

Оригинальная статья / Original article

УДК: 552.321.1:550

ОЦЕНКА ФЛАНГОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ПО ПЕРВИЧНЫМ И ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ. ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ

© С.В. Ефремов¹, А.Г. Бибитов², М.Я. Гиёсов³, Д.С. Минкевич⁴, С.Б. Цыдыпова⁵

¹⁻⁵Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Российская Федерация, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

¹Институт геохимии СО РАН,

Российская Федерация, 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а.

РЕЗЮМЕ. Данная статья является второй в серии статей, посвященных иллюстрации использования геохимических методов поиска для оценки флангов известных месторождений. **Цель** – на примере конкретного месторождения рассмотреть методы и приемы интерпретации съемок по первичным ореолам с выделением и оценкой перспективных рудных объектов. **Методы.** Последовательность выполняемых задач может быть описана следующим алгоритмом: выделение перспективных аномалий (рудных объектов); их генетическое соотнесение с этапом процесса рудообразования; расчет прогнозных ресурсов металла, оценка уровня эрозионного среза рудного тела/рудной зоны и поправочного коэффициента для корректировки прогнозных объемов минерализации; выделение перспективных рудных объектов для постановки дальнейших работ. **Результаты.** Приведенные материалы показывают, что оценка флангов известных месторождений может быть довольно эффективно выполнена с использованием результатов геохимических съемок по первичным ореолам со значительным снижением затрат на проведение горных работ. В результате выполненных исследований было выделено три перспективных рудных объекта, два из которых заслуживают дальнейшего изучения с обязательной постановкой горных и буровых работ. В пределах оставшихся вопросов необходимо провести дополнительное геологическое изучение с оценкой экономической целесообразности проведения поисково-оценочных работ. Все выделенные рудные объекты по величине прогнозных ресурсов могут быть сопоставлены с мелкими месторождениями в классификации В.И. Красникова. Два из них находятся на надрудном уровне эрозионного среза, один – на рудном уровне эрозионного среза.

Ключевые слова: первичные ореолы, Си-Мо рудная формация, оценка рудных объектов по геохимическим данным.

Формат цитирования: Ефремов С.В., Бибитов А.Г., Гиёсов М.Я., Минкевич Д.С., Цыдыпова С.Б. Оценка флангов рудных месторождений с помощью геохимических съемок по первичным и вторичным ореолам. Первичные ореолы // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2017. Т. 40. № 2. С. 36–49.

¹Ефремов Сергей Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, зав. кафедрой геологии и геохимии полезных ископаемых ИРНИТУ, старший научный сотрудник Института геохимии СО РАН, тел.: (3952) 405653, e-mail: esv@istu.edu

Sergey V. Efremov, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Head of the Department of Geology and Geochemistry of Minerals INRTU, Senior Researcher of the Institute of Geochemistry SB RAS, tel.: (3952) 405653, e-mail: esv@istu.edu

²Бибитов Анатолий Григорьевич, студент, тел.: (3952) 405653, e-mail: ggpi@istu.edu

Anatoliy G. Bibitov, Student, tel.: (3952) 405653, e-mail: ggpi@istu.edu

³Гиёсов Мухаммадсиддик Яхъёевич, студент, тел.: (3952) 405653, e-mail: ggpi@istu.edu

Muhammadsiddik Ya. Giesov, Student, tel.: (3952) 405653, e-mail: ggpi@istu.edu

⁴Минкевич Дмитрий Сергеевич, студент, тел.: (3952) 405653, e-mail: ggpi@istu.edu

Dmitriy S. Minkevich, Student, tel.: (3952) 405653, e-mail: ggpi@istu.edu

⁵Цыдыпова Саяна Баторовна, студент, тел.: (3952) 405653, e-mail: ggpi@istu.edu

Sayana B. Tsydyпова, Student, tel.: (3952) 405653, e-mail: ggpi@istu.edu

ESTIMATION OF ORE DEPOSIT FLANKS BY PRIMARY AND SECONDARY HALO GEOCHEMICAL SURVEYS. PRIMARY HALOS

S.V. Efremov, A.G. Bibitov, M.Ya. Giesov, D.S. Minkevich, S.B. Tsydypova

Institute of Geochemistry SB RAS,
1-a, Favorsky St., Irkutsk, 664033, Russian Federation.
National Research Irkutsk State Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russian Federation.

ABSTRACT. This article is the second in a series of articles demonstrating the use of geochemical research methods for the evaluation of known deposit flanks. The **purpose** of the paper is on example of a particular field to consider the methods and interpretation techniques of primary halo surveys with the identification and evaluation of promising ore deposits. **Methods.** The sequence of performed tasks can be described by the following algorithm: identification of promising anomalies (ore deposits); their genetic correlation with the ore formation stage; calculation of inferred resources of metal, assessment of the level of ore body/ ore zone erosion and the correction factor in order to adjust the predicted volumes of mineralization; identification of promising ore fields for the organization of further works. **Results.** The materials presented in the article show that the evaluation of the known deposit flanks can be efficiently performed using the results of geochemical surveys by primary halos. This will ensure significant reduction in the costs of mining operations. Performed researches result in the identification of three promising ore objects, two of which require further investigation with mandatory mining and drilling operations. To answer other questions it is necessary to carry out an additional geological study with the assessment of the economic feasibility of prospect evaluation surveys. By the amount of inferred resources all identified ore objects can be compared with small deposits in the classification of V.I. Krasnikov. Two of them are at the supraore level of erosion and one of them is at the ore level of erosion.

Keywords: primary halos, Cu-Mo ore formation, evaluation of ore objects by geochemical data

For citation: Efremov S.V., Bibitov A.G., Giesov M.Ya., Minkevich D.S., Tsydypova S.B. Estimation of ore deposit flanks by primary and secondary halo geochemical surveys. Primary halos. Proceedings of Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits. 2017, vol. 40, no. 2, pp. 36–49. (In Russian).

Введение

Данная статья является второй в серии и посвящена иллюстрации подходов по выделению и оценке рудных объектов в пределах рудного поля известного месторождения с использованием геохимических съемок по первичным ореолам. Поиски и оценка перспективных геологических объектов в пределах рудного поля известного месторождения традиционными методами обычно требуют большого объема горных и буровых работ, что сказывается на их стоимости. Использование для этих целей геохимических методов позволяет значительно сократить материальные затраты. Обусловлено это в первую очередь возможностью количественной оценки рудного объекта, сопровождающегося геохимической аномалией по параметрам: размер, прогнозные ресурсы, уровень эрозионного среза. Все это позволяет разделить

перспективные и неперспективные рудные объекты на этапе интерпретации геохимических съемок и проводить горные и буровые работы там, где это действительно необходимо.

Методика работ

В основе выделения перспективных объектов лежат результаты, полученные при изучении эталонного месторождения, в пределах рудного поля которого проводились поисковые работы. В нашем случае при изучении первичных ореолов месторождения был выделен ряд геохимической зональности (Mo, W, Cu), определен показатель зональности (Cu^*Cu/Mo^*Mo), для оценки уровня эрозионного среза построен его график, создана метрика месторождения и график вариаций коэффициента ρ , позволяющего корректировать количество металла в рудном объекте в зависимости от уровня эрозионного среза [1].

Ниже показана последовательность решаемых задач при поиске и оценке перспективных рудных объектов:

– статистическая обработка выборки с определением явных аномалий, фоновой и минимально-аномальной концентрации;

– построение карт изоконцентрат, выделение первичных ореолов рудных зон и тел;

– генетическое соотнесение геохимических аномалий с геологическими телами, сложенными ассоциациями минералов различных стадий рудоотложения;

– количественная оценка аномалий с расчетом площадной продуктивности P , $m^2\%$;

– расчет показателя зональности и оценка уровня эрозионного среза рудного объекта;

– оценка возможного размаха оруденения и коэффициента ρ ;

– расчет ресурсов по категории P_2 с поправкой на уровень эрозионного среза;

– выделение рудных объектов для постановки дальнейших работ.

Решение большинства из этих задач подробно описано в инструкциях и учебниках по обработке результатов геохимических съемок [2 и др.], пояснений требует только генетическое соотнесение геохимических аномалий с той или иной ассоциацией минералов. В основе генетического соотнесения лежит представление о том, что ассоциация химических элементов будет определяться ассоциацией минералов, следовательно, ее распространение в пространстве будет фиксировать распространение ассоциации минералов. Иными словами, определяя пространственные границы распространения ассоциации химических элементов, мы картируем геологическое тело, сложенное определенной ассоциацией минералов (массив гранитоидов, дайка, осадочная толща, первичный геохимический ореол, рудное тело и т.д.).

Этот подход позволяет по резуль-

татам геохимических съемок выделять геологические тела, сложенные различными ассоциациями минералов, в том числе минералами продуктивных стадий рудоотложения, и может быть использован для разбраковки геохимических аномалий по генетическому типу. Например, пространственное совпадение зон аномальных концентраций рудного элемента с полем распространения «продуктивной ассоциации химических элементов» позволяет говорить о том, что эти концентрации созданы в результате образования минералов продуктивной стадии рудоотложения, а аномалия заслуживает дальнейшего изучения и количественной оценки.

Для выделения элементных ассоциаций обычно используются методы многомерной статистики (в нашем случае использован метод главных компонент), далее выделенные ассоциации химических элементов сопоставляются с тем или иным геологическим процессом: для этого используются вводные данные о геологическом строении участка работ, справочные данные о составах горных пород, руд и промышленных типах рудных месторождений. Более подробно все эти подходы изложены в работе [3].

В нашем случае для генетического соотнесения ассоциаций химических элементов и ассоциаций минералов была использована модель рудно-магматической системы Б.Л. Флерова [4], описывающая последовательную смену минеральных ассоциаций (различные стадии рудоотложения) при изменении состава гидротермальных растворов, отделяющихся от остывающего гранитоидного очага. Результаты этого соотнесения приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, выделенные геохимические ассоциации могут быть сопоставлены с различными этапами минералообразования: магматическим, пневматолитовым и гидротермальным. Наибольший интерес для нас представ-

Таблица 1

Выделенные ассоциации

Table 1

Identified associations

Стадия минерализации / Mineralization stage	Ассоциация (цифры – факторная нагрузка) / Association (figures – factor loading)									
Магматический этап / Magmatic stage										
Породная / Rock	Mg	Sc	Ti	Ni	Co	Fe	Mn	Al	Li	Sr
	0,82	0,81	0,77	0,73	0,69	0,65	0,61	0,60	0,59	0,54
Пневматолитовый этап / Pneumatolytic stage										
Щелочной метасоматоз / Alkaline metasomatism	Ba	K								
	0,73	0,41								
Грейзенизация / Greisenization	W	Li	Ta	Be						
	0,30	0,19	0,17	0,14						
Гидротермальный этап / Hydrothermal stage										
Высокотемпературная Cu-Mo (продуктивная) / High-temperature (productive) Cu-Mo	Mo	S	Zn	Cu	Pb					
	0,80	0,70	0,62	0,60	0,55					
Среднетемпературная полиметаллическая Pb, Zn / Medium temperature polymetallic Pb, Zn	Bi	Pb	Zn	Sb						
	0,42	0,32	0,24	0,20						
Низкотемпературная сульфосоли As, Sb / Low-temperature As, Sb sulfosalt	Sb	Sr	As	Na	S					
	0,48	0,27	0,20	0,18	0,17					

ляют элементные ассоциации гидротермального этапа, в частности высокотемпературная Cu-Mo, фиксирующая зоны с повышенными концентрациями сульфидов меди, молибдена, свинца и цинка (халькопирит, молибденит, сфалерит, редко галенит). Эта ассоциация минералов является главной (продуктивной) при формировании рудных тел эталонного месторождения, а ее распространение в пространстве фиксирует рудные тела и их первичные ореолы.

Для разбраковки геохимических аномалий на перспективные и неперспективные нам нужно просто сопоставить карты изоконцентрат главных рудных элементов с картой полей продуктивной ассоциации химических элементов. Простое совпадение эпицентров аномалий позволит говорить о том, что они связаны

с выходом на поверхность рудных тел и/или их первичных ореолов.

Краткая геологическая характеристика района работ

Район работ расположен в восточной Монголии, на правом берегу реки Керулен, недалеко от города Ундэрхан. Структурно он располагается в пределах Эгийн-Даванского террейна, фундамент которого сложен породами докембрийского возраста.

В пределах площади работ (рис. 1) наиболее широко распространены раннепалеозойские гранитоиды, относимые к керуленскому комплексу. Эти гранитоиды прорваны массивами эгийн-даванского (P₂), бороундурнского (J₁) и шарахадинского (J₂) комплексов. Перекрываются вулканитами эгийн-даванской толщи (P₂) и вулканогенно-осадочными породами нижнего мела.

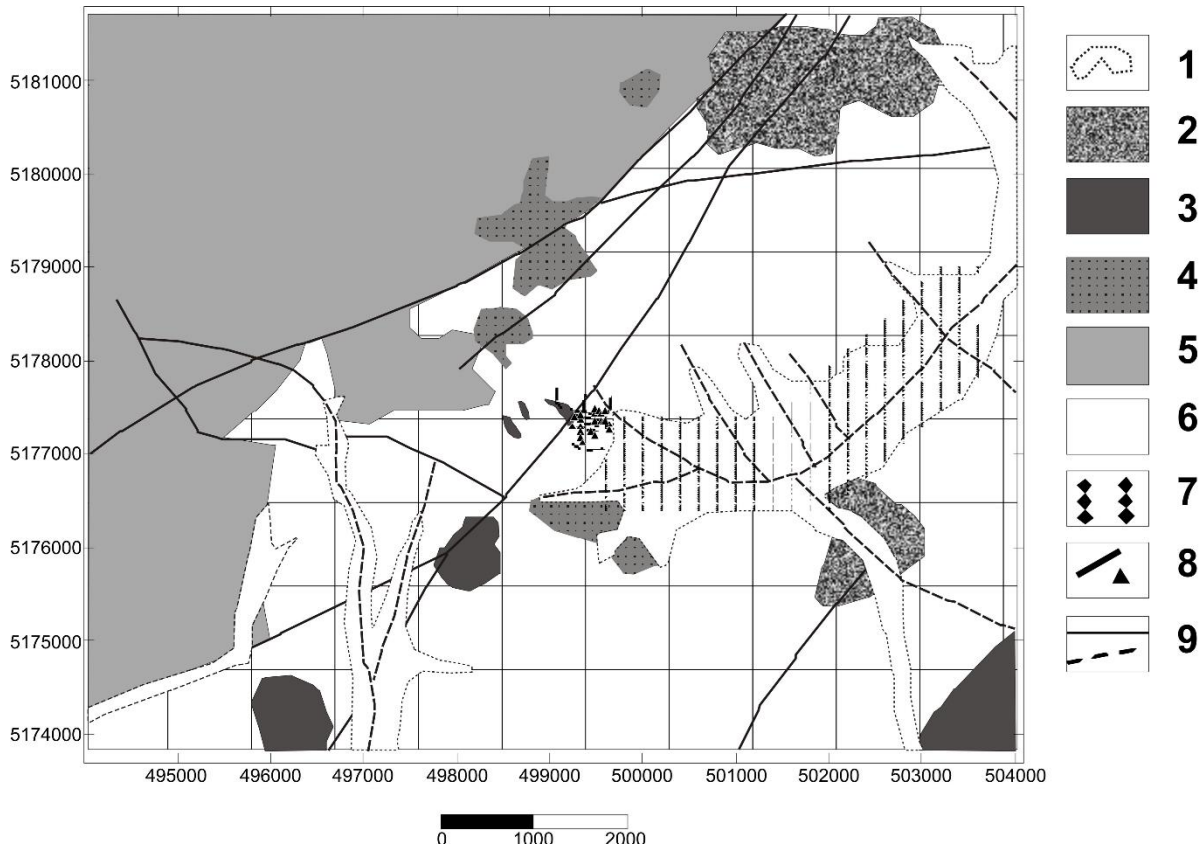


Рис. 1. Геологическая карта района работ:

1 – четвертичные отложения; 2 – раннемеловые вулканогенно-осадочные отложения;
3 – гранитоиды шарахадинского комплекса (J_2); 4 – вулканиты эгийн-даванской толщи (P_2);
5 – гранитоиды эгийн-даванского комплекса (P_2); 6 – гранитоиды керуленского комплекса (PZ_1);
7 – места отбора проб (устья скважин); 8 – поисковые канавы и скважины в пределах эталонного месторождения; 9 – выявленные и предполагаемые разрывные нарушения.

Система координат WGS84 UTM зона 47N

Fig. 1. Geological map of the area of work:

1 – Quaternary sediments; 2 – Early Cretaceous volcanogenic-sedimentary deposits;
3 – granitoids of the Sharakhadin complex (J_2); 4 – volcanites of the Egiin-davan formation (P_2);
5 – granitoids of the Egiin-davan complex (P_2); 6 – granitoids of the Kerulen complex (PZ_1);
7 – sampling points (well tops); 8 – prospecting ditches and wells within the reference field;
9 – identified and forecasted faulting.

Coordinate system WGS84 UTM zone 47N

Эталонное месторождение является крупным (ресурсы – 290000 т Mo), относится к Cu-Mo порфировой рудной формации. Оно расположено в ближнем экзоконтакте гранитоидной интрузии пермского возраста (см. рис. 1), однако генетически связывается с юрскими гранитоидами бороундурского и шарахадинского комплексов, субвулканические аналоги которых рассматриваются как синрудные, однако это не исключает возмож-

ность рассматривать этот рудный объект как полигенный и полихронный.

Результаты геохимических поисков

Геохимические съемки по первичным ореолам проводились к востоку от месторождения, в пределах территории, перекрытой четвертичными аллювиально-делювиальными отложениями (см. рис. 1). Опробование производилось с помощью шнекового бурения, с отбором

образцов из коренного залегания в забое скважины. Сеть отбора проб составляла 200×40, что является обычным для геохимических съемок по вторичным ореолам рассеяния масштаба 1:10000, но не для съемок по первичным ореолам.

Эта сеть позволяет уверенно выделять области повышенных концентраций профильных элементов (первичные ореолы рассеяния) по размерам, сопоставимым с первичным ореолом Mo (81 км²) и Cu (142 км²) эталонного месторождения, однако при этом возникают проблемы с количественной оценкой аномалий ввиду небольшого количества проб, попадающих в ее пределы. В связи с этим рассчитанные величины продуктивностей и прогнозных ресурсов следует рассматривать как относительные, их можно использовать для оценки величин различных показателей, характеризующих оруденение, однако объемы минерализации должны быть скорректированы в ходе дальнейших работ.

В этом случае наиболее надежным параметром оценки будет площадь аномалии и уровень эрозионного среза предполагаемого рудного объекта.

Так как оценка размера первичного ореола (геохимической аномалии) очень важна, значительное внимание было

уделено построению карт изоконцентрат. Для минимизации искажений узлы сети карты были совмещены с узлами сети опробования, расчет содержаний в узлах сети проводился с помощью обратно-квадратичной весовой функции, размер окна составлял 400×200 м. Окно делилось на четыре части с максимальным количеством проб в квадранте, равным 16, и минимальным количеством, равным 2.

Статистический анализ выборки показал, что в пределах площади работ присутствуют пробы с аномальными концентрациями Cu, Mo, Pb, Zn, W (табл. 2). Эта ассоциация совпадает с таковой в пределах рудной зоны эталонного месторождения и свидетельствует о довольно высокой вероятности обнаружения на этой площади промышленного оруденения меди и молибдена. Помимо максимальных концентраций в табл. 2 приведены стандартное отклонение, фоновое и минимально-аномальное значения для этих элементов, необходимые нам для построения геохимических карт.

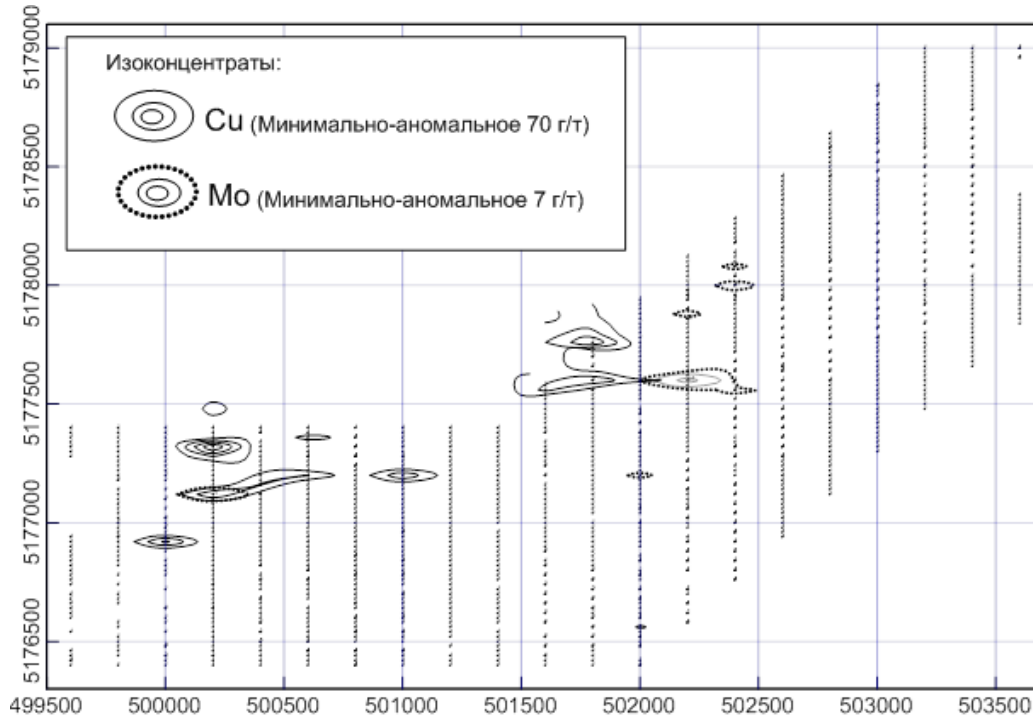
Карты изоконцентрат Cu и Mo приведены на рис. 2, а. Мы видим, что Cu и Mo образуют семь крупных контрастных аномалий в пределах площади работ, каждая из которых требует заверки при традиционных методах поисковых работ.

Таблица 2
Статистические параметры выборки (концентрации в г/т)

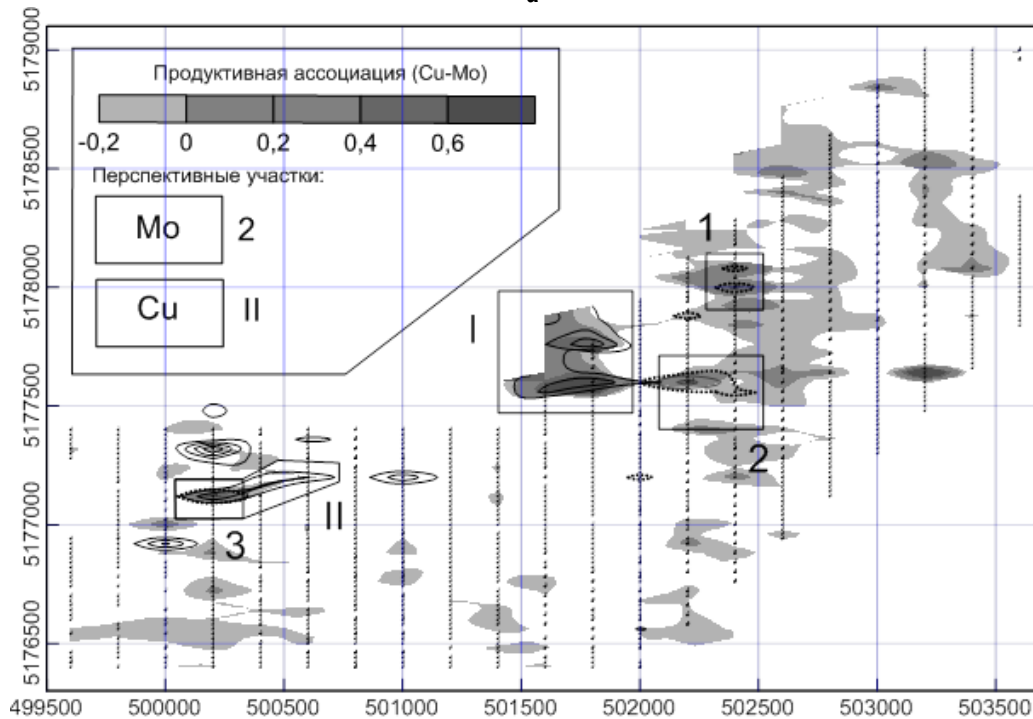
Table 2

Statistical parameters of the sample (concentrations in g/t)

Элемент / Element	Максимальная Концентрация / Max concentration	Фон / Background	Стандартное отклонение / Standard deviation	Минимально аномальное значение / Minimally abnormal value
As	1210	6	5,9	23
Cu	499	18	18	70
Mo	127	3	2,32	9
W	140	10	9,7	39
Pb	454	22	23	93
Zn	1190	62	64	255



а



б

Рис. 2. Первичные ореолы рассеяния

а – карта изоконцентрат Cu и Mo (ореол «обрезан» по минимально-аномальному значению); б – карта полей Cu-Mo ассоциации химических элементов, дополненная картой изоконцентрат с рис. 2, а

Fig. 2. Primary dispersion halos

а – map of Cu and Mo isoconcentrates (the halo is "cut off" according to the minimum anomalous value); б – map of Cu-Mo fields of chemical elements association supplemented with the map of isoconcentrates from Fig. 2, а

При этом отмечается одна интересная особенность, выраженная в пространственном разделении этих аномалий. Контрастные аномалии молибдена тяготеют к восточной части площади, а аномалии меди – к центральной и западной части. Существует только одна комплексная Cu-Mo аномалия, расположенная в западной части площади.

Подобное разделение зон концентрации профилирующих элементов в пределах рудных тел и первичных ореолов Cu-Mo порфировой рудной формации может быть реализовано только в двух случаях:

1) концентрирование Cu и Mo связано с разными геологическими процессами;

2) аномалии находятся на разном уровне эрозионного среза (рудный, подрудный для Mo аномалий, надрудный для Cu аномалий).

Проверить эти предположения можно с помощью карты распространения ореолов продуктивной ассоциации химических элементов, фиксирующей местоположение на площади работ зон обогащенных минералами продуктивной стадии рудоотложения (сульфидов Cu, Mo, Pb и Zn). Эта карта, дополненная изоконцентрациями Cu и Mo, приведена на рис. 2, б.

Мы видим, что часть контрастных аномалий этих элементов пространственно совпадает с контрастными полями продуктивной ассоциации химических элементов. Это позволяет говорить, что высокие концентрации профилирующих элементов отражают пространственное положение зон концентрирования минералов продуктивной стадии рудообразования и соответствуют выходам рудных тел и/или их первичных ореолов на дневную поверхность.

Остальные контрастные аномалии должны быть связаны либо с другими стадиями рудообразования, либо с другим геологическим процессом. В данном

случае мы имеем дело с зонами рассеянной минерализации, образующимися на ранней (грейзенизация) и заключительной (низкотемпературная гидротермальная) стадиях эволюции магматического очага, контролировавшего промышленную минерализацию (поля ассоциаций химических элементов, соответствующие этим стадиям минералообразования на карте, не приводятся).

Количественная оценка выделенных аномалий

Для дальнейшей количественной оценки было выбрано три участка с аномалиями Mo (1, 2, 3) и два – с аномалиями Cu (I, II) наиболее вероятно соответствующих генетически идентичным рудным объектам, находящимся на разных уровнях эрозионного среза.

Участок № 1 расположен в северо-восточной части площади. В его пределах выделяются две небольшие контрастные аномалии Mo со средним содержанием 10 г/т суммарной площадью 6,2 км² (табл. 3). Площадь этой аномалии значительно меньше таковой эталонного месторождения (81 км²), что может как свидетельствовать о невысокой перспективности связанного с ней рудного объекта, так и быть обусловлено слишком большим или слишком маленьким уровнем эрозионного среза.

Проверить это можно с помощью рассчитанной величины показателя зональности (см. табл. 3) и графика его изменения в зависимости от уровня эрозионного среза, совмещенного с метрикой эталонного месторождения (см. рис. 3, а). Величина показателя зональности для данной аномалии откладывается по оси абсцисс, затем опускается перпендикуляр до пересечения линии эволюции показателя зональности. С этой точкой совмещается перпендикуляр от оси ординат, градуированной по величине z, отражающей уровень эрозионного среза.

Для нашей аномалии показатель $z = 0,8$, что соответствует подрудному

Таблица 3

Параметры выделенных аномалий

Table 3

Parameters of identified anomalies

Эрозионный срез / Erosion zone	Эле- мент / Ele- ment	$S,$ m^2	$C_{CP},$ г/т	$P,$ $10^{-4} m^2 \%$	Cu^*Cu/Mo	z	ρ	Раз- мах / Range	$Q,$ т
Аномалия 1 / Anomaly 1									
Подрудный / Sub-ore	Mo	6212	10	48267	15478	0,8	0,3	50	1,8
	Cu		21	27333				50	3,4
Аномалия 2 / Anomaly 2									
Рудный / Ore	Mo	29723	27	721377	151165	0,6	0,8	100	126
	Cu		28	330223					83
Аномалия 3 / Anomaly 3									
Надрудный / Supraore	Mo	12248	10	86593	10811848	<0,15	>3	300	194
	Cu		96	967592					726
Аномалия I / Anomaly I									
Надрудный / Supraore	Mo		3	43289,4	1370380753	<0,1	>5	500	270
	Cu	56220	154	7702140					9628
Аномалия II / Anomaly II									
Надрудный / Supraore	Mo		5	89762	52514818	<0,1	>5	500	561
	Cu	32405	84	2171135					2714

уровню эрозионного среза рудного объекта, аналогичного эталонному. Это свидетельствует о невысокой практической значимости рудного объекта, сопровождающегося рассматриваемыми аномалиями.

Для оценки количества металла в этом рудном объекте могут быть рассчитаны прогнозные ресурсы по категории P_2 . Для этого необходимо перевести $m^2 \%$ в тонны (разделить на 40) и умножить на вертикальную протяженность рудной зоны в метрах (800). Затем полученная цифра должна быть скорректирована в зависимости от уровня эрозионного среза рудного объекта. Подобная корректировка проводится с помощью коэффициента ρ , «снятого» с графика на рис. 3, б, построенного с использованием данных по эталонному месторождению [1].

На графике приведена зависимость z от ρ , что позволяет определить этот

коэффициент, зная уровень эрозионного среза z . Для аномалий участка № 1 $\rho = 0,3$, а скорректированные прогнозные ресурсы – 28 т Мо, что ничтожно мало для промышленных месторождений этого генетического типа.

На основе анализа всей совокупности данных можно заключить, что рудный объект, выделенный в пределах участка № 1, является забалансовым и его дальнейшее изучение нецелесообразно.

Участок № 2 расположен южнее участка № 1 (см. рис. 2, б). В пределах участка выделяется одна крупная аномалия Мо со средним содержанием 27 г/т, площадью около 30 км², что почти в три раза меньше размеров первичного ореола эталонного месторождения.

Для рудного объекта, сопровождающегося аномалией, величина показателя z равна 0,6, что соответствует рудному уровню эрозионного среза,

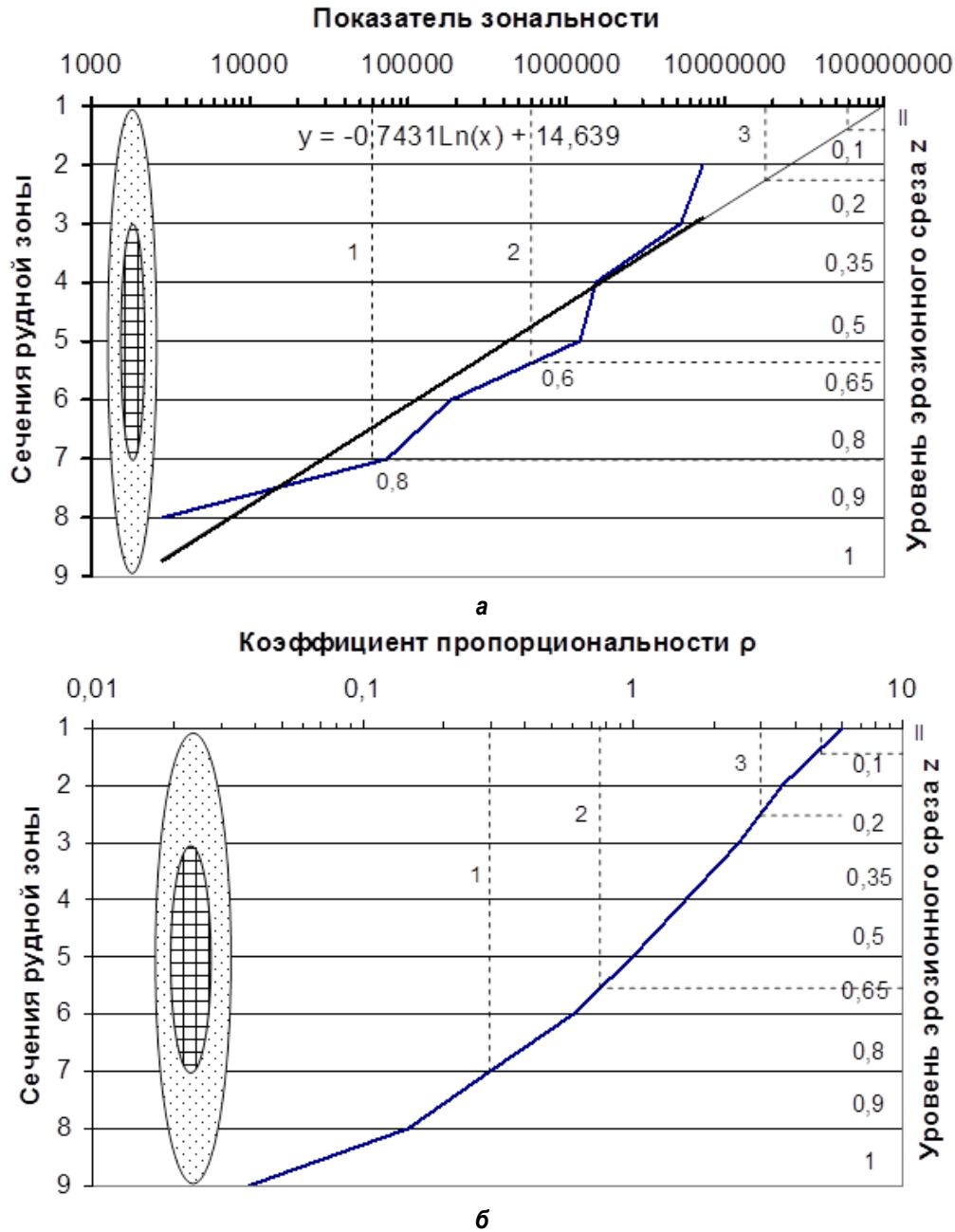


Рис. 3. Параметры первичных ореолов эталонного месторождения:

а – показатель зональности; б – коэффициент ρ .

В правой части обеих диаграмм дана условная метрика эталонного месторождения, изображающая рудное тело (штриховка линиями, пересекающимися под прямым углом) и его первичный ореол (точечный крапп)

Fig. 3. Parameters of reference deposit primary halos:

a – zoning index; b – ρ coefficient.

The right-hand side of both diagrams provides the conventional metrics of the reference deposit representing the ore body (hatching lines intersecting at a right angle) and its primary halo (stipple pattern)

превышающему половину вертикального размаха рудной зоны (см. рис. 3, а). Величина поправочного коэффициента ρ в этом случае равна 0,8 (см. рис. 3, б), а

прогнозные ресурсы по категории P_2 – 1154 т Мо, что соответствует мелкому месторождению в классификации В.И. Красникова [5].

С учетом того, что на рудном уровне эрозионного среза рассчитанная оценка ресурсов наиболее близка к реальной, можно прийти к выводу о том, что рудный объект, сопровождающийся аномалией, имеет ограниченные перспективы и самостоятельного значения не имеет, однако может эксплуатироваться совместно с близлежащими рудными объектами.

Принимая во внимание рудный уровень эрозионного среза, объект можно заверить с помощью поверхностных горных выработок. Изучение его строения на глубину возможно только после выполнения этих работ и дополнительного экономического обоснования.

Участок № 3 расположен в западной части площади работ (см. рис. 2, б). В пределах участка выделяется одна аномалия Мо площадью 12,2 км² со средней концентрацией 10 г/т. Аномалия пространственно ассоциирует с контрастной аномалией Си, что свидетельствует о ее комплексном характере. Размер аномалии в 7,6 раза меньше аналогичной для эталонного месторождения, что может говорить как о меньших размерах контролирующего ее рудного объекта, так и о меньшем или большем уровне эрозионного среза.

Рассчитанная величина показателя зональности выходит за пределы проградуированного графика в связи с чем, величина параметра z может быть определена только приблизительно при использовании линии регрессии, проведенной через концы отрезков градуированной кривой. В данном случае можно говорить, что величина $z < 0,15$, а эрозионный срез соответствует надрудному. Величина коэффициента ρ в этом случае будет больше 3. Расчет прогнозных ресурсов по категории P_2 дал значение более 520 т Мо, что с учетом незначительного уровня эрозионного среза и расчета количественной оценки по минимально возможным параметрам z и ρ свидетель-

ствует о возможной перспективности этого рудного объекта. Выделенный рудный объект является комплексным, и его полная оценка возможна только совместно с аномалией участка № II.

Участок № II расположен в западной части площади работ (см. рис. 2, б). В пределах участка выделяется крупная аномалия Си площадью 37 км², что в 3,35 раза меньше первичного ореола меди эталонного месторождения (142 км²). Контрастная аномалия Си включает в себя рассмотренную выше аномалию Мо, подобное сочетание, скорее всего, свидетельствует о существовании крупного рудного объекта, находящегося на разном уровне эрозионного среза.

Как и в предыдущем случае, величина показателя зональности выходит за пределы проградуированной шкалы (см. рис. 3) и параметры z и ρ могут быть оценены только приблизительно ($z < 0,1$; $\rho > 5$). Уровень эрозионного среза может быть оценен как надрудный. Величина прогнозных ресурсов Мо по категории P_2 , рассчитанная по минимально возможным z и ρ , составила более 898 т, что свидетельствует о возможной перспективности этого рудного объекта.

Для полной оценки рудного объекта, сопровождающегося контрастными аномалиями Си и Мо, данные по участкам № 3 и II должны быть объединены. Эти аномалии соответствуют единому рудному объекту, находящемуся на разном уровне эрозионного среза на западном и восточном флангах, однако в обоих случаях он должен быть оценен как надрудный. Прогнозные ресурсы по обоим участкам превышают 1400 т Мо и могут рассматриваться как минимально возможные.

Принимая во внимание надрудный уровень эрозионного среза, как и в эталонном месторождении, можно оценить перспективность этого рудного объекта, используя пропорциональность фигур подобия (площадь ореолов, линейный

размер рудных тел, объем рудной зоны и т.д.) в месторождениях различного размера, относимых к единому генетическому типу [5].

Для подобной оценки выведены различные зависимости, связывающие размеры геологических тел с величиной запасов полезного компонента. Воспользуемся формулой, указывающей на прямую пропорциональность отношений площадей первичных ореолов и запасов полезного компонента в месторождениях разного размера ($S_1 : S_2 = Q_1^{2,66} : Q_2^{2,66}$).

При известных площадях первичных ореолов ($S_1 = 142$, $S_2 = 37$ км²) и ресурсах металла в эталонном месторождении ($Q_1 = 290000$ т Мо), могут быть оценены прогнозные ресурсы Мо в пределах рудного объекта участков № 1 и II. Данная оценка составила 7,75 тыс. т Мо, что соответствует мелкому месторождению в классификации В.И. Красникова. Предполагаемый рудный объект является перспективным и требует постановки дальнейших работ.

Участок № I находится в центральной части площади работ (см. рис. 2). В его пределах выделена крупная аномалия Си площадью 80 км² со средним содержанием 154 г/т. Размеры аномалии меньше таковой для эталонного месторождения в 1,76 раза, что, скорее всего, свидетельствует о существовании меньшего по размерам рудного объекта.

Рассчитанная величина показателя зональности для этого объекта выходит за пределы проградуированной шкалы (см. рис. 3), и параметры z и ρ могут быть оценены только приблизительно ($z < 0,1$; $\rho > 5$). Уровень эрозионного среза может быть оценен как надрудный, однако значительно меньший, чем для аномалии участка № II.

Рассчитанная величина прогнозных ресурсов P_2 составила 433 т, однако эта оценка должна рассматриваться как минимальная и предварительная ввиду того, что она рассчитана по минимально

возможным z и ρ , а реальные ресурсы металла, скорее всего, значительно выше.

Более точная оценка может быть сделана на основе прямой пропорциональности фигур подобия рудных объектов единого генетического типа, но разных размеров. Используя ранее приведенную формулу, получим величину прогнозных ресурсов в 10 тыс. т Мо, что соответствует мелкому месторождению в классификации В.И. Красникова.

В целом выделенный рудный объект является перспективным и заслуживает дальнейшего изучения, однако следует обратить внимание на невысокую величину эрозионного среза, которая может отражать значительное удаление рудных тел от дневной поверхности.

Предварительные оценки максимальных глубин залегания рудных тел на участках № 3, I, II могут быть сделаны на базе данных о протяженности первичных ореолов по восстанию рудной зоны эталонного месторождения (см. рис. 2 [1]). Максимальный размах ореолов Мо составляет около 800 м, из них протяженность надрудного интервала – более 300 м, а подрудного – около 250 м.

При этом повышенные концентрации Мо начинают появляться на уровне 150 м выше границы рудного тела, что позволяет ограничить глубину его залегания в пределах рудного объекта участков № 3, II этой цифрой. В пределах участка № I глубина залегания рудного тела превышает 150 м. Тем не менее с учетом склонения рудной зоны эталонного месторождения к дневной поверхности под углом 40–50° эти глубины могут быть скорректированы в меньшую сторону на 35–55 м, и мы можем ожидать появления рудных концентраций Мо в пределах участков № 3, II на глубинах 95–115 м, а в пределах участка № 1 – на глубинах более 115 м.

Заклучение

Приведенные в статье материалы показывают, что оценка флангов известных месторождений может быть довольно эффективно выполнена с использованием результатов геохимических съемок по первичным ореолам.

В результате работ были проведены поиски и выделено три перспективных рудных объекта, два из которых

требуют обязательной постановки дальнейших работ, а один – только после оценки экономической целесообразности их проведения.

Все выделенные объекты по величине прогнозных ресурсов могут быть сопоставлены с мелкими месторождениями. Два из них находятся на надрудном уровне, один – на рудном уровне эрозийного среза.

Библиографический список

1. Ефремов С.В., Зорх А.В., Назаров Н. В., Липин М.А. Оценка флангов рудных месторождений с помощью геохимических съемок по первичным и вторичным ореолам. Уровень эрозийного среза и показатель зональности // Известия сибирского отделения секции наук о земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 3 (56). С. 20–28.

2. Соловов А.П., Архипов А.Я., Бугров В.А. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. М.: Недра, 1990. 335 с.

3. Ефремов С.В. Выделение ореолов рудных стадий по результатам геохимических съемок // Известия сибирского отделения секции наук о земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2015. № 2 (51). С. 19–25.

References

1. Efremov S.V., Zorkh A.V., Nazarov N. V., Lipin M.A. *Otsenka flangov rudnykh mestorozhdenii s pomoshch'yu geokhimicheskikh s'emok po pervichnym i vtorichnym oreolam. Uroven' erozionnogo sreza i pokazatel' zonal'nosti* [Ore deposit flanks estimation by geochemical surveys on primary and secondary halo. The level of erosional truncation and the zoning indicator]. *Izvestiya sibirskogo otdeleniya seksii nauk o zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits], 2016, no. 3 (56), pp. 20–28.

2. Solovov A.P., Arkhipov A.Ya., Bugrov V.A. *Spravochnik po geokhimicheskim poiskam poleznykh iskopaemykh* [Guide to geochemical prospecting of mineral resources]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 335 p.

3. Efremov S.V. *Vydelenie oreolov rudnykh stadii po rezul'tatam geokhimicheskikh s'emok* [Identification of ore mineralization stage halos by geochemical survey results]. *Izvestiya sibirskogo otdeleniya seksii nauk o zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural

4. Флеров Б.Л. Оловорудные месторождения Яно-Колымской складчатой области. Новосибирск: Наука, 1976. 247 с.

5. Соловов А.П., Матвеев А.А. Геохимические методы поисков рудных месторождений. Изд. 2-е. М.: Изд-во МГУ, 1985. 232 с.

Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits], 2015, no. 2 (51), pp. 19–25.

4. Flerov B.L. *Olovorudnye mestorozhdeniya Yano-Kolymskoi skladchatoi oblasti* [Tin deposits of the Yano-Kolyma folded area]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1976. 247 p.

5. Solovov A.P., Matveev A.A. *Geokhimicheskie metody poiskov rudnykh mestorozhdenii* [Geochemical prospecting methods of ore deposits]. Moscow, Moskovskii gosudarstvennyi universitet Publ., 1985. 232 p.

*Статья поступила 06.12.2016 г.
The article was received 06.12.2016.*