

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.91-98>

УДК (553.536:553.068.41)+549.28(571.62)

## Типоморфные минералы зоны окисления золото-медно-порфириновых руд Малмыжского месторождения (участок Свобода)

*В.Г. Крюков, Н.А. Лаврик\*, Н.М. Литвинова, В.Ф. Степанова*

*Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск, Россия*

Малмыжское золото-медно-порфириновое месторождение, расположенное в центральной части Хабаровского края, имеет достаточно развитую зону окисления. Объект был выявлен при поисково-оценочных работах в 70-х годах, но получил отрицательную оценку в части перспектив на рудное золото. В 2005 году к геологическому изучению Малмыжской площади приступила компания ООО «Амур-Минералс». Геологоразведочные работы продолжаются и в настоящее время. Хорошо изучен минеральный состав первичных руд месторождения. В то время как для зоны окисления отмечены распространённые минералы – лимонит, гётит, значительное число минералов, которые могут играть типоморфную роль при решении генетических и других вопросов, остались вне поля зрения исследователей. Актуальность изучения минерального состава зоны окисления, обусловлена тем, что на её долю и интенсивно окисленные руды приходится до 7 % запасов золота и меди.

Авторами проведено минералого-технологическое исследование состава зоны окисления одного из участков Малмыжского месторождения по малым технологическим пробам. Основная масса проб представлена интенсивно каолинизированными и лимонитизированными диоритовыми порфиритами. В окисленных рудах отмечаются: лимонит, гётит, магнетит, пирит, реже – арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит, и, развитые по сульфидам меди и железа, ковеллин, борнит, азурит и малахит. Минералогическим анализом, в том числе инструментальным, установлены видимые зерна (0,2-0,7 мм) самородного золота, платины, платиноциркониевого интерметаллида, меди, алюминия, цинка; алмазы – типоморфные минералы, имеющие как практическое, так и теоретическое значение. В северо-западной части участка открыта трубка взрыва, выполненная магматогенно-гидротермальными брекчиями.

Таким образом, ассоциация перечисленных минералов своеобразна и позволяет восстановить условия формирования зоны окисления и генезис первичных руд.

**Ключевые слова:** месторождение Малмыж, участок Свобода, порфириновый тип руд, зона окисления, минералогический анализ, золото, платина, алмазы

**Для цитирования:** Крюков В.Г., Лаврик Н.А., Литвинова Н.М., Степанова В.Ф. (2019). Типоморфные минералы зоны окисления золото-медно-порфириновых руд Малмыжского месторождения (участок Свобода). *Георесурсы*, 21(3), с. 91-98. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.91-98>

### Введение

Объектом исследования является зона окисления (до глубины 42 м) участка Свобода золото-медно-порфириново-го месторождения Малмыж. Месторождение расположено в центральной части Хабаровского края, в 12-15 км от федеральной автотрассы; относится к категории уникальных по запасам с относительно умеренными содержаниями меди (Cu – 0,27-0,39 % и Au – 0,12-0,24 г/т) (Читалин и др., 2013; [www.emxroyalty.com](http://www.emxroyalty.com)), рассредоточенными в очень большом объёме. Крупнообъёмные месторождения цветных металлов, включающие порфириновые объекты, являются наиболее привлекательными для горной промышленности (Кривцов и др., 1986; Евстрахин, 1988; Власов, 1990; Пучков, 2010; Читалин, 2013). На данный момент на Малмыжском месторождении наиболее изученным является участок Центральный. В рудах месторождения установлено также наличие других благородных металлов – платины (до 0,18 г/т) и палладия (до 0,20 г/т), серебра до 1 г/т (Иванов и др., 2013).

К группе золото-платиносодержащих комплексных порфириновых месторождений относят медно-порфириновые

и медно-молибден-порфириновые, а также собственно золото-порфириновые рудные объекты. Они выявляются в различных геодинамических обстановках, но более всего они свойственны островодужным и окраинно-континентальным образованиям. Формировались такие рудные объекты при становлении тел базальт-андезитовой вулканической и габбро-диорит-плагиогранитной плутонической формации натриевых серий на участках активного проявления процессов рифтогенеза и тектономагматической активизации отдельных блоков земной коры (Коробейников, Грабежев, 2003).

В Приамурье известны проявления, относимые к порфириновому типу, с достаточно широким спектром ведущих полезных компонентов: золоторудные, золотосульфидные, золото-вольфрамовые, золото-вольфрам-оловянные, золото-медно-молибденовые, медно-молибденовые, медно-молибден-оловянные (Крюков, 2013).

Цель исследований заключается в определении минерального состава зоны окисления участка Свобода месторождения Малмыж для решения технологических и генетических задач.

Достаточно хорошо изучен минеральный состав первичных руд месторождения на участке Центральный (Буханова, 2012; Читалин и др., 2013; Иванов и др., 2013; Буханова, 2016). Для зоны окисления отмечены

\* Ответственный автор: Наталья Анатольевна Лаврик  
E-mail: [lavrik@igd.khv.ru](mailto:lavrik@igd.khv.ru)

© 2019 Коллектив авторов

распространенные минералы – лимонит, гётит. Значительное число минералов, которые могут играть типоморфную роль при решении генетических и других вопросов, остались вне поля зрения исследователей. Поэтому авторами основное внимание уделено составу зоны окисления. В этой связи интерес представляет анализ последовательности геологоразведочных и тематических работ, результатами которых являются данные о минеральном составе Малмыжского месторождения золото-медно-порфировых руд.

### Исследования минерального состава месторождения Малмыж

Объект был выявлен при поисково-оценочных работах в 70-х годах. На площади были закартированы обширные поля вторичных кварцитов и кварц-серицитовых метасоматитов, развитых по терригенным и поздне-меловым интрузивным породам умеренно кислого и среднего состава. Выделено 7 протяженных линейных кварцевых штоков. Рудная минерализация в прожилках представлена пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, магнетитом; содержание золота в прожилках достигало 4,2-5,0 г/т. По результатам поисковых работ, проводившихся без бурения, Малмыжская площадь получила отрицательную оценку на рудное золото; при этом предполагалась возможность выявления на глубине зоны вторичного сульфидного обогащения, связанного с золотомедным оруденением.

Современное изучение оруденения Малмыжской золото-медно-порфировой системы связано с работами российско-американско-канадской компании (Читалин и др., 2013). С 2006 по 2013 годы были оконтурены участки: Центральный, Западный, Плоский, Северный, Штокверк, Шарга, Восточный, Долина, АБВ, Зет, Свобода, Судьба, Равнина. С промышленными параметрами оцененных запасов меди и золота в Малмыжском рудном поле выделено 4 крупных участка (Центральный, Равнина, Долина, Свобода), изученность которых пока соответствует поисковой и частично оценочным стадиям (Шашорин и др., 2018). Исследованиями минерального состава первичных руд, преимущественно участка Центрального, занимались ученые дальневосточных институтов Российской академии наук (Иванов и др., 2013; Буханова, 2016).

По результатам этих работ установлен состав руд. Первичная рудная минерализация представлена гнёздами, вкрапленностью и прожилками магнетита, пирита, халькопирита. В подчинённом количестве отмечаются борнит, сфалерит, пирротин, галенит, очень редко молибденит. Самородное золото присутствует в виде очень мелких выделений в халькопирите, магнетите, пирите. Размер включений золота обычно не более 3-5 мкм. В приповерхностных условиях первичные сульфиды практически полностью окислены и выщелочены с образованием ячеистых структур.

Институтом вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, проведено детальное изучение руд и вмещающих их метасоматитов Центрального участка месторождения. Выделяется 4 стадии формирования рудно-метасоматических образований (Буханова, 2016). Первая, *щелочная стадия* характеризуется окварцеванием, биотитизацией и калишпатизацией пород.

Ей свойственны минеральные ассоциации: биотит-магнетитовая=апатит, кварц-хлорит-пиритовая, кварц-калишпат-халькопиритовая=эпидот, кварц-халькопирит-борнитовая. *Кислотная стадия* отличается хлоритизацией, серицитизацией и окварцеванием пород с формированием кварц-хлорит-халькопиритовых (+сфалерит, галенит, может быть молибденит), кварц-хлоритовых (может присутствовать магнетит или гематит), серицит-кварц-пиритовых сообществ. В *ультракислотную* стадию образовались вторичные кварциты с пиритом и аргиллизиты, в которых наблюдается серицит=халькозин-каолининовая ассоциация с сульфосолями, халькопиритом, теллуридами и селенидами. В *позднещелочную стадию* происходит карбонатизация и цеолитизация пород, содержащих реликтовые или переотложенные сульфиды, не имеющие промышленного интереса.

Детально описаны пирит, халькопирит, борнит, халькозин, галенит, молибденит, блеклые руды, сульфиды и сульфосоли теллура, селена и серебра, золото и электрум. Отмечаются в основном тонкодисперсные формы золота в пиритах и халькопиритах Центрального участка месторождения. Следует подчеркнуть наличие в рудах редкоземельных минералов, представленных монацитом, ксенотимом, апатитом, алланитом (оргитом), хаттонитом, синхизитом, давидитом.

Исследования Дальневосточного геологического института отличаются высокой технологичностью всех процессов. В результате изучения рудной минерализации и метасоматитов золотомедного рудного поля Малмыж (Иванов и др., 2013), исследователями выделяются биотитизированные кварцевые диоритовые порфириды, эпипороды состава актинолит-хлорит-плагиоклаз-кварц – кальцит и полнопроявленные метасоматиты с ассоциациями карбонат-хлорит-эпидот-кварцевой, хлорит-серицит-карбонат-кварцевой, карбонат-серицит-кварц-калишпатовой. В «прожилках» и серицит-калишпатовых метасоматитах локализуется рудная минерализация. Руды относятся к средне- и высокосернистому типу, убого мышьяковистому и теллур-селеновому подтипам. Доминирующими являются пирит и халькопирит, на отдельных участках становится заметной роль борнита и арсенопирита, второстепенную роль играют сульфиды свинца, цинка и серебра. Детально описаны магнетит, пирит, халькопирит, борнит, галенит, арсенопирит, сфалерит. Фиксируется ассоциация гринокита с минералами палладия, тонкодисперсным золотом в магнетит-халькопирит-борнитовой ассоциации. Отмечается «типоморфное» значение теннантита, пираргирита, а также минералов селена и теллура. Необходимо доизучение фаз, в состав которых входят хром, молибден, олово, висмут, а также фазы с фосфором, редкими землями, цирконом, ураном и торием.

Установлено присутствие золота в ультрадисперсной и тонковкрапленной самородной, теллуридной минеральных формах в составе разнообразных ассоциаций минералов, тонкое серебросодержащее и медистое золото в виде фаз Au-Ag-(Cu) и Au-Cu. Исследователями отмечается, что, кроме субмикронных частиц природных золотосодержащих сплавов, обнаруженных под микроскопом, золото следует ожидать в сульфидной и силикатной матрице и «невидимое» в качестве наноразмерных частиц и

кластеров. Самородное золото присутствует в виде очень мелких выделений в халькопирите, магнетите, пирите. Размер включений золота обычно не более 3-5 мкм.

Меднопорфировые и золото-медно-порфировые месторождения помимо основных благородных металлов – золота и серебра – могут содержать минералы платиновой группы, преимущественно платину и палладий, и очень редко другие платиноиды. Хотя их содержания в известных порфировых месторождениях обычно невелики (Tarkian et al., 1991; Коробейников, Грабежев, 2003; He Xiaohu et al., 2014; John, Taylor, 2016).

В конце 2017 г. Институт горного дела Дальневосточного отделения (ИГД ДВО РАН) совместно с Дальневосточным геологическим Институтом ДВО РАН и ОАО «Амур-Минералс» приступили к работе по проекту Программы Президиума РАН, связанной с изучением медно-порфировых руд Малмыжского месторождения.

### Методы исследований ИГД ДВО РАН

Лабораторные исследования минералого-технологических свойств выполнялись на керновом материале окисленной руды из скважины АММ-052 участка Свобода Малмыжского месторождения. Проба составлена из керна, отобранного в интервале 30,0-42,0 м (вес пробы 13,6 кг). Керновый материал подвергался дроблению до 1 мм, выделялись навески для аналитических исследований, и проба далее, без применения магнитной сепарации, подвергалась гравитационному обогащению. После проведения обогащения получены шлихи общим весом 16,16 г. Концентраты сепарированы лабораторным магнитом Сочнева на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции. Далее проводился сокращенный минералогический анализ на благородные металлы с определением весового содержания визуально определяемых зёрен ценного компонента. Детальное исследование зёрен, выделенных минералогическим анализом, выполнялось на сканирующем электронном микроскопе.

Пробоподготовка осуществлялась с использованием современного оборудования Fritsch (щечковая дробилка Пульверизетте 1, дисковая мельница Пульверизетте 13, ультразвуковая ванна для чистки сит Лаборетте 17, вибрационный грохот Анализетте 3).

Визуальное определение состава шлиха выполнялось с использованием стереомикроскопа Stemi 2000C (Германия, Carl Zeiss). Электронно-микроскопическое исследование их состава проводилось на растровом электронном микроскопе «JEOL» (Япония), оснащённом энергодисперсионным анализатором «JCM-6000 PLUS». Ускоряющее напряжение – 15 kV, зондирующий ток – 7,475 nA, увеличение – от 20 до 2000.

### Результаты исследований

По данным «Амур-Минералс» характеризуемое рудное тело участка Свобода представляет собой интенсивно лимонитизированные и глинизированные диоритовые порфириды. Руды – окисленные, дезинтегрированные до супеси и суглинка обохренные диорит-порфириды. Наиболее характерные рудные минералы – лимонит (язозит, гётит, гематит), тенорит (?), магнетит. Расчетное содержание меди в пробе (средневзвешенное по массе) – 0,09 %, золота – 0,52 г/т.

Исследование авторами подготовленных шлиховых проб позволило выявить их основной состав:

- Магнитная фракция исследуемого материала представлена в основном магнетитом с налётом охристого лимонита.

- В электромагнитной фракции преобладает лимонит (в том числе охристый), гётит, ярозит, гематит, амфиболы, присутствует пиролюзит. Землистые разности лимонита и ярозита трудно различимы на глаз, лишь в одном из зёрен лимонита на поверхности скола отмечена сноповидная друза ярозита.

- Немагнитная фракция наиболее разнообразна по минеральному составу. Преобладает пирит в виде кубических кристаллов и пузыристых образований, а также в сростках с халькопиритом, с развитыми по нему включениями ковеллина, борнита. Ковеллин в землистых разностях иссиня-чёрного и индигового цвета. Отмечаются дигенит, халькозин, куприт и тенорит, молибденит. В некоторых случаях – корочки и единичные зёрна сплава (?) Fe-Mo-W. Часто эти минералы представляют сложный тонкосросшийся пузыристый или почковидный агрегат с развитием землистых корочек, реже – полиминеральные микродрозы (до 250 мкм). В составе халькопирита и ковеллина в некоторых случаях отмечалась примесь серебра до 6-7 %, в пирите – примесь Со до 2 %. В незначительных количествах присутствуют сфалерит, галенит, арсенопирит. Короткостолбчатые кристаллы арсенопирита характеризуются присутствием постоянной примеси магния, отмечены также вросстки рутила (до 5 мкм). Незначительно в пробе присутствует барит в сростании с кварцем. Азурит и малахит образуют выцветы на медных минералах. Обнаружено 4 зерна самородной меди (размером от 0,1 до 0,5 мм), три из которых непривычного золотисто-жёлтого цвета и одно бледно-жёлтого цвета с матовой почковидной поверхностью. Из аксессуаров встречается циркон в виде прозрачных, практически бесцветных, короткопризматических (2:1) кристалликов величиной до 0,2 мм.

Выделено 7 знаков *золота*: одно зерно – 0,7×0,2 мм, остальные в пределах 0,2×0,1 мм, весом около 0,2 мг. Зёрна пластинчатые, с неровной шероховатой поверхностью, крючковатыми краями, светло-жёлтого цвета. При электронно-микроскопическом исследовании все выделенные зёрна золота обнаруживают чуть сглаженную причудливую удлинённую форму, нередко ажурную (рис. 1). Величина исследованных зёрен от 170 до 700 микрометров. Золото имеет сложную структуру: состоит из отдельных кристалликов кубического и призматического облика, пластинчатых пакетов и неправильных зёрен, величина которых варьирует от 2-5 мкм до 20-70 мкм (рис. 1). Состав золота достаточно стабилен – с содержанием серебра до 17-26 % по массе – электрум. В двух случаях в общей массе электрума отмечалось присутствие удлинённых кристалликов аргентита Ag<sub>2</sub>S (20-50 мкм), в единичных случаях – присутствие свинца до 6 % и галенита. Углубления между зёрнами выполнены железистыми алюмосиликатами (по составу близкими к гранату альмандину) и натриевыми (по составу близкими к альбиту), глинистыми минералами, в некоторых случаях пироксенами, амфиболами, слюдой. Единично в зёрнах золота отмечены включения искажённых пятиугольных

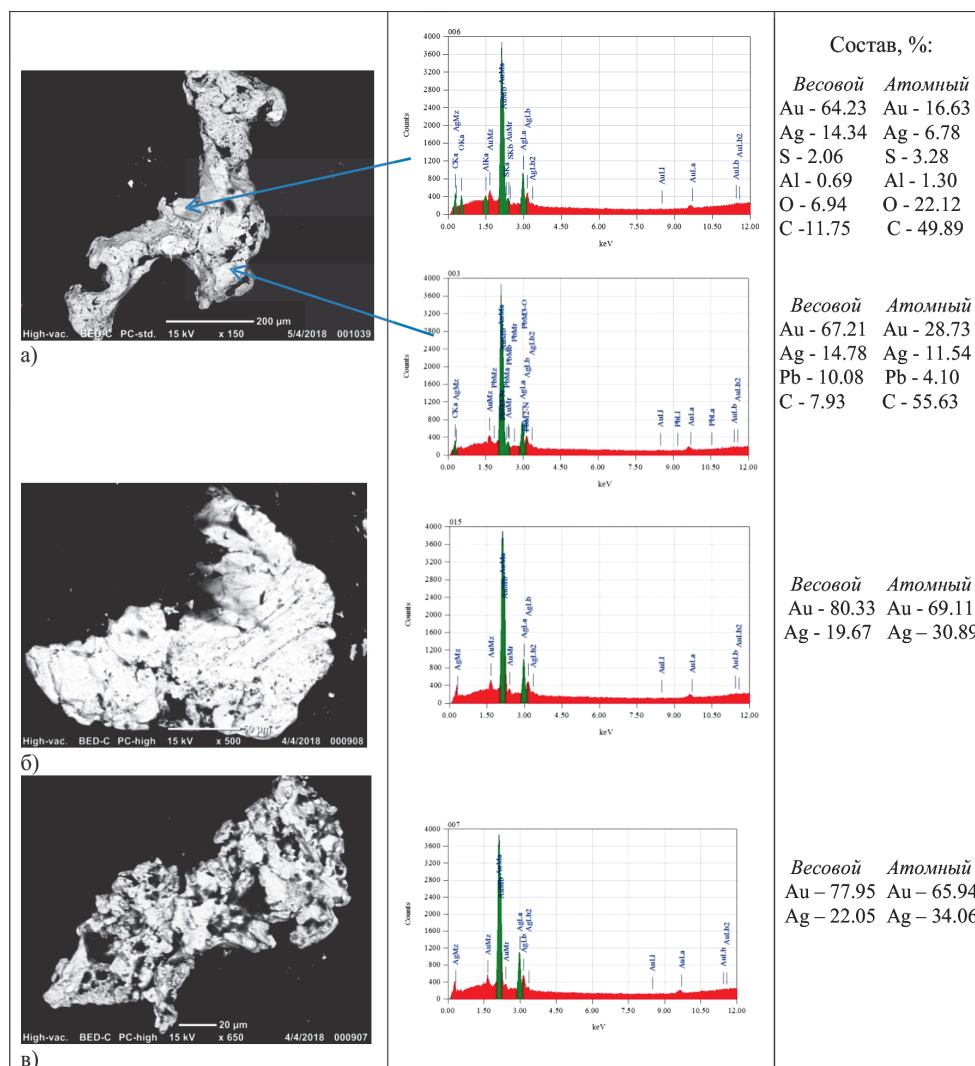


Рис. 1. Зёрна золота (электрум) размерностью до 200 мкм сложной формы и структуры из окисленных руд участка Свобода золото-меднопорфирового месторождения Малмыж: а) электрум с примесью Pb; б) пластинчатое зерно; в) ажурное зерно.

или шестиугольных пластинок графита (25 мкм) с большой долей примеси азота, с наростами кубиков сильвина и галита (0,5 мкм).

Два зерна (0,06 мг) платины чуть удлинённой уплощённой формы, похожие на сглаженные кристаллы (рис. 2, а), размером 0,2×0,15 мм, светло-серого цвета, с матовой ямковатой поверхностью. Однако структура их сложная – образована срастанием мелких зёрен, кристаллов и пластинок. Поверхность неровная: в зазубринах и углублениях, содержащих нерудные минералы. Примесь железа в составе платины – до 5 %. В одном случае в гнезде величиной до 10 мкм были отмечены близкие к кубическим зёрна пирротина (до 1 мкм) и сросток (5 мкм) призматических (2:1) с заострёнными вершинками кристаллов бадделеита ZrO<sub>2</sub> величиной 2-3 мкм. Единично отмечают вросшие пластинки графита величиной до 20 мкм.

Одно зерно (0,1 мм), похожее на платину, но светлого, белого цвета с металлическим блеском. Электронно-микроскопический анализ его показал платиноциркониевый состав, который несколько варьирует в зерне железо-платиноциркониевого интерметаллида, но в целом его можно определить как FePt<sub>2,5</sub>Zr<sub>6,5</sub> (рис. 2, б). Облик кристалла кубического габитуса – искажённый уплощённый кубооктаэдр. Все грани сглажены. Структура

кристалла мозаичная, образованная сросшимися зёрнами или кристалликами величиной до 10 мкм. Поверхность неровная ямчатая, бороздчатая.

При первичном изучении шлиховой фракции было выявлено 10 прозрачных кристаллов с зеленовато-желтоватым цветом, как у эпидота, размером 0,2-0,4 мм. Кристаллы без видимых включений, с алмазным блеском – 6 кубооктаэдров, 2 удлинённых оббитых кристалла и 2 осколка (энергодисперсионный спектр показал – углерод, т.е. алмазы). Общий вес кристаллов 0,67 мг. Поверхность кристаллов алмазов может быть достаточно ровной и гладкой у изометричных кристаллов или неровной, содержащей углубления от вростков других минералов (рис. 3 а, б). Сколы раковистые. Грани кристаллов чёткие чистые или несколько сбитые. Некоторые кристаллы содержат неопределённые гнездообразные включения (или нарушения). На энергодисперсионном спектре заметно, что есть какие-то ещё включения, однако их содержания слишком малы. И только один уплощённый кубооктаэдрический кристалл, величиной до 200 мкм, покрыт корочкой сложного состава с Ba, Mo, Fe, K, Cl, Si, Al, Na, Zr.

Одно зерно алмаза, близкое к октаэдрической форме, величиной до 25 мкм, было обнаружено в тонком агрегате

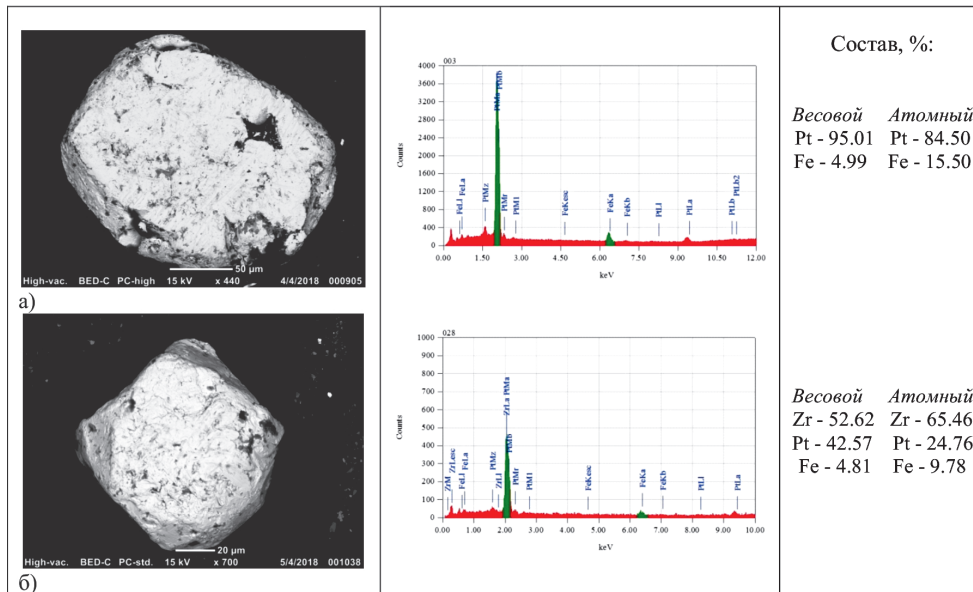


Рис. 2. Минералы платины из окисленных руд участка Свобода (Малмыжское месторождение): а) сглаженный уплотнённый кристалл платины с примесью железа; б) кристалл железо-платиноциркониевого интерметаллида.

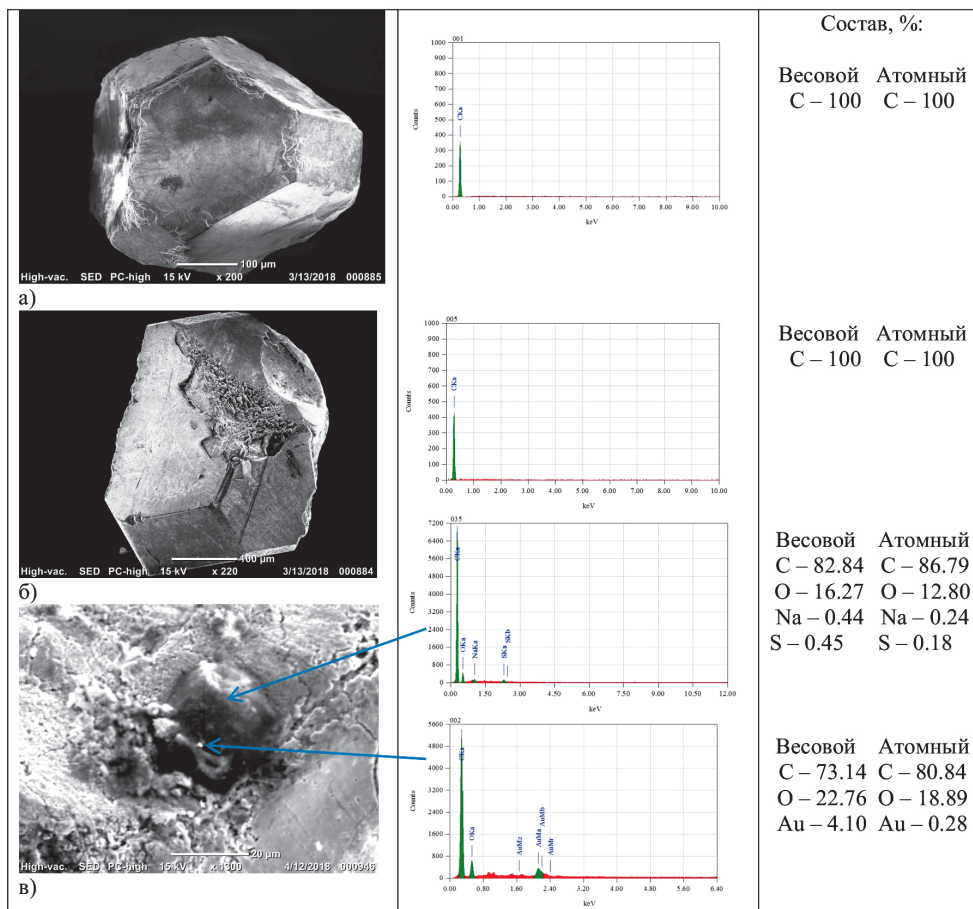


Рис. 3. Кристаллы алмазов из окисленных руд Малмыжского месторождения, участок Свобода: а) изометричный кристалл до 0,4 мм; б) удлинённый уплотнённый кристалл с отпечатками от вростков других минералов; в) октаэдрический кристалл (20 мкм) с корочкой тенардита.

(600 мкм) сульфидов на электронном микроскопе. Среди агрегатных составляющих минералов определены дигенит  $Cu_9S_5$ , пирротин, борнит, ковеллин, пирит, молибденит в виде корочек на медных минералах. Присутствуют глинистые минералы. Поверхность кристаллика алмаза неровная – на ней тончайший налёт тенардита  $Na_2SO_4$

(?) и одно овальное зерно золота величиной до 2 мкм. В алмазе отмечается также примесь N, Al (рис. 3, в).

Металлоидное зерно (0,15×0,25 мм) серовато-голубоватого цвета, мягкое, ковкое, идентифицировано на сканирующем электронном микроскопе как *самородный алюминий*. Отдельные фрагменты зерна представляют

собой таблички (15-20 мкм) тетрагонального облика с усечёнными вершинками. Зерно алюминия неоднородно по составу: на отдельных участках отмечается примесь кремния, образующего силицид типа  $Al_6Si$ ; рассеянная вкрапленность (1-2 мкм) самородного вольфрама, единично с примесью Se. Углубления заполнены глинистыми минералами.

*Цинк самородный* – неправильной формы пластинчатое зерно. Величина зерна  $300 \times 250$  мкм. Поверхность зерна неровная ямчатая. На поверхности цинка отмечается землистый налет цинкита  $ZnO$ , в углублениях – альбит.

*Медь самородная* – изометричные и удлинённые почковидные зёрна величиной до 400 мкм, состоящие из отдельных кубических, плотно сросшихся кристалликов. В некоторых случаях медь покрыта земистой корочкой куприта  $Cu_2O$  и тенорита  $CuO$ . В углублениях отмечается кварц, глинистые минералы с примесями Mg, Ca, Na, K.

### Обсуждение результатов

Результаты предшествующих работ по минеральному составу руд золото-медно-порфиорового месторождения Малмыж свидетельствуют о весьма неравномерном распределении в пространстве различных ассоциаций. Этим объясняется некоторое расхождение в результатах исследований первичных руд Дальневосточного геологического Института и Института вулканологии и сейсмологии, особенно в части состава рудовмещающих метасоматитов. Зона окисления месторождения, в отличие от первичного оруденения, характеризуется достаточно выдержанной по составу минерализацией по латерали с вариациями изменения минеральных сообществ по вертикали. Поэтому частные пробы по зоне окисления с большей вероятностью могут отражать усреднённую ситуацию с набором вторичных минералов.

Минералогическими исследованиями в Институте горного дела ДВО РАН небольших по объёму проб зоны окисления Малмыжского золото-медно-порфиорового месторождения были установлены, прежде всего, свободные зёрна золота с примесью серебра, платины (палладий не был обнаружен), интерметаллид платино-циркониевого состава и алмазы. Ассоциация достаточно специфичная, несмотря на возможное «заражение» синтетическими алмазами, выкрошившимися из буровых коронок, как это представляется для различных комплексов юга Дальнего Востока (Пахомова и др. 2015). Следует подчеркнуть, что ассоциация золото-платина-алмазы с цирконом известна в россыпях на Урале (Годовиков, 1983). По последним геологическим данным EMX Royalty Corporation ([www.emxroyalty.com](http://www.emxroyalty.com)) в северо-западной части участка Свобода Малмыжского золото-медно-порфиорового месторождения открыта трубка взрыва диаметром около 800 м, которая совпадает с круговой магнитной аномалией, выделенной по результатам последних магнитных исследований Земли. Трубка сложена преимущественно магматогенно-гидротермальными брекчиями и прослеживается на глубину 650-850 м. Компанией разработана специальная программа глубокого бурения для исследования брекчий взрыва и определения их рудного потенциала.

Авторы постарались отметить все особенности обнаруженных алмазов. В частности, интерес может иметь факт наличия мелких кристаллов алмазов (до 20 мкм) и

алмаза размерностью 200 мкм, покрытых корочкой сложного состава. Наша цель – предоставить специалистам дополнительную информацию к собственным исследованиям. Проблема с алмазами на месторождении Малмыж требует дальнейшего изучения.

Размерность и состав благородных металлов (золото, платина, серебро) зоны окисления отличаются от аналогичных характеристик первичных руд. Их зерна имеют более крупные размеры – до 0,4-0,7 мм, и более простой состав элементов-примесей. Облагораживание и укрупнение кристаллов является характерной особенностью гипергенных процессов. Соответственно эти свойства необходимо учитывать при изучении технологии руд из зоны окисления.

Минеральный состав зоны окисления участка Свобода на месторождении зависит от состава исходной руды и в определенной мере наследует отдельные минералы первичных руд. В числе таких минералов следует отметить гранат, альбит, циркон, бадделит, графит, а также реликты первичных сульфидов и сульфосолей с повышенными содержаниями магния, никеля и других металлов и металлоидов. Комплекс, включая самородные элементы, своим происхождением обязан глубинным источникам в связи с функционированием крупных разломов.

### Выводы

Золото-медно-порфиоровое месторождение Малмыж относится к категории уникальных по запасам объектов. Для него характерна довольно мощная зона окисления, прослеживающаяся на глубину в первые десятки метров. Существенный её объём предопределяет необходимость изучения минерального состава для решения технологических и генетических вопросов.

Результаты исследований, проведенных в ИГД ДВО РАН, показывают, что в рудах зоны окисления Малмыжского золото-медно-порфиорового месторождения (участок Свобода) присутствуют свободные зёрна золота и платины крупностью до 0,2-0,7 мм. Отмечаются самородные формы и некоторых других элементов (интерметаллид платино-циркониевого состава, алюминий, цинк, медь). Кроме того, выявлено 10 кристаллов и обломков алмазов (размером от 20 мкм до 0,4 мм), происхождение которых неоднозначно и требует дальнейших исследований как в окисленных, так и в первичных рудах данного объекта.

Определенный интерес представляет «сопровождение» самородных металлов. В кристаллах золота и платины устанавливаются гранат, альбит, бадделит, графит, пироксены и амфиболы. Более полный состав сопутствующих силикатов, фосфатов и других минералов в первичных рудах месторождения Малмыж отмечен в работах предыдущих исследователей. Такая ассоциация представляет часть минерального комплекса углеродистых метасоматитов, свойственных как собственно благороднометалльным, так и комплексным, с золотом и платиной, месторождениям Дальнего Востока.

Специфика минерального состава зоны окисления, заключающаяся в ассоциации самородных металлов, полуметаллов и неметаллов, сульфидов, сульфосолей, галогенидов, окислов и гидроокислов, силикатов, фосфатов, карбонатов, отражает сложные условия гипергенеза

на площади, их длительность и эволюционную завершенность. На месторождении отсутствует классическая зональность зоны окисления, свойственная аридным обстановкам. Тем не менее, фиксируются элементы подзона полного выщелачивания и сульфидного обогащения.

### Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта по программе Президиума РАН № 18-2-015 и по Договору № 115/2018Д от 28.06.2018 г. между Министерством образования и науки Хабаровского края «Разработка технологии безцианидного выщелачивания сложноизвлекаемых форм золота из низкосортных медно-порфировых руд».

### Литература

- Буханова Д.С. (2016). Минералогические особенности руд золото-меднопорфирового месторождения Малмыжское, Нижнее Приамурье. *Геологические процессы в обстановке субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: Материалы III Всерос. конф.* Владивосток, с. 281-284.
- Буханова Д.С. (2012). Типоморфные характеристики меднопорфирового оруденения. *Исследования в области наук о Земле: Материалы X регион. молодёж. науч. конф.* Петропавловск-Камчатский, с. 5-18.
- Власов Г.М. (1990). Эволюция вулканических поясов и порфировой рудной системы. Принципы прогнозирования эндогенного оруденения в вулканических поясах СССР. Москва: Недра, с. 31-40.
- Годовиков А.А. (1983). Минералогия. Москва: Недра, 647 с.
- Евстрахин В.А. (1988). Порфировые месторождения – генетический и промышленный тип. *Советская геология*, 3, с. 9-18.
- Иванов В.В., Кононов В.В., Игнатъев Е.К. (2013). Минералогическо-геохимические особенности рудной минерализации в метасоматитах золотомедного рудного поля Малмыж (нижнее Приамурье). *Тектоника, глубинное строение и минерогения Востока Азии: VIII Косыгинские чтения: Мат. Всероссийской конф.* Владивосток: Дальнаука, с. 258-261.
- Коробейников А.Ф., Грабежев А.И. (2003). Золото и платиновые металлы в медно-молибден-порфировых месторождениях. *Известия Томского политехнического университета*, 306(5), с. 24-32.
- Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Попов В.С. (1986). Медно-порфировые месторождения мира. Москва: Недра, 303 с.
- Крюков В.Г. (2013). Модели порфировых объектов Приамурья. *Тектоника, глубинное строение и минерогения Востока Азии: VIII Косыгинские чтения: Материалы Всероссийской конференции.* Владивосток: Дальнаука, с. 272-275.
- Пахомова В.А., Федосеев Д.Г., Тишкина В.Б., Буравлева С.Ю. (2015). Новый «генетический тип» алмазных месторождений Приморья: техногенные алмазы из шлама буровых скважин. *Материалы VII научной*

конференции «Геммология». Томск, с. 113-122.

Пучков Е.В. (2010). Модель формирования порфировых месторождений. *Отечественная геология*, 2, с. 53-57.

Читалин А.Ф., Ефимов А.А., Воскресенский К.И., Игнатъев Е.К., Колесников А.Г. (2013). Малмыж – новая крупная золото-меднопорфировая система мирового класса на Сихотэ-Алине. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*, 3, с. 65-69.

Шашорин Б.Н., Макаров Ф.И., Руднев В.В., Выдрич Д.Е. (2018). Геолого-геофизическая модель Малмыжской рудно-магматической системы и возможности ее использования в прогнозировании (Северный Сихотэ-Алинь). *Разведка и охрана недр*, 2, с. 9-16.

He Xiaohu, Zhong Hong, Zhu Weiguang. (2014). Enrichment of Platinum-group Elements (PGE) and Re-Os Isotopic Tracing for Porphyry Copper (Gold) Deposits. *Acta geologica sinica-english edition*, 88(4), pp. 1288-1309. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.12289>

John D.A., Taylor R.D. (2016). By-Products of Porphyry Copper and Molybdenum Deposits. *Rare earth and critical elements in ore deposits: Reviews in Economic Geology*, 18, pp. 137-164.

Tarkian M., Eliopoulos D., Economouliopoulos M. (1991). Mineralogy of precious metals in the skouries porphyry copper-deposit, northern Greece. *Neues Jahrbuch fur mineralogie-monatshefte*, 12, pp. 529-537.

### Сведения об авторах

Виктор Глебович Крюков – канд. геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник, Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН

Россия, 680000, Хабаровск, Тургенева, д. 51

Наталья Анатольевна Лаврик – старший научный сотрудник, Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН

Россия, 680000, Хабаровск, Тургенева, д. 51

E-mail: lavrik@igd.khv.ru;

Наталья Михайловна Литвинова – канд. тех. наук, ведущий научный сотрудник, Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН

Россия, 680000, Хабаровск, Тургенева, д. 51

Валентина Федоровна Степанова – инженер-минералог, Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН

Россия, 680000, Хабаровск, Тургенева, д. 51

Статья поступила в редакцию 30.10.2018;

Принята к публикации 28.01.2019;

Опубликована 01.09.2019

IN ENGLISH

## Typomorphic minerals oxidation zone of gold-copper porphyry ore of the Malmyzh deposit (Svoboda)

V.G. Kryukov, N.A. Lavrik\*, N.M. Litvinova, V.F. Stepanova

Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation

\*Corresponding author: Natalya A. Lavrik, e-mail: lavrik@igd.khv.ru

**Abstract.** The Malmyzh gold-copper porphyry deposit located in the central part of the Khabarovsk region has a rather developed oxidation zone. The object was identified during the exploration and evaluation work in the 70s, but received a negative assessment in terms of prospects for ore gold. LLC “Amur-Minerals” began to geological study of Malmyzh zone in 2005. Exploration work continues at the present time. The mineral composition of primary ore deposits is well studied. While the common minerals like a limonite and goethite are marked for the oxidation zone the most of minerals that may

have a typomorphic meaning in solving genetic and other issues are beyond the purview of researchers. The study relevance of the mineral composition of the oxidation zone are due to the fact that its share and intensively oxidized ores account for up to 7% of gold and copper.

The authors carried out a mineralogical and technological composition research of the oxidation zone of one of the sites of the Malmyzh deposit using small technological samples. The main part of samples is kaolinized and limonitized diorite porphyrites. In the oxidized ores, there are: limonite, goethite,

magnetite, pyrite, less often – arsenopyrite, galena, sphalerite, chalcopyrite, and developed on copper and iron sulfides, covellite, bornite, azurite and malachite. Visible grains (0,2-0,7 mm) were established using mineralogical analysis including instrumental. They are: native gold, platinum, platinum zirconium intermetallic, copper, aluminum, zinc; diamonds are typomorphic minerals of both practical and theoretical importance. Blast tube consisting magmatic-hydrothermal breccias was opened in the northwestern part of site.

Thus, the association of the listed minerals is unique and allows to restore the conditions of formation of the oxidation zone and the genesis of primary ores.

**Keywords:** Malmyzh deposit, Svoboda site, porphyry ore, oxidation zone, mineralogical analysis, gold, platinum, diamonds.

### Funding

The study was financially supported by the program of the Presidium of the Russian Academy of Sciences, project No. 18-2-015 and under Agreement No. 115/2018D dated 28 June 2018 between the Ministry of Education and Science of the Khabarovsk Territory «Development of technology for cyanide-free leaching of difficult to extract forms of gold from low-grade porphyry copper ores».

**Recommended citation:** Kryukov V.G., Lavrik N.A., Litvinova N.M., Stepanova V.F. (2019). Typomorphic minerals oxidation zone of gold-copper porphyry ore of the Malmyzh deposit (Svoboda). *Georesursy = Georesources*, 21(3), pp. 91-98. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.91-98>

### References

- Bukhanova D.S. (2012). Typomorphic characteristics of copper porphyry mineralization. *Issledovaniya v oblasti nauk o Zemle: Materialy X region. molodezh. nauch. konf.* [Proc. X Region. Sci. Conf.: Studies of the Earth] Petropavlovsk-Kamchatskiy, pp. 5-18. (In Russ.)
- Bukhanova D.S. (2016). Mineralogical features of ores from the gold-copper-porphyry Malmyzh deposit, Lower Amur Region. *Geologicheskoye protsessy v obstanovke subduksii, kollizii i skolzheniya litosfernykh plit: Materialy III Vseros. konf.* [Proc. III Allruss. Conf.: Geological processes in the environment of subduction, collision and sliding of lithospheric plates]. Vladivostok, pp. 281-284. (In Russ.)
- Chitalin A.F., Efimov A.A., Voskresenskiy K.I., Ignatiev E.K., Kolesnikov A.G. (2013). Malmyzh – a new world-class large gold-copper-porphyry system in Sikhote-Alin. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye = Mineral resources of Russia. Economics and management*, 3, pp. 65-69. (In Russ.)
- Evstrakhin V.A. (1988). Porphyry deposits – genetic and industrial type. *Sovetskaya geologiya*, 3, pp. 9-18. (In Russ.)
- Godovikov A.A. (1983). Mineralogiya [Mineralogy]. Moscow: Nedra, 647 p. (In Russ.)
- He Xiaohu, Zhong Hong, Zhu Weiguang. Enrichment of Platinum-group Elements (PGE) and Re-Os Isotopic Tracing for Porphyry Copper (Gold) Deposits. *Acta geologica sinica-english edition*, 2014, 88(4), pp. 1288-1309. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.12289>
- Ivanov V.V., Kononov V.V., Ignatiev E.K. (2013). Mineralogical and geochemical features of the ore mineralization in the metasomatites of the

gold-copper ore field Malmyzh (Lower Amur region). *Tektonika, glubinnoye stroyeniye i minerageniya Vostoka Azii. VIII Kosynginskiye chteniya: Materialy Vserossiyskoy konferentsii* [Proc. Allruss. Conf.: Tectonics, deep structure and minerageny of the East Asia]. Vladivostok: Dalnauka, pp. 258-261. (In Russ.)

John D.A., Taylor R.D. (2016). By-Products of Porphyry Copper and Molybdenum Deposits. *Rare earth and critical elements in ore deposits: Reviews in Economic Geology*, 18, pp. 137-164.

Korobeynikov A.F., Grabezhev A.I. (2003). Gold and platinum metals in porphyry-copper-molybdenum deposits. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 306(5), pp. 24-32. (In Russ.)

Krivtsov A.I., Migachev I.F., Popov V.S. (1986). Medno-porfirovyye mestorozhdeniya mira [Porphyry Copper deposits of the world]. Moscow: Nedra, 303 p. (In Russ.)

Kryukov V.G. (2013). Models of porphyritic objects of the Amur region. *Tektonika, glubinnoye stroyeniye i minerageniya Vostoka Azii. VIII Kosynginskiye chteniya: Materialy Vserossiyskoy konferentsii* [Proc. Allruss. Conf.: Tectonics, deep structure and minerageny of the East Asia]. Vladivostok: Dalnauka, pp. 272-275. (In Russ.)

Pakhomova V.A., Fedoseev D.G., Tishkina V.B., Buravleva S.Yu. (2015). New “genetic type” of Primorye diamond deposits: man-made diamonds from drilling mud sludge. *Materialy VII nauchnoy konferentsii “Gemmologiya”* [Proc. VII Sci. Conf.: Gemmology]. Tomsk, pp. 113-122. (In Russ.)

Puchkov E.V. (2010). Porphyry deposits formation model. *Otechestvennaya geologiya* [Domestic geology], 2, pp. 53-57. (In Russ.)

Shashorin B.N., Makarov F.I., Rudnev V.V., Vydrych D.E. (2018). Geological and geophysical model of the Malmyzh ore-magmatic system and the possibility of its use in forecasting (Northern Sikhote-Alin). *Razvedka i okhrana nedr = Prospect and protection of mineral resources*, 2, pp. 9-16. (In Russ.)

Tarkian M., Eliopoulos D., Economoueliopoulos M. (1991). Mineralogy of precious metals in the skouries porphyry copper-deposit, northern Greece. *Neues Jahrbuch fur mineralogie-monatshefte*, 12, pp. 529-537.

Vlasov G.M. (1990). Evolution of volcanic belts and porphyry ore system. *Printsipy prognozirovaniya endogennoy orudneniya v vulkanicheskikh poiyasakh SSSR* [Principles of forecasting endogenous mineralization in the volcanic belts of the USSR]. Moscow: Nedra, pp. 31-40. (In Russ.)

### About the Authors

*Viktor G. Kryukov* – PhD (Geology and Mineralogy), Leading Researcher, Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

51 Turgenev st., Khabarovsk, 680000, Russian Federation

*Natalya A. Lavrik* – Senior Researcher, Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences  
51 Turgenev st., Khabarovsk, 680000, Russian Federation  
E-mail: [lavrik@igd.khv.ru](mailto:lavrik@igd.khv.ru)

*Natalya M. Litvinova* – PhD (Engineering), Leading Researcher, Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

51 Turgenev st., Khabarovsk, 680000, Russian Federation

*Valentina F. Stepanova* – Engineer-mineralogist, Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

51 Turgenev st., Khabarovsk, 680000, Russian Federation

Manuscript received 30 October 2018;

Accepted 28 January 2019;

Published 1 September 2019