



УДК 550.8.053

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО НИЖНЕТАЕЖНОМУ РУДНОМУ УЗЛУ (ПРИМОРЬЕ) И ЗОНАЛЬНОСТЬ МНОГОМЕТАЛЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Е. И. Медведев, В. В. Ивин, И. И. Фатьянов

Медведев Евгений Иванович, научный сотрудник лаборатории минерализации благородных металлов, Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, Cage21@mail.ru

Ивин Виталий Викторович, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории минерализации благородных металлов, Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, ivin_vv@mail.ru

Фатьянов Игорь Иванович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории минерализации благородных металлов, Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, Igor.1937@list.ru

В настоящее время эффективное использование результатов геохимических исследований сдерживается отсутствием программно-компьютерного обеспечения. В данной статье была предпринята попытка обработки геохимических данных по многометалльному орудению Нижнетаежного рудного узла (НТРУ) на основе программного комплекса математического моделирования Matlab. Обработке подверглись более 5000 проб бороздowego и сколкового опробования горных выработок, спектральных, спекрозолотометрических, пробирно-активационных, атомно-абсорбционных и химических анализов НТРУ. Компьютерная обработка данных геохимического опробования НТРУ позволила выявить особенности в пространственном размещении минерально-геохимических типов руд узла, а также признаки вертикальной и горизонтальной зональности.

Ключевые слова: серебро, золото, полиметаллы, олово, типизация, зональность.

Geochemical Data on Lower-Taiga Ore Cluster (Primorye) and Zonation of Multimetal Mineralization

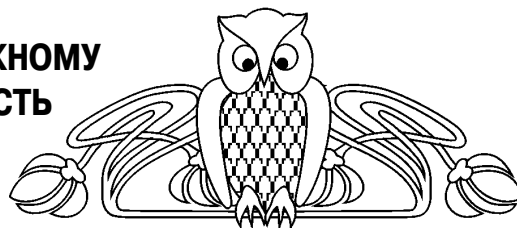
E. I. Medvedev, V. V. Ivin, I. I. Fatyaynov

Evgenii I. Medvedev, <https://orcid.org/0000-0003-1791-2017>, Far East Geological Institute Far East Branch Russian Academy of Sciences, 159, Prospect 100-letya-Vladivostoka, Vladivostok, 690022, Russia, Cage21@mail.ru

Vitaliy V. Ivin, <https://orcid.org/0000-0002-7673-0099>, Far East Geological Institute Far East Branch Russian Academy of Sciences, 159, Prospect 100-letya-Vladivostoka, Vladivostok, 690022, Russia, ivin_vv@mail.ru

Igor I. Fat'ynov, <https://orcid.org/0000-0003-0150-5230>, Far East Geological Institute Far East Branch Russian Academy of Sciences, 159, Prospect 100-letya-Vladivostoka, Vladivostok, 690022, Russia, Igor.1937@list.ru

Currently, the effective use of geochemical research results is hampered by the lack of software and computer support. In this study an



attempt was made to process geochemical data on multimetal mineralization of the Lower-Taiga ore cluster (NTRU) on the basis of Matlab mathematical simulation software. The analysis was carried out on more than 5000 samples taken from channel and chip sampling of mine workings, spectral, spectrographic aurometric, assay-activation, atomic absorption and chemical analyses of NTRU. Computer processing of geochemical sampling data of the NTRU revealed the features in the spatial location of mineral-geochemical types of ore sites, as well as signs of vertical and altitudinal zonation.

Key words: silver, gold, polymetals, tin, typification, zoning.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-4-273-277>

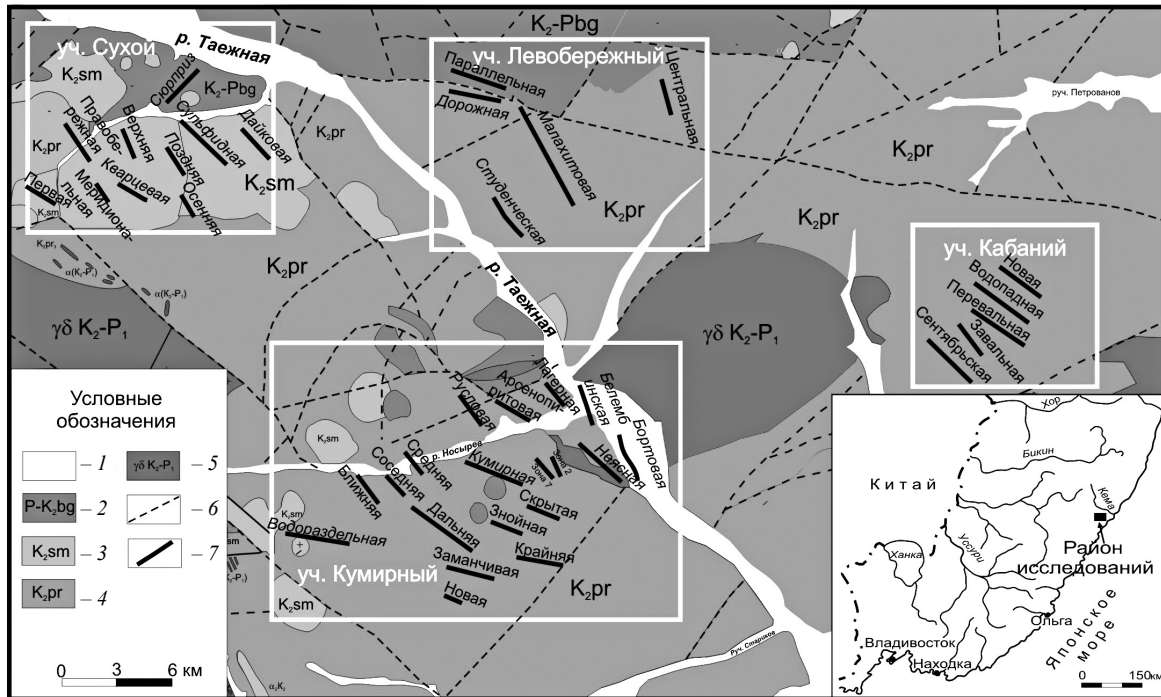
Введение

В современной поисковой геологии потенциальные возможности геохимических методов исследования в области прогнозирования и оценки рудных месторождений очень высоки. По мнению специалистов, из геохимических данных, получаемых при геологических работах, в настоящее время извлекается не более 30 % содержащейся в них полезной информации. Эффективное использование результатов геохимических исследований сдерживается отсутствием программно-компьютерного обеспечения.

Краткая геологическая характеристика района исследований

Геологическое строение НТРУ достаточно хорошо изучено [1, 2]. Его площадь сложена различными по составу вулканогенно-осадочными породами приморской, самаргинской и богопольской толщ. Субвулканические и интрузивные тела являются производными вулканоплутонических комплексов. Наиболее крупные интрузивные тела размещены в очаговых структурах купольного типа. Интрузивы состоят из нескольких фаз внедрения и имеют сложное строение. Они сложены разномерными биотит-роговообманковыми диоритами и гранитами, в краевых частях переходящими в порфиоровые разности. Субвулканические тела обычно представлены крупнопорфировыми риолитами (рисунок).

В рудном узле известно несколько рудных участков: Кумирный, Средний Сухой, Левобережный, Кабаний. В пределах последних двух расположены жильно-прожилковые зоны преимущественно северо-западной, реже субширотной, субмеридиональной и северо-восточной ориентировки, с редкометалльной,



Схематическая карта геологического строения Нижне-таежного рудного узла (по материалам АО «Примгеология»): 1 – аллювиальные отложения; 2 – богопольская толща (P-K₂bg); 3 – самаргинская толща (K₂sm); 4 – приморская толща (K₂pr); 5 – гранитоидные массивы (γδK₂-P₁); 6 – тектонические нарушения; 7 – рудные тела

олово-полиметалльно-серебряной, полиметалльно-серебряной и серебряной минерализацией. Зоны с олово-полиметалльно-серебряным и полиметалльно-серебряным оруденением [3] размещены среди ороговикованных вулканитов нижней пачки приморской толщи (K₂pr₁). Они состоят из серий крутопадающих сложноветвящихся кварц-сульфидных жил, сопровождаемых прожилково-вкрапленной минерализацией. Мощность таких зон достигает 10–20 м, протяженность 1,5 км и более. Убогосульфидные зоны имеют значительно меньшую мощность (до 3–4 м) и преимущественно фиксируются среди вулканитов третьей пачки приморской толщи (K₂pr₃), превращенных в кварц-серицит-гидрослюдистые метасоматиты [2].

Методика исследования

Нами на основе программного комплекса математического моделирования Matlab проведена обработка геохимических данных, позволяющая изучить распределение рудных элементов в пределах НТРУ. Были обработаны результаты бороздowego и сколового опробования горных выработок (канав и расчисток), полученные в процессе поисково-разведочных работ. В Центральной лаборатории Дальневосточного геологического управления обработке подверглись 5000 спектральных, спекрозолотометрических, пробирно-активационных, атомно-абсорбционных и химических анализов. На дифракционном спектрографе (ДФС-13) полуколичественным

спектральным анализом определялось содержание 15 элементов: мышьяка, вольфрама, сурьмы, висмута, марганца, кобальта, никеля, хрома, меди, молибдена, свинца, цинка, серебра, олова и бария. Сжигание производилось в трехфазной дуге переменного тока. При съеме спектра использовались фотопленки ТИП-2 чувствительностью 14–15 единиц. Золото определялось с помощью спектрального анализа с чувствительностью метода 0,002 г/т. При содержании золота выше 0,1 г/т применялся пробирно-активационный анализ. Сущность метода заключается в нейтронно-активационном определении золота из продуктов неполного купелирования. Это позволяет в определенной мере избежать потерь металла, что случается при полной пробирной плавке. Для определения серебра и частично золота применялась атомная абсорбция, свинца, цинка и меди – полярография, вольфрама – атомно-абсорбционный метод, висмута – фотокolorиметрия, кадмия, индия и олова – титрометрические методы. Чувствительность методов определения серебра 0,2 г/т, свинца 0,01%, цинка 0,001%; меди 0,01%; висмута 0,005%, вольфрама 0,05%; олова 0,05%. Атомно-абсорбционному анализу на серебро подвергались пробы, содержащие, по данным спектрального анализа, более 10 г/т серебра.

Результаты и их обсуждение

Компьютерная обработка результатов исследования подтвердила, что геохимические аномалии в пределах НТРУ приурочены к рудным телам



и метасоматическим измененным породам. Их пространственное положение позволило выявить в размещении руд вертикальную и горизонтальную (латеральную) зональность [4–6].

Показательным объектом для изучения вертикальной и горизонтальной зональности в пределах рудного узла является участок **Кумирный** (см. рисунок). Для него характерен значительный вертикальный диапазон вскрытия рудных зон 100–700 м.

Ореолы *сурьмы* на участке Кумирном распространены локально (см. рисунок). Они хорошо выражены тремя сменяющимися друг друга с запада на восток аномалиями. Наиболее высокие содержания (до 0,009%) выявлены на западном фланге. В центральной части они не превышают 0,005%, а на восточном фланге снижаются до 0,003%. Максимальное содержание сурьмы установлено на гипсометрическом уровне 400 м, что обусловлено наибольшим количеством сурьму-содержащих минералов. Основным источником сурьмы, по данным минералогического анализа, являются сульфосоли серебра (полибазит, пираргирит, фрейбергит и др.) [3]. К тому же заметная концентрация сурьмы установлена на высоких гипсометрических отметках в составе арсенопирита.

Серебро – широко распространенный элемент рудного узла, подчеркивающий его благороднометалльную специализацию. На периферии участка Кумирный закартировано несколько ореолов серебра с содержанием от 0,03 до 0,001%. Наиболее выраженный ореол серебра установлен на западном фланге на отметках порядка 400 м. На более низких гипсометрических уровнях его содержание снижается до 0,001%.

Мышьяк на участке Кумирном образует обширные контрастные ореолы. Основным минералом мышьяка в рудах является арсенопирит, реже леллингит, незначительное его количество фиксируется также в пирите, сульфосолях серебра, галените, сфалерите. Ореол мышьяка с максимальным содержанием 0,5% зафиксирован в центральной части участка на отметке 400 м. От этого гипсометрического уровня его концентрация снижается.

Золото на участке сконцентрировано в трех локальных аномалиях. Максимальное содержание металла выявлено в северной его части, где оно доходит до 0,16 г/т. Два других ореола с содержанием металла 0,02 г/т расположены на западном и восточном флангах. По данным минералогического анализа, пробность золота составляет от 780 до 830⁰/₀₀. С глубиной она увеличивается.

Олово на Кумирном установлено в его восточной части на низком гипсометрическом уровне – 200 м. Здесь оно образует два локальных ореола с содержанием металла от 0,05 до 0,30%. Пространственно эти ореолы приурочены к двум рудным зонам: Белембинской и Бортовой. В зонах обнаружен касситерит.

Для *меди* характерны ореолы с содержанием металла от 0,05 до 0,30%. Максимальная концентрация меди (0,3%) установлена в северо-восточной части участка на самом низком (200 м) высотном уровне. Ореол сопровождается рудное тело, состоящее из гнездообразных скоплений халькопирита в кварцевом матриксе. Медь также присутствует в пирите и галените.

Таким образом, на участке Кумирном наиболее высокая концентрация серебра и сурьмы выявлена на его западном фланге, мышьяка и золота – в центре, молибдена, свинца, цинка, меди и олова – на восточном фланге. Анализ распределения этих элементов с учетом гипсометрии современной поверхности показал, что максимальная концентрация серебра и сурьмы фиксируется на уровне 550 м и обнаруживает слабую тенденцию к понижению с глубиной. Наибольшая концентрация золота и мышьяка отмечается на уровне около 400 м. Содержание свинца, галлия, германия существенно возрастает в районе отметок 300 м. Самая высокая концентрация меди, марганца, молибдена, никеля, олова, хрома и цинка зафиксирована в пониженной части рудного участка на уровне 200 м.

Распределение ореолов геохимических элементов на участке **Левобережный** (см. рисунок) прослеживается менее четко, чем на участке Кумирном.

Олово в северо-восточной части участка Левобережный образует единичный ореол, в котором его содержание изменяется от 0,0010 до 0,0014%. Минералом-концентратором олова является касситерит. Максимальное его содержание установлено на самом высоком гипсометрическом уровне – 500 м.

Высокая концентрация *цинка* (до 0,008%) фиксируется в центральной части участка, образуя концентрический ореол, к периферии которого его содержание снижается. В рудных зонах участка характерно присутствие переменных количеств сфалерита и галенита. Отметим, что на участке Левобережном пиковое содержание цинка обнаружено на самых высоких гипсометрических отметках, в то время как на Кумирном оно фиксируется на нижних уровнях.

Золото на участке Левобережном представлено электрумом и образует разные по ширине и интенсивности ореолы. Наблюдается постепенное увеличение содержания этого элемента с юга на север от 0,002 до 0,005 г/т.

Основные ореолы *молибдена* с концентрацией от 0,0004 до 0,0008% занимают значительную площадь северной части участка. Здесь содержание молибдена, как и на Кумирном, увеличивается с уменьшением гипсометрических отметок.

Таким образом, наиболее контрастные ореолы серебра, свинца, цинка расположены в центральной части Левобережного участка, золота и молибдена – на северном его фланге, олова и мышьяка – на северо-восточном. Анализ распре-



деления элементов на разных гипсометрических уровнях показал, что повышенная концентрация серебра, свинца, цинка выявлена на самых высоких гипсометрических отметках участка, близких к 600 м, олова, никеля, золота, мышьяка – в районе 500 м, меди и марганца – 400 м. Наиболее высокое содержание сурьмы, ванадия, молибдена, германия зафиксировано на уровне 300 м.

На участке **Средний Сухой** (см. рисунок) ореолы *олова* расположены в северной его части и протягиваются узкой полосой с запада на восток. Ореол с максимальным содержанием металла до 0,0002% выявлен на северо-восточном фланге. С возрастом гипсометрических отметок содержание олова увеличивается.

Ореолы *цинка* пространственно ассоциируют с ореолами *свинца*. Наиболее контрастный ореол цинка с содержанием металла до 0,12% расположен на восточном фланге участка (см. рисунок). Максимальное содержание цинка установлено на гипсометрических отметках, близких к 300 м.

Для *золота*, представленного электрумом, характерно постепенное увеличение его содержания с запада на восток от отметки 400 м к отметке 200 м. На южном фланге участка узкий ореол золота с содержанием металла от 0,004 до 0,008 г/т пересекает всю его территорию. На восточном фланге золото образует небольшой ореол с максимальным содержанием металла 0,12 г/т.

Сурьма с содержанием до 0,0009% и *серебро* образуют совместные ореолы. Это указывает на то, что здесь присутствуют сульфосоли серебра. Содержание сурьмы при этом увеличивается с понижением гипсометрических отметок.

Таким образом, максимальная концентрация золота, серебра, меди, молибдена, цинка, олова установлена в основном в западной части участка Средний Сухой. Контрастные ореолы свинца и марганца протягиваются узкой полосой в субширотном направлении. Анализ распределения элементов на разных гипсометрических уровнях показывает, что на низких высотных отметках зафиксирована максимальная концентрация мышьяка, никеля, хрома, сурьмы, молибдена, серебра, золота, на уровне 300 м установлена максимальная концентрации марганца, свинца, ванадия, а на отметке 400 м выявлена повышенная концентрация олова, цинка и меди.

На участке **Кабаний** (см. рисунок) обширный ореол *серебра* с содержанием металла до 0,0002% покрывает практически всю его площадь. На северо-западном его фланге наблюдается повышенный ореол серебра с концентрацией 0,0012%. Минералы серебра представлены акантитом и пирагиритом в виде тонких прорастаний в пирите и арсенопирите. Максимальное содержание серебра приурочено к двум гипсометрическим уровням – 200 м и 400 м.

Ореол *золота* с содержаниями металла от 0,002 до 0,012 г/т покрывает практически всю площадь участка. Наиболее контрастный ореол

выявлен в южной части участка на уровне 200 м. В рудных зонах самородное золото (электрум) присутствует в виде тонких выделений в кварцевом матриксе совместно с акантитом, пирагиритом, пиритом, арсенопиритом.

Сурьма с *мышьяком* образуют серию ореолов в северной части площади. Содержание сурьмы здесь достигает 0,0007%. С севера на юг интенсивность ореолов снижается, а размер их увеличивается. Минералами-концентраторами сурьмы на участке являются сульфосоли серебра.

Для ореолов *олова* в целом характерно невысокое содержание металла – 0,0000045–0,000006%. Высокая его концентрация фиксируется в южной части участка. Минералы олова в рудных зонах не обнаружены, но в ключе Кабаньем в шлихах отмечаются редкие зерна касситерита.

Таким образом, к высоким гипсометрическим отметкам (порядка 440 м) приурочена максимальная концентрация мышьяка, сурьмы, никеля, с уменьшением высотных отметок содержание этих элементов уменьшается. На высотах 420–380 м фиксируется высокая концентрация серебра, меди, цинка, свинца, ванадия, а на низких отметках (320–300 м) отмечается повышенное содержание олова, марганца, золота.

Выводы

Компьютерная обработка данных геохимического опробования НТРУ позволила выявить особенности в пространственном размещении минерально-геохимических типов руд и признаки зональности. На детально изученном участке Кумирном при удалении от Малиновского гранитного интрузива олово-полиметалльно-серебряные зоны сменяются полиметалльно-серебряными, а затем серебряными. Установленная здесь латеральная зональность минерализации является отражением вертикальной зональности, поскольку олово-полиметалльно-серебряное оруденение в урезе водотоков с абсолютными отметками 150 м сменяется на склонах местных гор с отметками 300 м на полиметалльно-серебряную и наконец вблизи водоразделов с отметками 650 м – на собственно серебряную. Как видим, выявленная на участке Кумирном в 500-метровом интервале вертикальная минерально-геохимическая зональность фрагментарно прослеживается и на других участках узла. Так, на участке Левобережном в интервале отметок 350–700 м наблюдается смена олово-полиметалльно-серебряной минерализации на полиметалльно-серебряную. На участке Средний Сухой в интервале отметок 200–470 м олово-полиметалльно-серебряное оруденение сменяется на полиметалльно-серебряное, а затем на собственно серебряное. На участке Кабаньем в диапазоне отметок от 50 до 450 м также выявлена смена полиметалльно-серебряной минерализации на собственно серебряную. Сопоставление с другими подобными объектами вулcano-плу-



тонических поясов Тихоокеанского обрамления показывает, что принципиально сходная схема распространения эндогенного оруденения характерна для многих уникальных месторождений мира: Мексики (Гуанохуато), северо-востока и юго-востока России (Дукат, Красногорское, Каменное и др.) [7–9]. Проведенные исследования с использованием компьютерной обработки геохимической информации могут быть применены для решения прогнозно-поисковых задач при проведении геолого-разведочных работ.

Библиографический список

1. Ивин, В. В., Родионов, А. Н., Хомич, В. Г., Симаненко, Л. Ф., Борискина, Н. Г. Геологическое строение и типы эндогенной минерализации Нижнетаежного рудного узла (Приморье) // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25, № 3. С. 81–87.
2. Хомич, В. Г., Ивин, В. В., Борискина, Н. Г. Новые определения возраста (К-Аг метод) интрузивных образований Нижнетаежного рудного узла (Северное Приморье) // Вестник ТГУ. 2010. № 331. С. 214–218.
3. Ивин, В. В., Медведев, Е. И. Минералого-геохимические особенности полиметалло-золото-серебряного Кумирного месторождения (Северное Приморье) // Фундаментальные исследования. 2014. № 8, ч. 5. С. 1100–1106
4. Сазонов, В. Н., Огородников, В. Н., Поленов, Ю. А.

Вертикальная метасоматическая зональность и ее значение для прогнозирования слепого оруденения и оценки перспектив обрабатываемых месторождений на глубину (на примере золоторудных и золотополиметаллических месторождений) // Литосфера. 2008. № 1. С. 77–89.

5. Константинов, М. М., Костин, А. В., Сидоров, А. А. Геология месторождений серебра. Якутск : Изд-во Сахаполиграфиздат, 2003. 282 с.
6. Симаненко, Л. Ф., Раткин, В. В., Турчин, В. А. Минеральные ассоциации олово-полиметаллических порфировых руд палеовулкана г. Красной (Красногорское месторождение, Дальнегорский рудный район) // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34, № 2. С. 44–60.
7. Раткин, В. В., Елисева, О. А., Пандиан, М. С., Орехов, А. А., Моханатра, М., Вишунпрайя, С. К. Этапность и условия формирования продуктивных минеральных ассоциаций дальнегорского Боросиликатного месторождения (Сихотэ-Алинь) // Записки Российского минералогического общества. 2017. Т. 146, № 5. С. 1–19.
8. Филимонова, Л. Г., Трубкин, Н. В., Чугаев, А. В. Минеральные типы зон гидротермальных изменений Дукатского рудного поля и их соотношения с лейкогранитами и эпитегрмальными золото-серебряными рудами (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. 2014. Т. 56, № 3. С. 195–228.
9. Mango, H. Arehart, G., Oreskes, N., Zantop, H. Origin of epithermal Ag-Au-Cu-Pb-Zn mineralization in Guanajuato, Mexico (Article) // Mineralium Deposita. 2014. Vol. 49, iss. 1. P. 119–143.

Образец для цитирования:

Медведев Е. И., Ивин В. В., Фатьянов И. И. Геохимические данные по Нижнетаежному рудному узлу (Приморье) и зональность полиметалльного оруденения // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 4. С. 273–277. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-4-273-277>

Cite this article as:

Medvedev E. I., Ivin V. V., Fatyantov I. I. Geochemical Data on Lower-Taiga Ore Cluster (Primorye) and Zonation of Multimetal Mineralization. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 2018, vol. 18, iss. 4, pp. 273–277 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-4-273-277>