванадий при некотором повышении содержания остальных элементов (рис. 3).

Фоновые и минимально аномальные значения

Элементы	\tilde{X}	e	Минимально аномальное содержание для N коррелирующихся точек (в градациях спектрального анализа), в n*10 ⁻³ % (Au – в г/т)								
			N=1	N=2	N=3	N=4	N=5	N=6	N=7	N=8	N=9
Au	0,003	2,05	0,024	0,013	0,01	0,008	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006
Ag	0,005	1,14	0,008	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
Bi	0,05	1,07	0,063	0,059	0,058	0,057	0,056	0,056	0,055	0,055	0,05
Pb	1,4	1,46	4,4	3,2	2,7	2,5	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1
Cu	3,04	1,3	6,9	5,4	4,9	4,6	4,4	4,24	4,14	4,06	3,99
Zn	4,03	1,7	21	13	10	9,2	8,4	7,9	7,5	7,2	7,0
Co	1,2	1,57	4,7	3,2	2,7	2,4	2,2	2,1	2,0	1,98	1,92
Ni	3,6	1,3	8,7	6,7	6,0	5,6	5,3	5,1	5,0	4,9	4,8
Cr	3,9	1,4	11	8,4	7,3	6,7	6,3	6,1	5,9	5,7	5,6
Mn	61,5	1,18	102	88	82	79	77	76	75	74	73
Sn	0,2	1,4	0,5	0,4	0,3	0,29	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
W	0,5	1,1	0,71	0,66	0,63	0,62	0,61	0,6	0,6	0,6	0,6
Mo	0,09	1,4	0,26	0,19	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13

Примечание. \tilde{X} – фон n*10⁻³%; e – стандартный множитель.

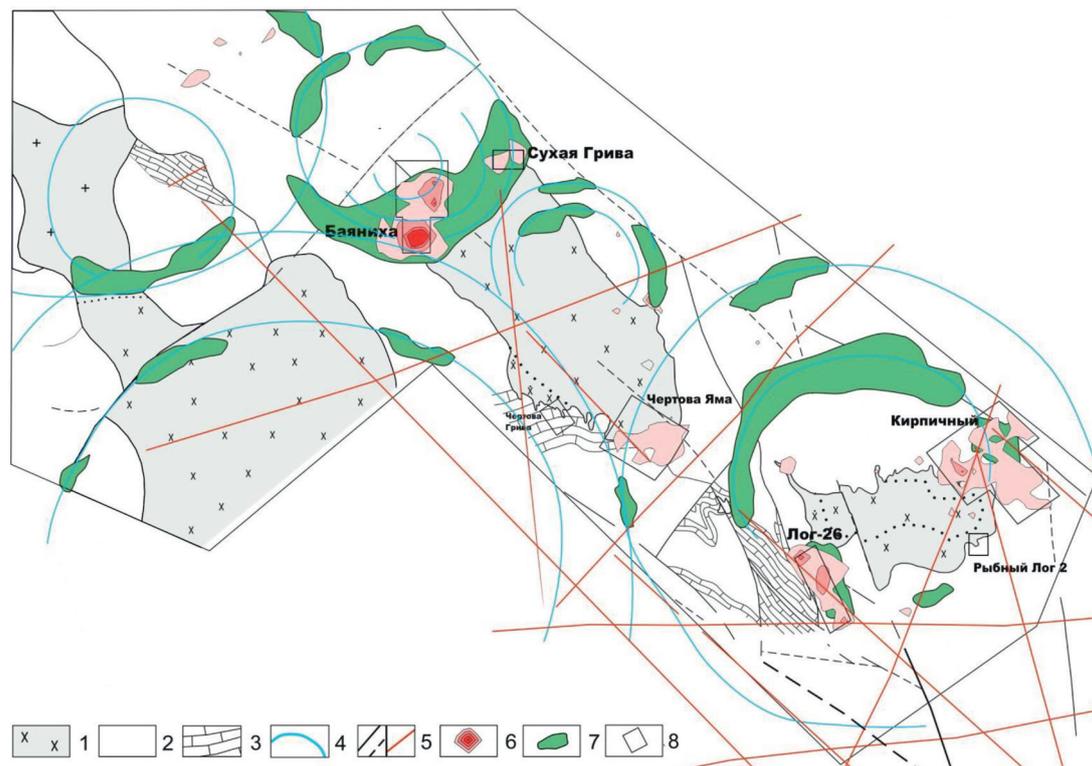


Рис. 2. Распределение геохимических ассоциаций в кольцевых и линейных структурах Топольнинского рудного поля. Масштаб 1:25 000. 1) гранодиориты, граниты, диориты; 2) известковистые песчаники, алевролиты, аргиллиты, песчаники; 3) известняки; 4) кольцевые структуры; 5) линеаменты, трактуемые как разрывные нарушения: а) выявленные, предполагаемые; б) отдешифрированные; аномалии: б) Au-Ag-Bi-Cu-(As-Sb); 7) Co-Ni-V; 8) перспективные участки

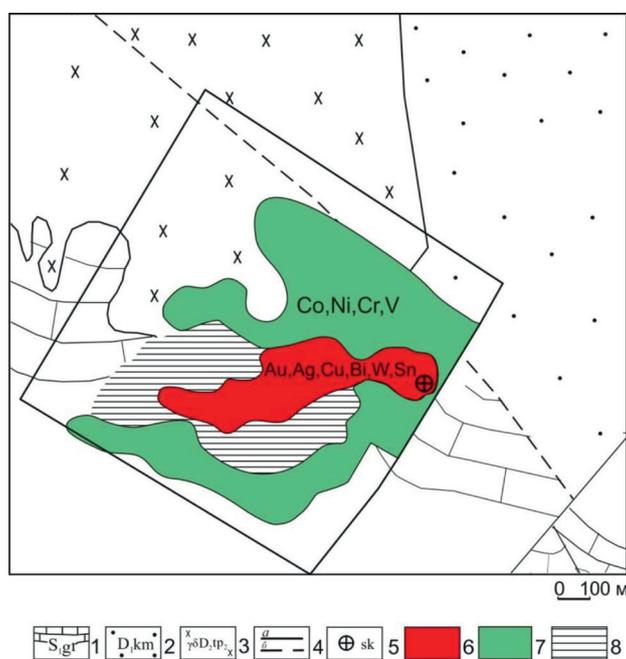


Рис. 3. Распределение геохимических ассоциаций в пределах участка Чертова Яма: 1 – глинистые сланцы алевролиты, песчаники, известняки; 2 – песчаники, алевролиты; 3 – гранодиориты, 4 – геологические границы: а – достоверные, б – предполагаемые; 5 – скарны и скарнированные породы; 6 – ядерная зона концентрирования (Au-Ag-Cu-Bi-W-Sn); 7 – фронтальная зона концентрирования (Co-Ni-Cr-V); 8 – промежуточная зона

Результаты распределения ассоциаций элементов показали, что они обнаруживают концентрически-зональную структуру на уровне месторождения. Зональность выражена в распределении высококонтрастных ореолов одних элементов в центральной части рудообразования, а других по периферии.

Выводы

Изучена геохимическая зональность и космоструктура Топольнинского золоторудного поля (Рудный Алтай) по материалам литогеохимических съемок и мультиспектральных космических систем Landsat ETM+, IRS и радиолокационной съемки SRTM.

Использование в комплексе геохимических данных и данных космических съемок среднего и высокого пространственного разрешения позволило уточнить геологическое строение и получить комплексную геолого-структурную информацию:

- Золото-скарновое оруденение на изучаемой площади сопровождается во вторичном геохимическом поле ассоциациями Au, Ag, Bi, Cu, (As, Sb); Sn, Pb, Zn, W, Mn и Co, Ni, V.

- Наиболее благоприятны для поисков этого оруденения участки пространственного совмещения нескольких геохимических ассоциаций, которые формируют во вторичном геохимическом поле аномальную геохимическую структуру концентрического строения.

- Выделенные кольцевые структуры ранга рудного поля связаны с интрузивными телами, как слепыми, так и вскрытыми эрозией. Структуры более высокого порядка, ранга месторождения, отражают следы взаимодействия гидротермально-флюидных систем с вмещающими породами.

- Выделенные разноранговые кольцевые структуры подчеркиваются геохимическими данными.

Совокупность выявленных закономерностей позволяет рассматривать их в качестве прогнозно-поисковых критериев участков перспективных на выявление золотого оруденения ранга рудное поле – месторождение.

Работа выполнена при финансовой поддержке Томского политехнического университета. Проект: ВИУ_ИПР_114_2014.

Список литературы

1. Ворошилов В.Г. Аномальные структуры геохимических полей гидротермальных месторождений: механизм формирования, методика геометризации, типовые модели, прогноз масштабности оруденения // Геология рудных месторождений. – 2009. – С. 3–19.
2. Гусев Н.И., Гусев А.И. Золотогенерирующие рудно-магматические системы Горного Алтая // Руды и металлы. Москва. – 1998. – С. 67–78.

3. Девис Дж.С. Статический анализ данных геологии. – М.: Недра. – 1990. – 472 с.

4. Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Житков В.Г., Назаров В.Н., Кузнецов А.С. Дистанционные методы геологических исследований, прогноза и поиска полезных ископаемых (на примере Рудного Алтая). – Томск: STT. – 2007. – 228 с.

5. Савинова О.В., Тимкин Т.В. Вещественный состав и последовательность минералообразования рудопроявления Лог-26 Топольнинского золоторудного поля (Горный Алтай) // Вестник Томского государственного университета. – 2014. – № 383. – С. 212–220.

6. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра. – 1985. – 294 с.

7. Тимкин Т.В. Критерии локализации золотого оруденения в Майско-Лебедском рудном поле (Горная Шория) // Вестник Иркутского государственного технического университета. Науки о Земле. – 2011. – № 1 (48). – С. 58–64.

8. Gavrilov R.Y., Khmelev M.S., Abramova R.N. Volumetric geochemical model of Chortovo Koryto gold-ore deposit (Patom range) [Electronic resources] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2014 – Vol. 21. – Issue 1. – P. 1–6.

9. Voroshilov V.G., Savinova O.V., Ananjev Y.S., Abramova R.N. Anomaly Geochemical Fields in Siberian Hydrothermal Gold Deposits [Electronic resources] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2014 – Vol. 21. – P. 1–6.

References

1. Voroshilov V.G. Anomal'nye struktury geohimicheskikh polej gidrotermal'nyh mestorozhdenij: mehanizm formirovaniya, metodika geometrizacii, tipovye modeli, prognoz mashtabnosti orudnenija // Geologija rudnyh mestorozhdenij. 2009. pp. 3–19.

2. Gusev N.I., Gusev A.I. Zolotogenerirujushhie rudno-magmatische sistemy Gornogo Altaja // Rudy i metally. Moskva. 1998. pp. 67–78.

3. Devis Dzh.S. Sticheskiy analiz dannyh geologii. M.: Nedra. 1990. 472 p.

4. Pocoluev A.A., Anan'ev Ju.S., Zhitkov V.G., Nazarov V.N., Kuznecov A.S. Distancionnye metody geologicheskikh issledovaniy, prognoza i poiska poleznyh iskopaemyh (na primere Rudnogo Altaja). Tomsk: STT. 2007. 228 p.

5. Savinova O.V., Timkin T.V. Veshhestvennyj sostav i posledovatel'nost' mineraloobrazovaniya rudoprojavlenija Log-26 Topol'ninskogo zolotorudnogo polja (Gornyj Altaj) // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. no. 383. pp. 212–220.

6. Solovov A.P. Geohimicheskie metody poiskov metorozhdenij poleznyh iskopaemyh. M.: Nedra. 1985. 294 p.

7. Timkin T.V. Kriterii lokalizacii zolotogo orudnenija v Majsko-Lebedskom rudnom pole (Gornaja Shorija) // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Nauki o Zemle. 2011. no. 1 (48). pp. 58–64.

8. Gavrilov R.Y., Khmelev M.S., Abramova R.N. Volumetric geochemical model of Chortovo Koryto gold-ore deposit (Patom range) [Electronic resources] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2014 Vol. 21. Issue 1. pp. 1–6.

9. Voroshilov V.G., Savinova O.V., Ananjev Y.S., Abramova R.N. Anomaly Geochemical Fields in Siberian Hydrothermal Gold Deposits [Electronic resources] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2014 Vol. 21. pp. 1–6.

Рецензенты:

Поцелуев А.А., д.г.-м.н., профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск;

Ворошилов В.Г., д.г.-м.н., профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.

Работа поступила в редакцию 12.02.2015.