

ПРЕДИСЛОВИЕ К СПЕЦИАЛЬНОМУ ВЫПУСКУ ЖУРНАЛА “ГЕОЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ”, ПОСВЯЩЕННОМУ ПОРФИРОВЫМ И РОДСТВЕННЫМ МЕСТОРОЖДЕНИЯМ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

© 2023 г. И. В. Викентьев^а, *, Н. С. Бортников^а

^аИнститут геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия

*E-mail: viken@igem.ru

Поступила в редакцию 03.09.2023 г.

После доработки 10.09.2023 г.

Принята к публикации 10.09.2023 г.

DOI: 10.31857/S0016777023070067, EDN: GDPOKE

Журнал “Геология рудных месторождений” впервые публикует специальный тематический выпуск, посвященный рудным месторождениям “порфиорового семейства” и родственными им, в частности эпitherмальным, находящимся в регионах Северной Евразии (России и Казахстана). Данные месторождения представлены промышленными концентрациями широкого круга металлов, главным образом меди, золота, молибдена, олова и др. Они локализованы в террейнах разного возраста — от раннего-среднего и позднего палеозоя (например, на Урале и в других сегментах Центрально-Азиатского орогенного пояса) до мезозоя (Забайкалье), мезозоя–кайнозоя (Тихоокеанский рудный пояс) и кайнозоя (Камчатка). Этому отвечают различия тектонической природы соответствующих террейнов — от островодужных и окраинноконтинентальных в связи с зонами субдукции вдоль древних конвергентных континентальных окраин до постколлизийных сегментов и зон внутриплитного развития (тектонно-магматической активизации) консолидированных континентальных сооружений.

Экономическое значение рудных месторождений “порфиорового семейства” и родственных им в современном мире трудно переоценить. В частности, такие месторождения являются ведущими мировыми источниками меди и молибдена (Seedorf et al., 2005; Cooke et al., 2005; Sinclair, 2007; Sillitoe, 2010), одними из ведущих источников золота (Sillitoe, 2000), существенными источниками олова (Sillitoe et al., 1975) и других металлов. Изучению и оценке этих месторождений посвящены многочисленные публикации в мировой геологической литературе, которые рассматривают различные аспекты их типизации и генезиса, в том числе вопросы геодинамической позиции, условий генерации и эволюции продуктивных магма-

тических расплавов, состава и строения соответствующих рудно-магматических систем, минералогии и геохимии гидротермальных метасоматитов и руд, флюидного режима их формирования и т.п. Данные геолого-генетические аспекты формирования месторождений “порфиорового семейства” и родственных им рассмотрены и в серии тематических сборников, часто публикуемых ведущими международными научными центрами (Camus and Dilles, 2001; Hedenquist et al., 2012; Bissig and Cooke, 2014; Sharman et al., 2021).

Различные регионы Северной Евразии — в пределах бывшего СССР — довольно интенсивно изучались в аспектах прогнозирования, поисков и оценки медно-порфировых и родственных месторождений, с развитием теоретических представлений о строении и генезисе соответствующих магмато-генно-гидротермальных систем. Достаточно сказать, что в советское время были открыты и изучены крупнейшие золото-молибден-медно-порфировые месторождения Коунрад (Казахстан), Алмалык (Узбекистан) и Каджаран (Армения), а в России — Песчанка (Чукотский полуостров) и серия рудных объектов меньшего размера в Алтае-Саянской области, в Забайкалье и на Урале. Еще в начале XX века Е.С. Федоровым на Урале в Турьинском районе (Федоров, Никитин, 1901) и в Армении — Кедабек (Федоров, 1903) были впервые описаны “вторичные кварциты”, представляющие собой верхи медно-порфировых систем; эти наблюдения были в 1920–1950-х годах развиты М.П. Русаковым и Н.И. Наковником при открытии и изучении месторождений в Казахстане (Коунрад) и Узбекистане (Алмалык). В более позднее время, значительный вклад в изучение этих и других медно-порфировых и родственных месторождений Северной Евразии, их геолого-структурной позиции, особенностей продуктивно-

го магматизма, зональности гидротермальных изменений и рудной минерализации, условий образования месторождений был внесен А.И. Кривцовым, И.Ф. Мигачевым, О.В. Мининой, В.С. Звездовым, В.Т. Покаловым, В.И. Сотниковым, А.П. Берзиной, А.И. Грабежеевым, К.А. Карямяном, И.Г. Павловой, В.С. Поповым, В.Н. Сазоновым, В.Л. Хомичевым, Т.Ш. Шаякубовым и многими другими геологами.

Вместе с этим, медно-порфировые (и родственные — золото-меднопорфировые, медно-золотопорфировые, золото-молибден-меднопорфировые и др.) месторождения на территории Северной Евразии в пределах бывшего СССР до последнего времени имели сравнительно меньшее экономическое значение, главным образом ввиду наличия крупных месторождений меди со значительно более высокими содержаниями этого металла. В то время потребности промышленности вполне покрывались отработкой крупных месторождений вулканогенных массивных (медноколчеданных и колчеданно-полиметаллических) сульфидных руд Урала и Рудного Алтая, наряду с гигантскими месторождениями медно-никелевых руд в расслоенных габброидных интрузивах Норильска. Однако по мере реструктуризации минерально-сырьевой базы и перерабатывающей промышленности после распада СССР, параллельно с нарастающим истощением месторождений высококачественных руд, все большее внимание уделяется поискам, разведке и освоению порфировых месторождений медных руд. В результате, в общем балансе запасов меди России, запасы медно-порфировых месторождений вышли на второе место (23.9%), уступая лишь запасам сульфидных медно-никелевых месторождений (34.4%), но превосходя запасы месторождений медистых песчаников и сланцев (19.6%), медноколчеданных месторождений (14.5%) и скарновых месторождений меди (2.7%) (Государственный доклад..., 2022). Гораздо более значительную роль играют медно-порфировые месторождения в структуре минерально-сырьевой базы меди в Казахстане и преобладающую — в Узбекистане.

Несмотря на это, в России в настоящее время отрабатываются лишь два сравнительно небольших и с невысокими содержаниями металлов медно-порфировых месторождения — Томинское (запасы около 2.8 млн т меди при среднем содержании 0.34% Cu) и Михеевское (запасы около 1.9 млн т меди при среднем содержании 0.37% Cu), оба расположенные на Южном Урале. С другой стороны, подготавливаются к эксплуатации или находятся в стадии разведки значительно более крупные медно-порфировые месторождения, причем некоторые — с более высокими средними содержаниями меди: Ак-Суг в Тыве (запасы около 3.6 млн т меди при среднем содержании 0.67% Cu), Песчанка на Чукотке (запасы около 6.4 млн т ме-

ди при среднем содержании 0.53% Cu) и Малмыж в Хабаровском крае (запасы около 8.3 млн т меди при среднем содержании 0.35% Cu). Все эти медно-порфировые месторождения содержат значительные концентрации золота, а некоторые — также молибдена, серебра и др. Примечательно также, что начиная с 2018 г. рудные объекты медно-порфирового типа в России устойчиво вышли на первое место среди объектов всех типов медных руд по ассигнованиям (объемам финансирования) на поисковые и геологоразведочные работы (Государственный доклад ..., 2022).

Соответственно, главный фокус настоящего тематического выпуска, состоящего из двух томов, сделан на золото-меднопорфировых и родственных месторождениях. Выпуск открывается статьей И.В. Викентьева и др. (2023), посвященной медно-золотопорфировому месторождению Юбилейному, расположенному в южно-уральском сегменте палеозойского металлогенического пояса порфировых месторождений Урала (Plotinskaya et al., 2017) в пределах Западного Казахстана. Это месторождение ассоциирует с небольшим интрузивом гранитоидов магнетитовой серии, характеризуется развитием золотоносных кварцитов и, локально, штокверка магнетитовых и магнетит-сульфидных прожилков и резким преобладанием — по промышленной значимости — золота (среднее содержание около 2 г/т) над медью (среднее содержание около 0.15% Cu). Как следствие, это месторождение вмещает существенные резервы золота (более 80 тонн). По совокупности признаков Юбилейное весьма напоминает миоценовые медно-золотопорфировые месторождения рудного пояса Марикунга на чилийско-аргентинской границе (Vila, Sillitoe, 1991; Vila et al., 1991; Sillitoe, 2008). Это месторождение имеет много общих черт с медно-золотопорфировыми месторождениями Полярного Урала (Новогоднее-Монто, Петропавловское) (Soloviev et al., 2013; Викентьев и др., 2017), что позволяет выделить данный тип месторождений в качестве характерного для палеозойских надсубдукционных структур Уральского металлогенического пояса. Таким образом, в глобальном аспекте, это расширяет известные регионы распространения и возраст формирования месторождений медно-золотопорфирового типа.

Особенности уральских порфировых месторождений рассмотрены далее в статье Plotinskaya, Kovalchuk (Плотинская, Ковальчук, 2022), опубликованной в англоязычной версии данного выпуска. В этой статье приведена краткая геологическая характеристика медно-порфировых месторождений Михеевское и Томинское (Южный Урал) и молибден-порфирового месторождения Талицкое (Средний Урал). Особое внимание уделено составам минералов группы блеклых руд, которые на изученных месторождениях относятся либо к поздним минеральным ассоциациям

порфировой стадии, либо к жильной субэпитеpmальной минерализации. По составу они варьируют от теннантита до тетраэдрита с различными соотношениями Fe и Zn.

Особенности золото-молибден-медно-порфирового оруденения в другом (Алтае-Саянском) сегменте Центрально-Азиатского орогенного пояса рассмотрены на примере крупного месторождения Аксуг (Ак-Суг), одного из самых древних порфировых на планете и расположенного в Республике Тыва (статья Кужугет и др., 2023). Это месторождение связано с многофазным габбро-тоналит-плагиогранитным интрузивом, имеющим признаки принадлежности к гранитоидам адакитовой серии и внедрившимся в раннем кембрии в толщу толеитовых (базальт-андезит-риолитовых) вулканитов Тыва-Монгольской островной дуги (Berzina et al., 2016, 2019). В статье, представленной в настоящем выпуске, обсуждаются вопросы формирования золотой минерализации на данном месторождении, физико-химические параметры и состав минерализующих флюидов.

В другой статье, опубликованной в англоязычной версии настоящего выпуска Petrov et al., (Петров и др., 2023), приводятся новые данные по району крупнейшего золото-меднопорфирового месторождения Малмыж, сравнительно недавно открытого и разведанного в структурах Сихотэ-Алинского орогенного пояса, расположенного вдоль тихоокеанской окраины Евразии. Это месторождение было сформировано в позднемеловое время в постколлизийной обстановке, проявленной в условиях трансформной континентальной окраины, что сближает его тектоническую позицию с таковой других гигантских порфировых месторождений Северо-Западной Пацифики, включая гигантское золото-молибден-меднопорфировое месторождение Пиббл в США (Goldfarb et al., 2013; Soloviev et al., 2019a). В статье обсуждаются новые данные минералого-петрографического, петрогеохимического, изотопно-геохронологического и изотопно-геохимического изучения магматических пород рудных полей Малмыж и Гион. На основе анализа изученных образцов обсуждаются закономерности распределения элементов-примесей (REE+Y, Hf, Ti, U, Th, Pb) в акцессорных цирконах из магматических пород рудных полей Малмыж и Гион с целью оценки их потенциальной рудоносности на золото-меднопорфировое оруденение.

Среди месторождений, генетически родственных месторождениям “порфирового семейства”, в первой части настоящего специального тематического выпуска рассматриваются эпитеpmальные золотые (Au–Ag) месторождения Камчатки (Бортников и Толстых, 2023). Камчатская орогенная система включает серию наиболее молодых кайнозойских островодужных и окраинно-континентальных поясов Северо-Западной Пацифики, в том числе поясов шошонитового и известково-щелочного (включая адакитовый) магматизма, с которым связаны многочисленные проявления золото-меднопорфировой и золото-молибден-меднопорфировой минерализации (Мигачев и др., 2020; Soloviev et al., 2021). В отличие от этих, пока еще непромышленных проявлений медно-порфировой минерализации, на Камчатке широко представлены эпитеpmальные, в том числе весьма крупные, месторождения золота (Au–Ag), которым и посвящена данная статья.

Кроме статей по медно-порфировым и родственным эпитеpmальным Au–Ag месторождениям, первый том настоящего тематического выпуска включает статьи, посвященные другим типам порфировых месторождений – молибден-порфировым и олово-порфировым. В частности, статья Г.А. Юргенсона и др. (2023) посвящена крупному Шахтаминскому молибден-порфировому месторождению в Восточном Забайкалье. В этой статье приведены результаты изучения строения рудных жил, минеральной зональности в них и типоморфизма минералов. Особенности минералов руд свидетельствуют о продолжении на глубину, наряду с молибденом, также и полиметаллической минерализации, с которой связано золото. Полученные данные свидетельствуют в пользу малого эрозионного среза вскрытого выработками оруденения. На основании изучения рудной и метасоматической зональности, флюидных включений и изотопных данных, а также состава структурных примесей в молибдените сделаны выводы об условиях образования рудной минерализации в режиме порфировой рудообразующей системы.

Статья Е.Н. Соколовой и др. (2023) посвящена характеристике магматогенно-флюидной системы Высокогорского олово-порфирового месторождения. Это месторождение находится в Кавалеровском рудном районе Сихотэ-Алинского орогенного пояса, причем для него и некоторых его сателлитов характерна связь с малоглубинными и субвулканическими интрузивами пород “пестрого состава” (от габброидов до калиевых риолитов), а также телами эксплозивных брекчий. Это отличает данное месторождение от типичных вольфрам-оловянных месторождений, связанных с гораздо более глубинными плутонами гранитоидов, и сближает его с оловянными (олово-порфировыми) месторождениями Боливии, связанными с шошонитовым магматизмом (Sillitoe et al., 1975; Lehmann et al., 1990). Авторы приводят результаты изучения флюидных включений в кварце продуктивных магматических пород, отмечая при этом более глубокий, чем уровень кристаллизации изученных приповерхностных магматических тел, источник минералообразующих флюидов. Примечательно, что данное место-

рождение и его сателлиты пространственно сближены с крупными проявлениями золото-молибден-меднопорфировой минерализации, которые близки им также по возрасту и шошонитовой природе продуктивных интрузий (Soloviev et al., 2019b). Такое сосуществование близсинхронных оловянных и золото-молибден-меднопорфировых месторождений, в том числе отмеченное в Кавалеровском районе, было недавно подчеркнуто в работе Sillitoe and Lehmann (2022), в которой показано синхронное внедрение сосуществующих окисленных и восстановленных глубинных магм в постколлизийных или задуговых надсубдукционных обстановках. Это открывает новые перспективы изучения данных природных ассоциаций разных типов порфировой минерализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бортников Н.С., Толстых Н.Д. Эпитермальные месторождения Камчатки, Россия // Геология руд. месторождений. 2023. № 7. С. 722–752.
- Викентьев И.В., Мансуров Р.Х., Иванова Ю.Н., Тюкова Е.Э., Соболев И.Д., Абрамова В.Д., Выхристенко Р.И., Трофимов А.П., Хубанов В.Б., Грознова Е.О., Двуреченская С.С., Кряжев С.Г. Золото-порфировое Петропавловское месторождение (Полярный Урал): геологическая позиция, минералогия и условия образования // Геология руд. месторождений. 2017. Т. 59. № 6. С. 501–541.
- Викентьев И.В., Шатов В.В., Смирнов Д.И., Волчков А.Г. Медно-золотопорфировое месторождение Юбилейное (Западный Казахстан): геологическая позиция и условия образования // Геология руд. месторождений. 2023. № 7. С. 596–633.
- Государственный доклад “О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году”. М.: ФГБУ “ВИМС”, 2022. 623 с.
- Кужугет Р.В., Анкушева Н.Н., Хертке А.К., Монгуш А.О., Бутанаев Ю.В. Золото-меднопорфировое месторождение Ак-Суг (Восточный Саян): благороднометаллическая минерализация, РТ-параметры и состав рудоносного флюида // Геология руд. месторождений. 2023. № 7. С. 634–661.
- Мигачев И.Ф., Минина О.В., Звездов В.С. Корякско-Камчатский регион — потенциальная медно-порфировая провинция // Отечественная геология. 2020. № 4–5. С. 3–23.
- Петров О.В. и др. О перспективах открытия новых золото-медно-порфировых месторождений Малмыжского типа на территории Нижнего Приамурья (Дальний Восток России) // Региональная геология и металлогения. 2023. № 94. С. 75–112.
- Плотинская О.Ю., Ковальчук Е.В. Блеклые руды Cu-(Mo)-порфировых месторождений Урала // Минералогия. 2022. Т. 8. № 3. С. 5–22.
- Соколова Е.Н., Смирнов С.З., Секисова В.С., Бортников Н.С., Гореликова Н.В., Томас В.Г. Магматогенно-флюидная система олово-порфирового Высокогорского месторождения (Сихотэ-Алинь, Кавалеровский рудный район, Приморье, Россия): магматический этап развития // Геология руд. месторождений. 2023. № 7. С. 700–721.
- Федоров Е.С. Горные породы Кедабека // Зап. Академии наук. Физ.-мат. отд. Т. 14. № 3. 51 с.
- Федоров Е.С., Никитин В.В. Богословский горный округ: Описание в отношении его топографии, минералогии, геологии и рудных месторождений. СПб.: тип. М. Стасюлевича, 1901. 463 с.
- Юргенсон Г.А., Киселева Г.Д., Доломанова-Тополь А.А., Коваленкер В.А., Петров В.А., Абрамова В.Д., Языкова Ю.И., Левицкая Л.А., Трубкин Н.В., Таскаев В.И., Каримова О.В. Строение, минералого-геохимические особенности и условия образования рудных жил Мо-порфирового месторождения Шахтаминское (Восточное Забайкалье) // Геология руд. месторождений. 2023. № 7. С. 662–699.
- Berzina A.P., Berzina A.N., Gimon V.O. Paleozoic–Mesozoic porphyry Cu(Mo) and Mo(Cu) deposits within the southern margin of the Siberian Craton: geochemistry, geochronology, and petrogenesis (a review) // Minerals. 2016. V. 6. 6(4):125
<https://doi.org/10.3390/min6040125>
- Berzina A.N., Berzina A.P., Gimon V.O. The Aksug porphyry Cu–Mo deposit (Northeastern Tuva): The chronology of magmatic processes and mineralization (U–Pb, Re–Os isotopic data), metallogenic consequences // Russian Geol. Geophys. 2019. V. 60(9). P. 1330–1349.
- Bissig T., Cooke D.R. Introduction to the special issue devoted to alkalic porphyry Cu–Au and epithermal Au deposits // Econ. Geol. 2014. V. 109. P. 819–825.
- Camus F., Dilles J.H. A special issue devoted to porphyry copper deposits of Northern Chile // Econ. Geol. 2001. V. 96. P. 233–237.
- Cooke D. R., Hollings P., Walshe J.L. Giant porphyry deposits: Characteristics, distribution, and tectonic controls // Econ. Geol. 2005. V. 100. P. 801–818.
- Goldfarb R.J., E. D. Anderson E.D., Hart C.J.R. Tectonic setting of the Pebble and other copper–gold–molybdenum porphyry deposits within the evolving Middle Cretaceous continental margin of Northwestern North America. // Econ. Geol. 2013. V. 108. P. 405–419.
- Hedenquist J.W., Harris M., Camus F. (Eds.). Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe. SEG Spec. Publ. 16. 2012.
- Lehmann B., Ishihara S., Michel H., Miller J., Rapela C., Sanchez A., Tisil M., Winkelmann L. The Bolivian tin province and regional tin distribution in the Central Andes: a reassessment // Econ. Geol. 1990. V. 85. P. 1044–1058.
- Plotinskaya O.Y., Grabezhev A.I., Tessalina S., Seltmann R., Groznova E.O., Abramov S.S. Porphyry deposits of the Urals: Geological framework and metallogeny // Ore Geol. Rev. 2017. V. 85. P. 153–173.
- Seedorff E., Dilles J.H., Proffett J.M., Jr., Einaudi M.T., Zurcher L., Stavast W.J.A., Johnson D.A., Barton M.D. Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features // Economic Geology 100th Anniv. Volume. 2005. P. 251–298.
- Sharman E.R., Lang J.T., Chapman J. (Eds.). Porphyry Deposits of the Northwestern Cordillera of North America: A 25-Year Update. CIMMP. 2021. 726 p.

- Sillitoe R.H.* Gold-rich porphyry deposits: Descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery // SEG Reviews. 2000. V. 13. P. 315–345.
- Sillitoe R.H.* Major gold deposits and belts of the North and South American Cordillera: distribution, tectonomagmatic settings, and metallogenic considerations // Econ. Geology. 2008. V. 103. P. 663–687.
- Sillitoe R.H.* Porphyry copper systems // Econ. Geology. 2010. V. 105. P. 3–41.
- Sillitoe R.H., Halls C., Grant J.N.* Porphyry tin deposits in Bolivia // Econ. Geol. 1975. V. 70. P. 913–927.
- Sillitoe R.H., Lehmann B.* Copper-rich tin deposits // Miner. Deposita. 2022. V. 57. P. 1–11.
- Sinclair W.D.* Porphyry deposits. In: Goodfellow, W.D. (ed.), Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods // Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, 2007, Spec. Publ. No. 5. P. 223–243.
- Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Dvurechenskaya S.S.* Geology, mineralization, stable isotope geochemistry, and fluid inclusion characteristics of the Novogodnee-Monto oxidized Au-(Cu) skarn and porphyry deposit, Polar Ural // Miner. Deposita. 2013. V. 48. P. 603–625.
- Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Dvurechenskaya S.S., Vasyukov V.E., Shumilin D.A., Voskresensky K.I.* The superlarge Malmyzh porphyry Cu-Au deposit, Sikhote-Alin, Eastern Russia: Igneous geochemistry, hydrothermal alteration, mineralization, and fluid inclusion characteristics // Ore Geol. Rev. 2019a. V. 113. Paper 103112.
- Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Avilova O.V., Andreev A.V., Girfanov M.M., Starostin I.A.* The Lazurnoe deposit in the Central Sikhote-Alin, Eastern Russia: Combined shoshonite-related porphyry Cu-Au-Mo and reduced intrusion-related Au mineralization in a post-subduction setting // Ore Geol. Rev. 2019b. V. 112. Paper 103063.
- Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Shapovalenko V.N., Collins G.S., Dvurechenskaya S.S., Bukhanova D.S., Ezhov A.I., Voskresensky K.I.* The Kirganik alkalic porphyry Cu-Au prospect in Kamchatka, Eastern Russia: A shoshonite-related, silica-undersaturated mineralized system in a Late Cretaceous island arc setting // Ore Geol. Rev. 2021. V. 128. Paper 103893.
- Vila T., Sillitoe R.H.* Gold-rich porphyry systems in the Maricunga belt, northern Chile // Econ. Geol. 1991. V. 86. P. 1238–1269.
- Vila T., Sillitoe R.H., Etzhold J., Viter R.E.* The porphyry gold deposit at Marte, Northern Chile // Econ. Geol. 1991. V. 86. P. 1271–1286.