

УДК 550.8

МОЛИБДЕН-МЕДНО-ПОРФИРОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ПАВЛОВИЧСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ*



Н. С. КАСАТКИН,
ведущий инженер¹, аспирант²,
младший научный сотрудник³,
kasatikg@gmail.com



А. А. АЛЕНИЧЕВА¹,
старший научный сотрудник



Ю. В. ЮРЧЕНКО¹,
начальник отдела,
канд. геол.-минерал. наук



И. В. ТАЛОВИНА²,
зав. кафедрой, проф.,
д-р геол.-минерал. наук

¹Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

³Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН, Магадан, Россия

Введение

Рудное поле (РП) Павловича с молибден-медно-порфировым оруденением находится в Магаданской области, в пределах п-ва Кони на побережье залива Забияка Охотского моря. Металлогеническая специализация РП определяется положением в составе Кони-Пьягинской минерагенической зоны [1], в которой размещение рудных объектов контролируется ранне- и позднемиловыми диорит-тоналит-гранитовыми интрузиями Приохотского плутонического пояса [2–4]. Для месторождений медно-порфирового типа Дальнего Востока России характерны медно-порфировый с золотом, золотомедно-порфировый, молибден-медно-порфировый с золотом и весьма перспективный золотомолибден-медно-порфировый рудно-формационные типы [5–9]. Примерами таких объектов, выявленных в последние годы, могут служить крупное золотомедно-порфировое

Приведены новые данные о минеральном составе и геохимических особенностях молибден-медно-порфировой минерализации рудного поля Павловича (Северное Приохотье, Магаданская обл.). Оруденение рудного поля Павловича приурочено к одноименному плутону альб-сеноманских гранитоидов Приохотского плутонического пояса и выражено широко развитыми зонами вторичных кварцитов, ортоклазитов, окварцевания, кварц-сульфидного прожилкования с молибденитом, с вкрапленностью молибденита и гипергенными минералами меди. Авторы считают проявление Павловича перспективным для выявления среднего молибден-медно-порфирового месторождения и рекомендуют проведение поисковых работ.

Ключевые слова: металлогения, молибден-медно-порфировая минерализация, пропилитизация, штокверк, молибденит, Северное Приохотье, Приохотский плутонический пояс

DOI: 10.17580/gzh.2024.09.13

месторождение Малмыж в Хабаровском крае [10, 11], не менее крупное медно-порфировое месторождение Песчанка в Чукотском автономном округе [12–14].

Молибден-медное проявление Павловича в составе одноименного РП выявлено при геолого-съёмочных работах (ГСР) масштаба 1:200 000 в 1959 г. В. Ф. Карпичевым. В 1979 г. в районе рудного поля проводились геохимические поиски по потокам рассеяния масштаба 1:200 000 (Ю. В. Одынец). В дальнейшем выполнялись ГСР масштаба 1:50 000 и поисковые работы на золотомедно-порфировое оруденение (Ю. П. Скибин, 1981; В. Д. Юдин, В. Ф. Семенов, 1984). Ю. П. Скибиным в 1981 г. (неопубликованные данные) дана высокая прогнозная оценка проявлению Павловича как объекту, перспективному для выявления крупного промышленного месторождения комплексных молибден-медных руд. При ГСР масштаба 1:50 000 с поисками золотомедно-порфировой минерализации (В. Д. Юдин, В. Ф. Семенов, 1984) на проявлении Павловича в контурах перспективных литохимических аномалий пробурены пять скважин, которые не показали видимых результатов; богатые руды не были вскрыты.

В 2022 г. авторами выполнен комплекс камеральных, лабораторных и полевых геолого-минерагенических исследований в районе РП Павловича в рамках работ по созданию Госгеолкарты-1000/3 листа O-56 – Магадан, который позволил получить новые данные и более объективно на качественно новом уровне оценить прогнозные ресурсы РП Павловича в части молибден-медно-порфирового типа оруденения.

*Исследования выполнены в рамках Государственных заданий Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2022 г. № 049–00018–22–01 по объекту «Создание и подготовка к изданию государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 третьего поколения по группе листов территории Российской Федерации в 2021–2023 годах (листы O-55, 56)» и СВКНИИ ДВО РАН «Разработка критериев рудоносности магматических комплексов» № 124051600003–4.

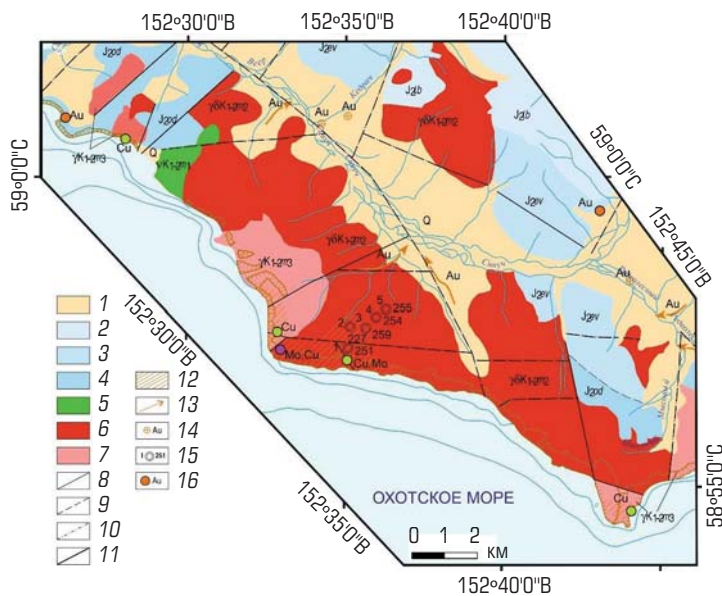


Рис. 1. Схема геологического строения рудного поля Павловича (фондовые материалы В. Д. Юдина, В. Ф. Семенова, 1984 г., с дополнениями авторов):

1 – аллювиальные отложения Q; 2–4 – андезитобазальты, базальты, их туфы; 2 – лабиринтовская толща (J_2/b); 3 – звкунская толща (J_2/ev), 4 – одянская свита (J_2/od); 5–7 интрузии Магаданского комплекса ($K_{1-2}m$): 5 – габбро первой фазы ($K_{1-2}m_1$), 6 – гранодиориты второй фазы ($K_{1-2}m_2$), 7 – граниты третьей фазы ($K_{1-2}m_3$); 8–11 – разломы: 8 – второстепенные достоверные; 9 – второстепенные предполагаемые, 10 – главные достоверные, скрытые под вышележащими образованиями, 11 – главные достоверные; 12 – гидротермально-метасоматические образования; 13 – литохимические потоки в донных отложениях; 14 – точечные шлиховые пробы; 15 – скважины (слева – порядковый номер, справа – глубина); 16 – проявления

Методы исследований

Все лабораторно-аналитические исследования выполнены в аккредитованной Центральной лаборатории Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского.

Оптико-микроскопный анализ выполнен на препаратах (аншлиф, прозрачно-полированный шлиф), изготовленных из штучных проб, отобранных из минерализованных и рудных зон проявления Павловича. Изучение минеральных агрегатов в препаратах проводилось на оптическом микроскопе ПОЛАМ-Р312, оснащенный видеоокуляр.

Микрорентгеноспектральные исследования рудных минералов в препаратах выполнялись на растрово-электронном микроскопе (РЭМ) VEGA 3 компании TESCAN (Чехия), оснащенный высокоскоростным детектором вторичных электронов SE Ultim Max компании Oxford Instruments (Великобритания), детектором вторичных электронов BSE и системой микроанализа энергодисперсионного спектрометра Aztec (аналитик О. А. Яковлева).

Исследования химического состава руд осуществляли сотрудники Центральной лаборатории в следующей последовательности: определение основных породообразующих оксидов рентгеноспектральным флуоресцентным анализом на рентгеновском спектрометре ARL 9800 (Швейцария); выявление благородных металлов, микроэлементов и редких земель на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой ELAN-DRC-e (Perkin Elmer) и Agilent 7700x (Agilent Technologies).

Структурно-геологическая и металлогеническая позиция рудного поля Павловича

Рудное поле Павловича приурочено к одноименному интрузивному массиву общей площадью 85 км², который представлен альб-сеноманскими гранитоидами Магаданского комплекса

в составе трех фаз внедрения, сменяющих друг друга в гомодромной последовательности – от габбро-диоритов, гранодиоритов до гранитов и аплитов [15, 16]. Гранитоиды прорывают островодужные вулканогенные и вулканогенно-осадочные среднеюрские образования одянской и звкунской свит, представленные преимущественно базальтами, андезитами и их туфами (рис. 1).

Рудоконтролирующей структурой является Усть-Сигланский магматогенный свод, который является частью Кони-Пьягинского магматогенного поднятия Охотско-Тайгоносской островодужной системы [17, 18]. Тектонический контроль оруденения проявления Павловича осуществляется Антаринским субширотным глубинным разломом (рис. 2) [19].

Рудное поле Павловича с одноименным молибден-медным проявлением входит в Павловичский рудный узел Кони-Пьягинской минерагенической зоны Охотско-Чукотской минерагенической провинции (см. рис. 2). Минерагенический профиль зоны определяется наличием медно-порфириковых (Лора, Прямое, Антара) и золотосеребряных (Рыжик, Крутой, Горелый) проявлений, ассоциирующих с крупными плутонами гранитоидов Приохотского плутонического пояса [20, 21]. Рудогенерирующая роль альб-сеноманского магматизма обусловлена не только пространственной взаимосвязью гранитоидов и оруденения, но и подтверждается результатами изотопного датирования [22, 23], позволяя отметить связь гидротермальной минерализации с гранитоидами Магаданского плутонического комплекса [24–26].

Петрографо-геохимические особенности пород интрузивного массива Павловича

Породы, слагающие интрузивные тела РП Павловича, представлены порфиридовидными гранодиоритами, тоналит-порфирами и гранитами, содержащими от 61,5 до 73,5 %

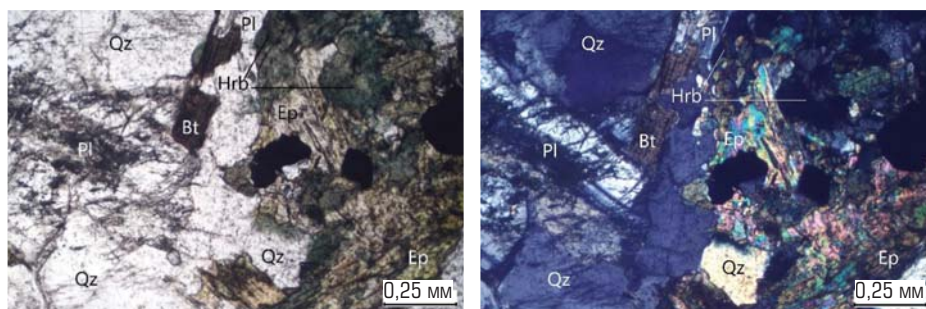


Рис. 2. Оптико-микроскопное изображение порфиридных тоналитов:

слева без анализатора, справа с анализатором: Pl – плагиоклаз, Qz – кварц, Hrb – роговая обманка, Ep – эпидот, Bt – биотит

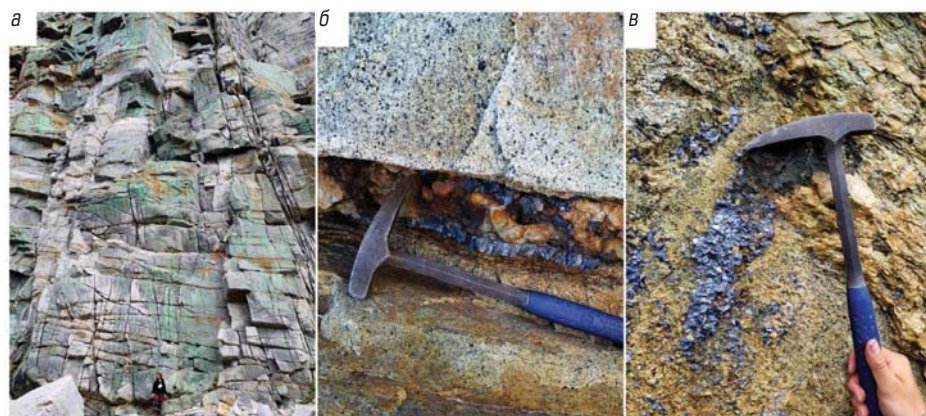


Рис. 3. Фотографии коренных выходов гранитоидов с признаками медно-молибденовой минерализации в береговых обнажениях на проявлении Павловича:

а – коренные выходы в береговых обнажениях интрузивного массива Павловича с зонами развития гипергенных минералов меди и железа; б, в – кварцевая жила с крупными кристаллами молибденита

(мас.) SiO_2 , от 4,1 до 6,7 % (мас.) $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ с преобладанием натрия, и по химическому составу отвечающими нормально-щелочным гранодиоритам и гранитам. Гранитоиды в целом магнезиальные, кальциевые, относятся преимущественно к I типу [15, 27, 28].

Руды приурочены к тоналит-порфирам. Минеральный состав порфиридных тоналитов типичный и характеризуется преобладанием плагиоклаза (An_{37-40}) в основной массе (55–62 %), в подчиненном количестве содержатся биотит (~5–6 %) и амфибол (~6 %), калиевые полевые шпаты (~2–3 %), кварц представлен фенокристаллами в объеме (25 %) (см. рис. 2). В составе аксессуарных минералов доминирует магнетит, в меньшем количестве присутствуют апатит и циркон.

Минералого-геохимические особенности рудной минерализации рудного поля Павловича

Рудное тело представляет собой штокверк сульфидно-кварцевых жил и прожилков в порфиридных тоналитах, между которыми развита вкрапленная сульфидная минерализация. Мощность кварц-сульфидных, кварц-сульфидно-полевошпатовых прожилков колеблется от 2–3 до 30 см, увеличиваясь в раздувах до 70 см, протяженность по простиранию достигает многие сотни метров. Вертикальный размах оруденения 300–350 м. Штокверк вскрыт в береговых обрывах высотой 420–500 м, где отмечается выраженная зона гипергенного изменения руд (рис. 3, а). Прожилково-вкрапленное оруденение локализуется как в периферических частях штока

порфиридных гранитов, так и преимущественно во вмещающих гранитоидах, подвергшихся сильным метасоматическим изменениям. Наблюдается зональность в распространении метасоматитов, центр РП сложен серицит-кварцевыми метасоматитами, периферия представлена пропилитами. В пределах рудного штокверка наблюдается также вертикальная зональность снизу вверх (Ю. П. Скибин, 1981):

- зона гипергенных первичных руд с халькопиритом, магнетитом, пиритом мощностью 100–120 м;
- зона смешанных руд с халькопиритом, молибденитом, халькозином, молибдошеелитом, колуситом, пиритом мощностью около 100 м;
- зона цементации с халькопиритом, молибденитом, халькозином, борнитом, ковеллином мощностью 60–100 м;
- зона окисленных руд с халькопиритом, малахитом, азуритом, хризоклоллой общей мощностью 50–70 м.

Для определения степени рудоносности был изучен химический состав рудной минерализации в пределах выделенных зон (табл. 1). Максимальная концентрация молибдена до 0,3 % характерна для зоны смешанных руд, относительно высокие концентрации меди до 0,2 % отмечаются в трех верхних зонах по глубине. Кроме того, по результатам собственных исследований, РП Павловича характеризуется комплексным составом руд, где наряду с основными компонентами – медью и молибденом, присутствуют, г/т: до 4 W; до 5 Te; до 24 Bi; до 142 Ag; до 47 Pb; до 393 Zn; иногда 0,35 Au. Установлены (Ю. П. Скибин, 1981) две генерации молибденита,

Таблица 1. Содержание главных рудных компонентов в зонах минерализации проявления Павловича по данным масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, г/т

Проба	Cu	Mo	Bi	Te	Ag
52057/2	107300	2320	23,4	5,01	142
52058/2	3530	2070	3,63	1,02	2,41
52060/7	2030	23,8	0,17	0,1	0,37
52053/7	1780	2,3	1,04	1,89	3,15
52056/3	1130	91,7	0,59	0,1	1,66
52059/7	1070	6,25	0,68	0,1	0,3
52060/3	738	14,1	0,42	0,1	0,36
92034/3	493	3,66	0,27	0	0,53
52062/3	415	1,73	0,55	0,55	0,32
52058/1	340	19	0,16	0,1	0,12
52054/3	312	9,46	0,58	0,52	0,76
52058/3	285	21,1	0,05	0,1	0,06
52059/2	214	6,09	0,05	0,1	0,09
52055/2	185	1,57	0,24	0,1	0,08
52053/6	91,6	1,4	0,21	0,4	0,06
52065/1	81,4	3,23	0,21	0,1	0,05
52054/1	72,3	28,5	0,5	0,56	0,25
52063/2	71,9	1,05	0,2	0,87	0,1
52064/1	46,8	10,1	0,18	0,1	0,05
52065/3	46,5	2,7	0,79	0,32	0,07
52063/1	45,5	2,37	0,31	0,29	0,05
52055/3	13	11,4	0,05	0,1	0,06
52065/4	8,65	1,72	0,35	0,23	0,02

соответствующие двум этапам оруденения, максимальное содержание рения характерно для ранней генерации – от 150 до 2800 г/т, в поздней генерации крупночешуйчатых молибденитов содержание рения не превышает 150 г/т.

Таким образом, по данным предшественников и результатам собственных исследований можно выделить три условных типа руд по содержанию (см. табл. 1):

- аномальные – Cu (9 %), Mo (0,8 %) и Ag (97 г/т);
- богатые – Cu (1,16 %), Mo (0,29 %), Ag (11 г/т);
- бедные – Cu (0,2 %), Mo (0,02 %) и Ag (2,4 г/т).

Рудная минерализация представлена пиритом, халькопиритом, магнетитом, реже – халькозином и молибденитом. Для молибденита из прожилков характерны тонкочешуйчатые формы, развитые, как правило, по зальбандам прожилков. Отмечены участки массивных сульфидных руд, чередующиеся с безрудными или слабооруденелыми интервалами. Молибденит в таких рудах образует крупные розетковидные кристаллы диаметром до 5 см (см. рис. 3, б, в). Минеральный состав минерализованных зон типичен для медно-порфировых месторождений [29–31].

Количество рудных минералов в образцах в среднем 10 %. Главными рудными минералами проявления Павловича являются пирит и халькопирит. Пирит преимущественно имеет

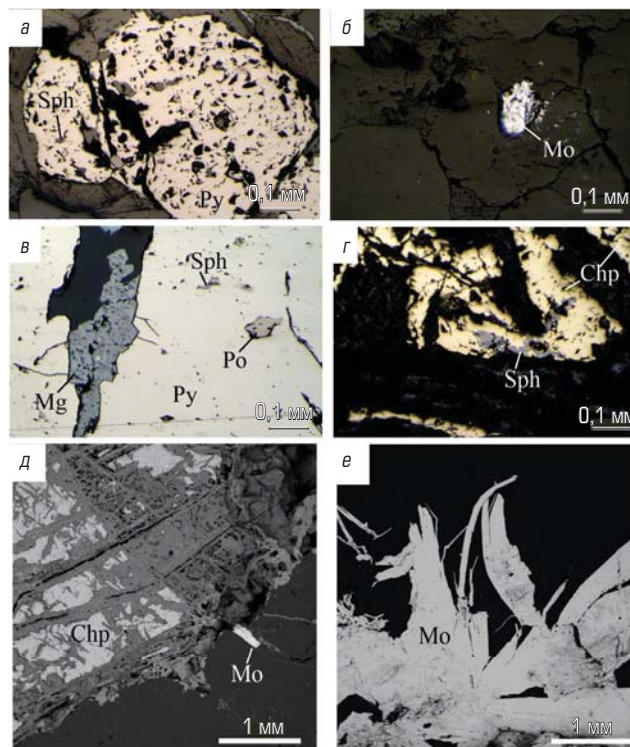


Рис. 4. Морфология рудных минералов рудного поля Павловича:

а – пирит кавернозной структуры, каверны выполнены сфалеритом; б – молибденит тонкочешуйчатой формы, предположительно, ранней генерации; в – пирит массивной структуры с редкими кавернами, выполненными сфалеритом, магнетитом и пирротинитом; г – включения сфалерита в халькопирите; д – халькопирит, частично замещенный гидроксидами железа; е – крупные кристаллы молибденита поздней генерации. Sph – сфалерит, Py – пирит, Mo – молибденит, Po – пирротин, Mg – магнетит, Chp – халькопирит

гипидиоморфный облик с элементами ситовидного строения (рис. 4, а, в). Включения в пирите преимущественно выполнены пирротинитом, халькопиритом, редко халькозином, сфалеритом. Наблюдается частая ассоциация с магнетитом, который, в свою очередь, частично корродирует пирит и образует вокруг него каймы. В составе пирита обнаружена примесь Co и Ni, реже Cu и As (табл. 2).

Халькопирит редко образует отдельные агрегаты, зачастую только вкрапленность в пирите, иногда в сростании с пирротинитом. Количество халькопирита значительно меньше пирита, не более 15 % всего объема рудных минералов. Часто наблюдаются более крупные ксеноморфные зерна округлой формы, которые частично замещены гидроксидами железа (см. рис. 4, г, д). Халькозин встречается по краям зерен халькопирита в виде каемок.

Для РП Павловича молибденит редок, но активно встречается в его юго-восточной части в основном в кварцевых,

реже – в сульфидных прожилках. На основании геохимических (см. табл. 2) и морфологических (см. рис. 4, д, е) различий выделяются две генерации молибденита. К ранней генерации отнесены тонкочешуйчатые кристаллы молибденита размером до 0,1 мм, которые развиваются по мелким кварцевым прожилкам и заполняют каверны в кварце (см. рис. 4, д). К более поздней генерации принадлежат крупные кристаллы молибденита, достигающие размера 10 мм, развитые, как правило, по зальбандам прожилков (см. рис. 3, б; рис. 4, е). В составе молибденита поздней генерации (Mo²) обнаружена примесь железа, а в более ранней (Mo¹) – примесь рения (см. табл. 2).

Магнетит имеет гипидиоморфный облик и в образцах составляет до 10 %. По отношению к общей массе породы он менее изменен, возможно, кристаллизовался последним или в начале рудного этапа. Наблюдается в ассоциации с халькопиритом и пирротинном, совместно с которыми выполняет вкрапленность в пирите [32, 33]. В породе также встречаются агрегаты магнетита со структурой магнетит-ильменитового распада. Наблюдается замещение магнетита гипергенными минералами железа.

Гипергенные минералы имеют небольшое распространение, представлены гидроксидами железа, малахитом, азури-том.

По мнению Р. Силитоу, порфирово-эпитермальные системы формируются в магматических дугах над зонами субдукции [29]. Авторы рассматривают рудно-магматическую систему проявления Павловича, приуроченную к глубинным деформациям сдвигового характера (сбросы, сбрососдвиги) и связанную с позднеальб-сеноманским гранитоидным магматизмом, как сформировавшуюся в постсубдукционной обстановке на границе скольжения Евроазиатской и Тихоокеанской литосферных плит [34–36].

Вышеуказанный факт также подтверждается сравнительной характеристикой прямых и косвенных признаков оруденения на проявлении Павловича с порфировыми месторождениями Баимской рудной зоны на Чукотке (например, месторождение Песчанка). Рудная минерализация Баимской рудной зоны ассоциирует с позднеюрско-раннемеловыми островодужными вулканоплутоническими образованиями, аналогичными рассматриваемым в пределах РП Павловича [12, 13].

Сходство укрупненных параметров проявления Павловича с эталонным месторождением Песчанка, таких как гидротермально-метасоматические изменения, минеральная и геохимическая рудные ассоциации, пересечение разломов субширотного и северо-восточного простирания, наличие положительных магнитных аномалий высокой интенсивности, позволяет прогнозировать промышленное молибден-медно-порфировое с серебром месторождение.

Заключение

Рудогенерирующие для молибден-медного рудопоявления тоналит-порфиры одноименного интрузивного массива

Таблица 2. Химический состав рудных минералов проявления Павловича по данным микрорентгеноспектрального анализа (пробы 52057/2, 52058/2), % (мас.)

Минерал	Элемент								Сумма
	Fe	Cu	Mo	S	Co	Ni	As	Re	
Chp	30,91	34,37	–	37,07	–	–	–	–	102,35
	30,1	33,47	–	36,43	–	–	–	–	100
	30,2	33,64	–	36,16	–	–	–	–	100
	30,22	33,44	–	36,34	–	–	–	–	100
	30,27	33,63	–	36,1	–	–	–	–	100
	30,75	33,64	–	35,61	–	–	–	–	100
Mo ¹	31,27	33,25	–	35,48	–	–	–	–	100
	–	–	60,72	39,27	–	–	–	0,01	100
	–	–	61,09	38,91	–	–	–	–	100
Mo ²	–	–	61,59	39,35	–	–	–	0,11	100,83
	0,26	–	60,5	39,25	–	–	–	–	100
Py	9,62	–	54,53	35,85	–	–	–	–	100
	44,87	–	–	53,29	0,27	0,06	1,51	–	100
	46,85	0,29	–	52,55	0,25	0,06	–	–	100
	45,74	0,21	–	53,47	0,33	0,02	0,23	–	100
	45,74	–	–	53,94	0,17	0,02	0,13	–	100
	46,07	–	–	53,75	0,2	0,07	–	–	100,09
Po	45,97	–	–	53,75	0,18	0,01	0,09	–	100
	45,65	–	–	54,16	0,12	0,06	–	–	100
	61,17	–	–	40,06	–	0,01	–	–	101,24
Po	60,48	–	–	39,5	–	0,02	–	–	100
	60,44	–	–	39,56	–	0,01	–	–	100
	60,6	–	–	39,4	–	–	–	–	100


Павловича характеризуются широко проявленными метасоматическими изменениями, для которых наблюдается горизонтальная зональность. Центр РП сложен серицит-кварцевыми метасоматитами, периферия представлена пропилитами. Рудное поле Павловича характеризуется комплексным составом руд, где наряду с основными компонентами – до 9 % Cu и до 0,8 % Mo присутствуют, г/т: до 4 W; до 5 Te; до 24 Bi; до 142 Ag; до 47 Pb; до 393 Zn; иногда до 0,35 г/т Au. По содержанию рудных компонентов авторами выделены три условных типа руд: аномальные – Cu (9 %), Mo (0,8 %) и Ag (97 г/т); богатые – Cu (1,16 %), Mo (0,29 %), Ag (11 г/т); бедные – Cu (0,2 %), Mo (0,02 %) и Ag (2,4 г/т). Рудная минерализация представлена в основном халькопиритом, магнетитом, реже – халькозином и молибденитом, для которого выделены две генерации, для ранней генерации характерно высокое содержание рения (до 2800 г/т). Гипергенные минералы представлены гидроксидами железа, малахитом, азури-том. Состав руд, последовательность их формирования, индикаторные геохимические показатели позволяют отнести минерализацию к молибден-медно-порфировому типу. Параметры оруденения, сходные

с известными месторождениями Баимской рудной зоны, позволяют прогнозировать на РП среднее промышленное молибден-медно-порфировое месторождение.

Авторы считают актуальным проведение в пределах РП Павловича крупномасштабных геолого-съёмочных и поисковых работ с выполнением комплекса лабораторных исследований, в том числе с применением современных методов оценки

продуктивности рудоносных магматических комплексов, с которыми связано образование порфировых систем [37].

Библиографический список

См. англ. блок. 

«GORNYI ZHURNAL», 2024, № 9, pp. 83–89
DOI: 10.17580/gzh.2024.09.13

Molybdenum–copper–porphyry mineralization in the Pavlovich ore field

Information about authors

N. S. Kasatkin, Leading Engineer¹, Post-Graduate Student², Junior Researcher³,
kasatik@gmail.com

A. A. Alenicheva¹, Senior Researcher

Yu. Yu. Yurchenko¹, Head of Department, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences

I. V. Talovina², Head of Department, Professor, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences

¹Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg, Russia

²Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

³Shilo North-Eastern Integrated Research Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

Abstract

The article presents new data on mineral composition and geochemical features of molybdenum–copper–porphyry mineralization in the Pavlovich ore field in the Northern Priokhotye (northern coast of the Sea of Okhotsk), Magadan Region. The field adjoins the homonymous plutonic intrusions of the Alb-Cenomanian granitoids of the Priokhotye Plutonic Belt, intruded in the island-arc volcanic Middle-Jurassic rocks represented by mostly basalt, andesite and their tuff. The ore fold-like mineralization shows up as quartz–sulfide veinlets, with impregnations of molybdenite and copper minerals, and as widely spread zones of secondary quartzite and orthoclase. The structure of the ore fold composed of tonalite–porphyry and porphyritic granodiorite features a horizontal zonality of geothermal–metasomatic transformations: from metasomatic sericite–quartzite rocks in the center to propylite in the periphery. The ore-bearing mineralization represents mostly chalcopyrite, magnetite, chalcocite, bornite and molybdenite of two generations, including the earlier generation with fine-flake molybdenite grains rich with rhenium (to 2800g/t). The ore fold is opened in coastal cliffs 420–500 m high. The top of the fold contains a frank zone of hypergenic transformation of ore with chalcopyrite, malachite, azurite and chrysocolla with a general thickness of 50–70 m. The Pavlovich ore field is a complex ore field, with the main components of Cu and Mo accompanied with W, Te, Bi, Ag, Pb, Zn and sometimes Au. The authors distinguish conditionally three types of ore by its composition criterion: anomalous ore—Cu (9 %), Mo (0.8 %) and Ag (97 g/t); rich ore—Cu (1.16 %), Mo (0.29 %) and Ag (11 g/t); poor ore—Cu (0.2 %), Mo (0.02 %) and Ag (2.4 g/t).

The composition of ore, the formation sequence and the geochemical indicators allow categorizing the mineralization as molybdenum–copper–porphyry type with silver.

The mineralization parameters, similar to ore deposits in the Baim ore zone, make it possible to predict a commercial-value molybdenum–copper–porphyry deposit in the test field. The authors think the Pavlovich field is worth large-scale geological surveying and exploration.

The study was carried out under the state contracts with the Federal Subsoil Use Agency, Contract No. 049-00018-22-01 dated 14 January 2022 Creation and Redaction of the State Geological Map, Scale 1:1 000 000, 3rd Generation, Using Sheets of the Russian Federation Territory in 2021–2023 (Sheets O-55 and O-56), and with the North-Eastern Integrated Research Institute FEB RAS, Contract No. 124051600003-4 Ore Content Criteria for Magmatic Rock Masses.

Keywords: metallogeny, molybdenum–copper–porphyry mineralization, propylitic alteration, ore fold, molybdenite, Northern Priokhotye, Priokhotye Plutonic Belt.

References

1. Umitbaev R. B. Okhotsk–Chaun Metallogenic Province (Structure, Ore Content, Analogs). Moscow : Nauka, 1986. 286 p.

- Akinin V. V., Berdnikov N. V., Polzunenkov G. O., Glukhov A. N., Kolova E. E. Geochemical criteria of calc-alkaline intrusion magmas, perspective on discovery of copper–porphyry ore deposits in the North-East of Russia. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN*. 2020. No. 1. pp. 3–10.
- Kolova E. E. Gold-bearing mineralization in the Koni–Pyagina metallogenic zone : Thesis of Dissertation of Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences. Moscow, 2009. 24 p.
- Savva N. E. Copper–porphyry metallogeny belts in the northwestern marginal sea province of the Pacific Ocean. *Metallogeny of Ore Regions in North-Eastern Russia : Collected Papers*. Magadan : SVKNII DVO RAN, 2005. pp. 38–59.
- Tikhomirov P. L. Cretaceous Marginal Land Magmatism in North-Eastern Asia and Genesis of the Largest Phanerozoic Silicate Volcanism Provinces. Moscow : GEOS, 2020. 376 p.
- Khanchuk A. I., Ivanov V. V. Gold–copper–porphyry mineralization of the Russian Far East: Metallogenic potential and system-based research objectives. *Geological Processes in the Lithospheric Plates Subduction, Collision, and Plate Environments : Proceedings of IV Russian Scientific Conference with Foreign Participants*. Vladivostok : Dalnauka, 2018. pp. 303–306.
- Kolova E. E., Savva N. E. Porphyry–copper molybdenum and gold lode mineralization types over Koni and Pyaghin Peninsulas (the Northern sea of Okhotsk coasts). *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN*. 2008. No. 4. pp. 2–15.
- Rasskazova A. V., Sekisov A. G., Kirilchuk A. G., Vasyanovich Yu. A. Stage-activation leaching of oxidized copper–gold ore: Theory and technology. *Eurasian Mining*. 2020. No. 1. pp. 52–55.
- Khrunina N. P. Improvement of a treatment processes of high-clayey gold-bearing placers. *Eurasian Mining*. 2020. No. 2. pp. 28–32.
- Bukhanova D. S. Mineralogy and geochemistry of the Malmyzh gold–copper–porphyry deposit, Khabarovsk Krai : Thesis of Dissertation of Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences. Petropavlovsk-Kamchatskiy, 2020. 25 p.
- Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Vasyukov V. E., Shumilin D. A. et al. The superlarge Malmyzh porphyry Cu–Au deposit, Sikhote-Alin, eastern Russia: Igneous geochemistry, hydrothermal alteration, mineralization, and fluid inclusion characteristics. *Ore Geology Reviews*. 2019. Vol. 113. ID 103112.
- Baksheev I. A., Nikolaev Yu. N., Prokofev V. Yu., Marushchenko L. I., Nagornaya E. V. et al. Gold–molybdenum–porphyry epithermal system of the Baim ore zone, West Chukotka. *Metallogeny of Ancient and Modern Oceans–2014. Twenty Years at the Frontline of Geology of Mineral Deposits : XX Scientific Youth School Proceedings*. Miass : Institut mineralogii UrO RAN, 2014. pp. 108–112.
- Nikolaev Yu. N., Baksheev I. A., Prokofiev V. Yu., Nagornaya E. V., Marushchenko L. I. et al. Gold–Silver Mineralization in Porphyry–Epithermal Systems of the Baimka Trend, Western Chukchi Peninsula, Russia. *Geology of Ore Deposits*. 2016. Vol. 58, No. 4. pp. 284–307.
- Nagornaya E. V. Mineralogy and zonality of the Nakhodka molybdenum–copper–porphyry ore field, Chukotka : Thesis of Dissertation of Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences. Moscow, 2013. 27 p.
- Akinin V. V., Miller E. L. Evolution of calc–alkaline magmas of the Okhotsk–Chukotka Volcanic Belt. *Petrology*. 2011. Vol. 19, No. 3. pp. 237–277.
- Alekseev V. I. Deep structure and geodynamic conditions of granitoid magmatism in the Eastern Russia. *Journal of Mining Institute*. 2020. Vol. 243. pp. 259–265.
- Egorov A. S., Bolshakova N. V., Kalinin D. F., Ageev A. S. Deep structure, tectonics and geodynamics of the Sea of Okhotsk region and structures of its folded frame. *Journal of Mining Institute*. 2022. Vol. 257. pp. 703–719.
- Egorov A. S., Prishchepa O. M., Nefedov Yu. V., Kontorovich V. A., Vinokurov I. Y. Deep Structure, tectonics and petroleum potential of the western sector of the Russian Arctic. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021. Vol. 9, Iss. 3. ID 258.
- Belyi V. F. Problems of geological and isotopic age of the Okhotsk–Chukotsk Volcanogenic Belt (OCVB). *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2008. Vol. 16, No. 6. pp. 639–649.

20. Rusakova T. B. Late Jurassic–Neocomian Volcanism of the Northern Okhotsk Region: Geology, tectonic settings, and mineralization. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2011. Vol. 5, No. 5. pp. 418–432.
21. Kolova E. E., Glukhov A. N., Polzunenkov G. O., Akinin V. V. Porphyry–copper mineralization of Talnikovoye Ore Field (Okhotsk Segment of the Okhotsk–Chukotka Volcanogenic Belt. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2023. Vol. 17, No. 6. pp. 549–569.
22. Alenicheva A. A., Akinin V. V., Kolova E. E., Veselovskiy P. I., Kasatkin N. S. et al. New data on the U–Pb age, petrochemistry and metallogenic specialization of magmatic rock masses in the junction zone between the Koni–Taigonos island-arc system and the Okhotsk–Chukotka Volcano–Plutonic Belt. *Petrology and Ore Content of Magmatic Rock Masses : Conference Proceedings*. Novosibirsk : IPTs NGU, 2022. pp. 12–14.
23. Kotlyar I. N., Zhulanova I. L., Rusakova T. B., Gagieva A. M. Isotopic Systems in Magmatic and Metamorphic Rock Masses in North-Eastern Russia. *Magadan : SVKNII DVO RAN*, 2001. 318 p.
24. Artemiev D. S., Krymsky R. S., Belyatsky B. V., Ashikhmin D. S. The age of mineralization of Mayskoe gold ore deposit (Central Chukotka): results of Re–Os isotopic dating. *Journal of Mining Institute*. 2020. Vol. 243. pp. 266–278.
25. Leontev V. I., Skublov S. G., Shatova N. V., Berezin A. V. Zircon U–Pb geochronology recorded Late Cretaceous fluid activation in the Central Aldan Gold Ore District, Aldan Shield, Russia: First data. *Journal of Earth Science*. 2020. Vol. 31, No. 3. pp. 481–491.
26. Rizvanova N. G., Alenicheva A. A., Skublov S. G., Sergeev S. A., Lykhin D. A. Early Ordovician age of fluorite–rare-metal deposits at the Voznesensky Ore District (Far East, Russia): Evidence from zircon and cassiterite U–Pb and fluorite Sm–Nd dating results. *Minerals*. 2021. Vol. 11, No. 11. ID 1154.
27. Alekseev V. I. Type intrusive series of the Far East belt of lithium–fluoric granites and its content. *Journal of Mining Institute*. 2022. Vol. 255. pp. 377–392.
28. Skublov S. G., Petrov D. A., Galankina O. L., Levashova E. V., Rogova I. V. Th-rich zircon from a pegmatite vein hosted in the Wiborg Rapakivi Granite Massif. *Geosciences*. 2023. Vol. 13, No. 12. ID 362.
29. Sillitoe R. H. Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*. 2010. Vol. 105. pp. 3–41.
30. Mudd G. M., Jowitt S. M. Growing global copper resources, reserves and production: Discovery is not the only control on supply. *Economic Geology*. 2018. Vol. 113, Iss. 6. pp. 1235–1267.
31. Hammarstrom J. M., Zientek M. L., Parks H. L. et al. Assessment of Undiscovered Copper Resources of the World, 2015 : Scientific Investigations Report 2018–5160. Version 1.2. Reston : U.S. Geological Survey, 2021. 644 p.
32. Mikhailov V. V., Stepanov S. Yu., Kozlov A. V., Petrov S. V., Palamarchuk R. S. et al. New copper–precious metal occurrence in gabbro of the Serebryansky Kamen Massif, Ural Platinum Belt, Northern Urals. *Geology of Ore Deposits*. 2021. Vol. 63, No. 6. pp. 528–555.
33. Palamarchuk R. S., Stepanov S. Yu., Kozlov A. V., Khanin D. A., Varlamov D. A. et al. Platinum–group minerals from the Malaya Kamenushka River placer, Middle Urals, Russia. *Mineralogical Magazine*. 2020. Vol. 84, Iss. 6. pp. 900–912.
34. Grebennikov A. A., Khanchuk A. I. Pacific-type transform and convergent margins: igneous rocks, geochemical contrasts and discriminant diagrams. *International Geology Review*. 2021. Vol. 63, Iss. 5. pp. 601–629.
35. Khanchuk A. I. (Ed.). Geodynamics, magmatism and metallogeny in the east of Russia. Vladivostok : Dalnauka, 2006. Book 1. 572 p.
36. Khanchuk A. I., Ivanov V. V. Meso-cenozoic geodynamic settings and gold mineralization of Russian Far East. *Russian Geology and Geophysics*. 1999. Vol. 40, No. 11. pp. 1635–1645.
37. Marin Yu. B. On mineralogical studies and the use of mineralogical information in solving petro- and ore genesis problems. *Geology of Ore Deposits*. 2021. Vol. 63, No. 7. pp. 625–633.

БОГУСЛАВСКОМУ ЭМИЛЮ ИОСИФОВИЧУ – 90 ЛЕТ



Исполнилось 90 лет известному специалисту в области технологии разработки рудных и геотермальных месторождений, заслуженному работнику Санкт-Петербургского горного университета, действительному члену Академии горных наук, Российской академии естественных наук, Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы, доктору технических наук, профессору Эмилию Иосифовичу Богуславскому.

Э. И. Богуславский родился 30 сентября 1934 г. в г. Бердянке, Запорожской области. В 1957 г. закончил горный факультет Магнитогорского горно-металлургического института им. Г. И. Носова по специальности «Разработка месторождений полезных ископаемых». С 1957 по 1961 г. работал на шахте № 201 треста «Копейскуголь».

В 1961 г. поступил в аспирантуру Ленинградского горного института. После окончания аспирантуры был распределен в Красноярский институт цветных металлов, где работал в должности доцента до 1969 г.

С 1971 г. трудовая деятельность Э. И. Богуславского была связана с Санкт-Петербургским горным университетом Екатерины II (бывш. Ленинградским горным институтом), где он прошел путь от ассистента кафедры разработки рудных месторождений до заведующего кафедрой. В 1984 г. защитил докторскую диссертацию, в 1986 г. ему присвоено звание профессора.

Преподавательскую деятельность Эмиль Иосифович успешно сочетал с научно-исследовательской и административной работой. В течение многих лет являлся членом трех диссертационных

советов Горного университета, заместителем председателя Санкт-Петербургского отделения горно-металлургической секции РАЕН. В 2003–2013 гг. входил в состав Экспертного совета ВАК РФ.

Основные научные интересы Э. И. Богуславского связаны с разработкой методов экономико-математического моделирования и оптимизации технологических процессов; геолого-экономической оценкой геотермальных ресурсов; технологий разработки рудных и геотермальных месторождений. Им установлен ряд принципиально новых закономерностей, связанных с влиянием природных, промышленных и экономико-социальных условий на параметры горно-энергетических геотермальных систем; распределением перспективных ресурсов тепловой энергии недр; с оценкой технологических и экономических границ отработки сложных жильных месторождений.

По результатам научных исследований Э. И. Богуславским опубликовано более 300 научных работ, в том числе 9 монографий и 9 учебных пособий. Он является автором 23 изобретений. Им подготовлены 9 кандидатов технических наук.

Большая научная, учебная и административная работа Э. И. Богуславского отмечена государственными наградами и ведомственными знаками отличия, в том числе медалью «Ветеран труда», знаком «Шахтерская слава» двух степеней.

Горная научно-техническая общественность поздравляет Эмилия Иосифовича с юбилеем и желает ему крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов.

*Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II,
редколлегия и редакция «Горного журнала»*