ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КРУПНООБЪЕМНОГО ПРОЖИЛКОВО-ВКРАПЛЕННОГО ЗОЛОТОСУЛЬФИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПЕТРОПАВЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Р. Х. Мансуров¹, А. В. Андреев¹, С. С. Двуреченская¹, И. В. Викентьев²

¹Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ), Москва

rinman81@bk.ru

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), Москва

viken@igem.ru

Рассматриваются геолого-структурные особенности локализации, гидротермально-метасоматические образования и типы руд Петропавловского золоторудного месторождения, расположенного на севере Малоуральского вулканоплутонического пояса и входящего в состав среднепалеозойской островодужной системы Полярного Урала. Показана рудоконтролирующая роль тел порфировых диоритов поздней фазы внедрения собского комплекса. На месторождении выявлено два типа прожилково-вкрапленных руд — золотосульфидный, в основном определяющий золотоносность месторождения, и наложенный, сильно обогащенный Au золотомалосульфидно-кварцевый, в совокупности образующие сложные уплощенно-изометричные тела, местами переходящие в линейные штокверки. По структурно-морфологическим и минералого-геохимическим особенностям Петропавловское месторождение отнесено к золотопорфировому типу. Среди основных критериев такой типизации — пространственная ассоциация рудных тел с телами порфировых субвулканических фаз, штокверкоподобная позиция золоторудной минерализации, объемный характер рудно-метасоматической зональности и распределения рудных компонентов.

Ключевые слова: Полярный Урал, Петропавловское золотопорфировое месторождение, золотосульфидное крупнообъемное оруденение, линейно-штокверковое строение.

PETROPAVLOVSKOE LODE GOLD DEPOSIT, THE POLAR URALS: GEOLOGICAL AND STRUCTURAL FEATURES OF VEINLET-DISSEMINATED GOLD-SULPHIDE MINERALIZATION

R. Kh. Mansurov¹, A.V. Andreev¹, S. S. Dvurechenskaya¹, I. V. Vikentiev²

¹Central Research Institute of Geological Prospecting for non-ferrous and precious metals, Moscow

²Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow

The paper deals with geological and structural features, hydrothermal alteration, ore types of the Petropavlovskoe gold deposit located in the North of the Smaller Urals volcano-plutonic belt being the part of the Middle Paleozoic island arc system of the Polar Urals. The ore-controlling role of porphyry diorite bodies of the latest phase of intrusion has been detected. There are two ore types: gold-sulphide (main for the deposit) and gold-enriched gold-low-sulphide-quartz. The morphology and parameters of the gold-bearing mineralized zones and ore bodies are characterized. The Petropavlovskoe deposit can be referred to the gold-porphyry type on the base of its structural and morphological, mineralogical and geochemical features. Such specific features include: spatial association of gold mineralization with the bodies of porphyry intrusive phases; stockwork structure of gold-bearing zones; volumetric character of ore-alteration zoning and ore component distribution.

Keywords: the Polar Urals, Petropavlovskoe gold-porphyry deposit, lode gold-sulfide mineralisation, linear-stockwork structure.

Введение

Петропавловское золоторудное месторождение, расположенное на Полярном Урале (Ямало-Ненецкий автономный округ), входит в состав Новогодненского рудного поля Тоупугол-Ханмейшорского рудного района, который локализуется на севере полярно-уральского сегмента Малоуральского (Ауэрбаховско-Новогодненского) вулканоплутонического пояса (ВПП) (рис. 1) [6,14,18,19,22]. Данный район в ближайшем будущем может стать одним из новых золотодобывающих центров Российской Арктики [2,15]. Его перспективы определяются главным образом выгодным расположением: в 20 км от г. Лабытнанги и всего в нескольких километрах от железнодорожной ветки. В разные годы месторождения Новогодненского рудного поля, в том числе Петропавловское, изучались специалистами ЦНИГРИ, ОАО «Ямалзолото», ОАО «Ямальская ГК», ОАО «ПУГПП», ООО «Ямалгео», ООО «НПО Геосфера», ГИН РАН, ИГЕМ РАН, ИМГРЭ, УГГУ, РУДН и других организаций [11, 13, 14, 18, 25, 29–31].

Целью исследования является анализ геолого-структурных особенностей локализации Петропавловского золоторудного месторождения, отнесенного рядом исследователей [4, 6, 19, 37] к довольно редкому на планете золотопорфировому типу [24, 35]. Сведения по минеральному составу руд и формам нахождения в них золота приведены в публикации [3], в настоящей работе они даны кратко.

На Урале первое золотопорфировое месторождение — Березняковское на Ю. Урале — описано сравнительно давно [24]. В дальнейшем оно было переклассифицировано как эпitherмальное [23], хотя в ГКЗ РФ оно продолжает числиться как «мелкое золото-медно-порфировое». Есть и компромиссный вариант его классификации как «субвулканического (Cu)-Au-порфирового месторождения эпitherмального типа» [9]. Следующим стало Юбилейное золоторудное месторождение на крайнем юге Урала — в Мугоджарах [10, 34]. Однако оно остается слабоизученным, и доступ к нему ограничен компанией, ведущей добычу золотокварцевого (флюсового) сырья.

Рис. 1. Обзорная схема районирования и золотоносности Полярного Урала (составлено с использованием данных Е. В. Черныяева, ООО «НПО Геосфера»). **Условные обозначения:** 1–7 — основные тектонические элементы Полярного Урала: 1 — Западно-Сибирская плита; 2 — Предуральский краевой прогиб; 3 — Западно-Уральская мегазона; 4 — Центрально-Уральская мегазона; 5–7 — Тагильская мегазона: 5 — Войкарская (1), Щучинская (2) структурно-формационные зоны; 6 — Войкарско-Щучинский офиолитовый пояс; 7 — Ауэрбаховско-Новогодненский (Малоуральский) вулканоплутонический пояс; 8, 9 — зоны разломов: 8 — продольные региональные зоны разломов: а) Главный Уральский глубинный разлом (1), Главный Западно-Уральский разлом (2), б) прочие; 9 — поперечные глубинные зоны разломов: Себета-Щучинская (I), Гнетью-Немурганская (II), Лонготско-Бадьяшорская (III), Ханмейская (IV), Тышорская (V); 10 — рудно-россыпные узлы: Сибилейский (I), Юнъягинский (II), Топугол-Ханмейшорский (III), Лекынтальбейский (IV), Манитаньрдский (V), Манюкюуский (VI), Хараматалоуский (VII); 11 — золоторудные месторождения (а) и проявления (б); 12 — россыпи золота; 13, 14 — железные дороги: 13 — действующие, 14 — строящиеся и проектируемые

Fig. 1. Overview scheme of ore districts and gold mineralization of the Polar Urals (compiled using E.V. Chernyaev's data, «NPO Geosphaera»). **Legend:** 1–7 — main tectonic elements of the Polar Urals: 1 — Western-Siberian plate; 2 — Preuralianforedeep; 3 — Western Uralian megazone; 4 — Central Uralian megazone; 5–7 — Tagilmegazone: 5 — Voykarskaya (1), Shchuch'inskaya (2) zones; 6 — Voykarsko-Shchuch'inskiy ophiolitic belt; 7 — Auerbakhovsko-Novogodnenskiy (Maloural'skiy) volcano-plutonic belt; 8–9 — fault zones: 8 — longitudinal regional fault zones: a) Main Uralian deep fault (1), West-Uralian Main fault (2), b) other faults; 9 — transversal deep fault zones: Sebeta-Shchuch'inskaya (I), Gnet'yu-Nemuryuganskaya (II), Longotsko-Bad'yashorskaya (III), Khanmeyskaya (IV), Tyshorskaya (V); 10 — ore and placer clusters: Sibileyskiy (I), Yun'yaginskiy (II), Toupugol-Khanmeyshorskiy (III), Lekyntal'beyskiy (IV), Manitan'yrdskiy (V), Manyukuyuskiy (VI), Kharamatalouskiy (VII); 11 — gold deposits (a) and occurrences (b); 12 — gold placers; 13–14 — railways: functioning (13) and ones under construction and projecting (14)

Поскольку золотопорфировый тип был обособлен сравнительно недавно в составе довольно многочисленного и разнообразного порфирового семейства, включающего месторождения Cu, Mo, W, Sn [5, 17, 36], принципы его выделения и правомерность рассмотрения в качестве самостоятельного дискутируются в литературе.

Ряд территорий Полярного Урала в течение последних лет охвачен геолого-съемочными работами (ГДП-200), в рамках которых проводятся геохимические и изотопно-геохимические исследования интрузивных и стратифицированных комплексов [8, 13, 26, 27], включая потенциально рудоносные. В связи с этим уточнение геологической позиции золотого оруденения территории в целях прогнозирования новых металлогенических площадей и оценки выявленных проявлений является особенно актуальным.

Методика

Геологическое строение, состав вмещающих пород и околорудных метасоматитов, морфология минерализованных зон и рудных тел Петропавловского месторождения изучались авторами при документации керна разведочных скважин в 2007–2012 гг., геолого-структурном картировании полотна карьеров-расчисток (2009–2013 гг.) [4, 6, 19, 20]. В ходе исследований были детально изучены геолого-структурные особенности и морфология минерализованных зон и рудных тел. Выполнена увязка рудных пересечений по серии разрезов (по сети разведочных скважин 20 × 40 м), а также детально исследованного самого крупного карьера-расчистки Т-309 (100 × 60 м), вскрывшего наиболее богатую золоторудную минерализацию в северной части месторождения (расчистки Т-308 и Т-310 документировались и опробова-

лись фрагментами). Увязка разрезов позволила составить план поверхности, погоризонтные планы и продольный разрез месторождения масштаба 1:2000 с распределением концентраций золота. В работе учтены лабораторные анализы (петрографический, минераграфический, петрогеохимический, изотопный, микрорентгеноспектральный) для месторождений Петропавловское и Новогоднее-Монто, а также пород района, проводимые вплоть до настоящего времени. Геологические исследования выполнены в основном сотрудниками ЦНИГРИ, а лабораторно-аналитические исследования — в ЦНИГРИ, ИМГРЭ и ИГЕМ РАН.

Позиция рудного поля

Изученная часть Малоуральского ВПП в среднем палеозое (O_3-C_1) представляла собой островную дугу, сформировавшуюся на гетерогенном основании [27, 32]. Северная и западная части Войкарской зоны представлены офиолитовыми габбро-гипербазитовыми массивами — Войкар-Сыньинским и Рай-Из, которые с юга и востока окаймлены полосой габбро-амфиболитов. Восточнее расположены ордовикско-девонские островодужные plutонические и осадочно-вулканогенные комплексы, объединенные в Малоуральскую подзону (рис. 1). В пределах этой подзоны (восточнее габбро-амфиболитов) выходят на поверхность вулканогенные толщи позднеордовикско-среднедевонского возраста с подчиненными, обычно маломощными прослоями осадочных пород, прорванные ассоциирующими с ними интрузиями широкого спектра составов — от габбро до гранитоидов [7, 15]. Эти вулканогенные образования относят к палеозойской островодужной системе Полярного Урала. В эйфеле и вплоть до пермской коллизии с Восточно-Европейским континентом надсубдукционная система Полярного Урала развивалась, скорее всего, как зрелая островная дуга [27].

Рассматриваемый рудный район сложен вулканогенно-осадочными сериями, которые служат кровлей среднепалеозойского многофазного габбро-кварцеводиорит-тоналитового батолитоподобного плутона, относимого к собскому комплексу, и локализованы в области пересечения долгоживущих региональных тектонических зон [11, 12, 21, 31].

Новогодненское рудное поле приурочено к контакту вулканотерригенной тоупугольской толщи (S_2-D_1) базальт-андезибазальтовой формации и диоритоидов собского комплекса (D_{1-2}). В рудном поле известны два близкорасположенных месторождения — крупное золоторудное Петропавловское (~ 26 т Au) и среднее Au-Fe Новогоднее-Монто, связываемые с магматическими телами собского и конгорского комплексов соответственно [19, 37]. Рудное поле ($S \sim 8 \text{ км}^2$) представляет собой локальное вулканотектоническое поднятие, к востоку переходящее в асимметричную вулканотектоническую депрессию, и локализовано в области пересечения зон разрывов субмеридионального, северо-западного и северо-восточного простираний, которые ограничивают рудное поле (рис. 2). Этими же системами нарушений контролируется позиция золоторудных месторождений Петропавловское и Новогоднее-Монто, а также нескольких рудопроявлений (Западное, Караченцева, Карьерное).

U—Pb-возраст цирконов из диоритов месторождения Петропавловское — (410 ± 2) млн лет [26], что близко

соответствует полученной [33] Rb/Sr-датировке для собского комплекса в районе месторождения — (400 ± 10) млн лет (D_{1ems}). Там же опубликованы изотопные Rb/Sr-возраста для поздних даек монцодиоритовых порфиров конгорского комплекса (382 ± 10) млн лет, D_{3fr} и рудного кварц-кальцит-серицит-хлоритового метасоматита (360 ± 1) млн лет, D_{3fm} . U—Pb-возраст цирконов из послерудных габбро-долеритов и лампрофиров месторождения Новогоднее-Монто — (256 ± 5) млн лет и (248 ± 7) млн лет соответственно [26].

Геологическое строение месторождения

Вмещающие вулканические серии формировались в островодужном режиме в два вулканических импульса. С первым связано накопление отложений базальт-андезибазальтовой формации и ассоциирующих с ними рудовмещающих вулканогенно-терригенно-карбонатных отложений тоупугольской толщи (S_2-D_{1tp}), со вторым — образование базальт-андезитовой и трахибазальт-андезитовой формаций тоупугольегартской толщи (D_{1-2tg}). Эти породы прорваны интрузивами собского комплекса (D_{1-2s}), образующими крупные многофазные плутоны с серией поздних даек «пестрого» состава. Геологическая позиция Петропавловского месторождения определяется его локализацией в зоне контакта одного из таких массивов с вмещающими дислоцированными породами тоупугольской толщи (рис. 3). Тектоническая зона субмеридионального простирания контролирует размещение апофиз основного массива, сложенных порфировидными диоритами, а также маломощных плитообразных даек кварцевых диоритовых порфиров поздней фазы собского комплекса. К этой субмеридиональной зоне приурочены крупные поля гидротермально измененных пород, в основном вмещающих золотую минерализацию месторождения.

Первая фаза внедрения собского габбро-кварцеводиорит-тоналитового комплекса представлена крупным массивом габбро, выходящим на дневную поверхность в южной части Тоупугол-Ханмейшорского рудного узла.

Интрузивные образования на месторождении представлены преимущественно породами второй (главной) фазы внедрения собского комплекса: мелко-, среднезернистыми диоритами и их кварцсодержащими и кварцевыми разновидностями, порфировидными в краевых частях интрузивов. В подчиненном количестве присутствуют габбро-диориты и тоналиты. По содержанию кварца интрузивные породы подразделяются на габбро-диориты, диориты (до 5–6 % кварца), кварцсодержащие диориты (6–10 %) и кварцевые диорит-гранодиориты (от 10 до 20 % кварца) [21, 30]. Восточная часть этого массива характеризуется широким развитием порфировидных пород, образующих отдельные дайкообразные апофизы субмеридионального простирания и Ю-ЮВ-склонения ($65-80^\circ$) в центральной части месторождения. Их мощность составляет 10–60 м, протяженность — до 300 м (рис. 4).

Поздняя, третья фаза внедрения собского комплекса представлена дайковыми телами диоритовых и кварцевых диоритовых порфиров. Они сгущаются в приконтактной зоне Собского массива, прорывая как интрузивные образования второй фазы внедрения собского комплекса, так и отложения вулканогенно-осадочной толщи. Дайковые тела имеют субмеридиональную ориентировку, крутое ($70-80^\circ$) Ю-ЮВ-падение. Мощность

Рис. 2. Геологическая карта Новогодненского рудного поля и геологический разрез по линии I–II (составлено с использованием данных А. Г. Волчкова и др. (ЦНИГРИ), ОАО «Ямалзолото», 2008). **Условные обозначения:** 1–3 — стратифицированные образования: 1 — тоупугольгартская толща ($D_{1-2}tg$): известняки, алевролиты, аргиллиты, песчаники; 2, 3 — тоупугольская толща (S_2-D_1tp): 2 — вулканогенно-осадочные и вулканические породы андезибазальтового состава (а), известняки мраморизованные (б), 3 — андезибазальты (на разрезе); 4–7 — интрузивные образования: 4 — малоханмейский габбро-долеритовый комплекс (D_3-Tm): дайки микрогаббро; 5, 6 — конгорский габбро-монзонитовый комплекс (D_3-C_k): 5 — монзонидиориты, 6 — микрогаббро; 7 — собский габбро-диорит-плагиигранодиоритовый комплекс ($D_{1-2}s$): а) 3-я фаза внедрения: кварцевые диоритовые порфиры, плагиигранит-порфиры, б) 2-я фаза внедрения: габбро-диориты, кварцевые диориты порфировидные; 8 — разрывные нарушения: а) главные, б) второстепенные; 9 — направления падения сместителей разрывных нарушений; 10 — относительные смещения по разрывным нарушениям: а) вертикальные, б) горизонтальные; 11–13 — рудно-метасоматические образования: 11 — скарны эпидот-гранат-пироксеновые с золото-сульфидно-магнетитовой минерализацией (проекция на поверхность); 12 — эпидот-гранат-пироксеновые скарны (на разрезе); 13 — магнетитовые тела (на разрезе); 14 — штокверкоподобные золоторудные зоны: а) месторождения Петропавловское и Новогоднее-Монто, б) северного и южного флангов Петропавловского месторождения (прогнозируемые); 15 — основные линейные золоторудные жильные-прожилковые зоны жильного типа (в том числе прогнозируемые); 16 — зоны золотосульфидной минерализации; 17 — контур Новогодненского рудного поля; 18 — буровые скважины: а) на плане, б) на разрезе; 19 — линия разреза; 20 — контур рис. 3

Fig. 2. Geological map of the Novogodnenskoe ore field and geological cross-section along line I–II (compiled using A.G. Volchkov's et al. data (CRIGP, Yamalzoloto, 2008). **Legend:** 1–3 — stratified series: 1 — toupugolegartskaia series ($D_{1-2}tg$): 1 — siltstone, argillite, sandstone, limestone; 2, 3 — toupugol'skaia series (S_2-D_1tp): 2 — volcano-sedimentary and volcanic rocks of andesibasalt composition (a), marbled limestone (b), 3 — andesibasalt (on the cross-section); 4–7 — intrusive complexes: 4 — microgabbro dykes of the Malokhanmeyskiy gabbro-dolerite complex (D_3-Tm); 5, 6 — Kongorskiy gabbro-monzonite-porphyrite complex (D_3-C_k): 5 — monzonite-diorite, 6 — microgabbro; 7 — Sobskiy gabbrodiorite-plagiogranitediorite complex ($D_{1-2}s$): a) third phase: quartz diorite, plagiogranite-porphyr, b) second phase: gabbrodiorite, quartz diorite porphyry; 8 — faults: a) main, b) minor; 9 — fault direction; 10 — relative displacement along fault: a) vertical, b) horizontal; 11–13 — skarn-related alteration: 11 — epidote-garnet-pyroxene skarn with gold-sulphide-magnetite mineralization (projection on the surface); 12 — epidote-garnet-pyroxene skarn (on the cross-section); 13 — magnetite ore-body (on the cross-section); 14 — stockwork gold-bearing zones: a) Petropavlovskoe and Novogodnee-Monto deposits, b) gold zones on the northern and southern flanks of the Petropavlovskoe deposit (forecasted); 15 — main linear gold-vein zones (including forecasted ones); 16 — gold-sulphide zones; 17 — contour of the Novogodnenskoe ore field; 18 — drilling holes: a) on the map, b) on the cross-section; 19 — cross-section line; 20 — contour of fig. 3

тел достигает первых десятков метров, протяженность — до 150 м (рис. 4). В центральной части месторождения порфириды формируют пояс дайковых тел субмеридионального простирания с суммарной мощностью отдельных даек до 200 м. Дайки порфиридов третьей фазы внедрения собского комплекса установлены впервые работами ЦНИГРИ (Волчков и др., 2008ф) [19]. Тела порфировых диоритов являются важнейшим рудоконтролирующим элементом Петропавловского золоторудного месторождения.

Рудовмещающая тоупугольская толща представлена переслаивающимися интенсивно дислоцированными вулканогенно-осадочными породами алевропелитовой, песчанистой и гравийной размерности. По данным бурения, мощность толщи составляет более 400 м. Для центральной части месторождения характерно крутое ($50-60^\circ$) падение пород на восток, для северной — моноклиальное залегание с Ю-ЮВ-падением. Рудовмещающая толща месторождения, прорванная дайковыми телами порфировидных диоритов и кварцевых диоритовых пор-

Рис. 3. Геолого-структурная схема центральной части Петропавловского золоторудного месторождения с распределением концентраций золота (с использованием данных опробования ОАО «Ямалзолото»). **Условные обозначения:** 1, 2 — стратифицированные образования: 1 — четвертичные отложения, 2 — вулканогенно-осадочные и вулканогенные породы андезибазальтового состава тоупугольской толщи (S_2-D_1tp); 3–6 — интрузивные образования: 3 — дайки микрогаббро-малоханмейского габбро-долеритового комплекса (D_3-Tm); 4–6 — собский габбро-диорит-плагиогранодиоритовый комплекс (D_{1-2s}): 4 — 3-я фаза внедрения: кварцевые диоритовые порфириты; 5, 6 — 2-я фаза внедрения: 5 — кварцевые диориты порфирировидные, 6 — диориты мелко-, среднезернистые; 7–9 — золоторудная минерализация: 7 — минерализованные зоны, 8 — рудные тела, 9 — «стержневые» зоны наиболее высоких концентраций золота; 10 — разрывные нарушения; 11 — контур карьера-расчистки Т-309: а) на плане, б) на разрезе; 12 — скважины колонкового бурения: а) на плане, б) на разрезе

Fig. 3. Geological and structural scheme with gold content distribution for the central part of the Petropavlovskoe gold deposit (using data of sampling of Yamalzoloto). **Legend:** 1, 2 — stratified series: 1 — quaternary sediments, 2 — volcano-sedimentary and volcanic rocks of andesibasalt composition of Toupuogol'skaya series (S_2-D_1tp); 3–6 — intrusive bodies: 3 — microgabbro dykes of the malokhanmeyskiy gabbro-dolerite complex (D_3-Tm); 4–6 — sobskiy gabbro-diorite-plagiogranite-diorite complex (D_{1-2s}): 4 — quartz diorite of the third phase; 5, 6 — second phase: 5 — quartz diorite porphyry, 6 — fine- and medium-grained diorite; 7–9 — gold mineralization: 7 — gold-bearing zones, 8 — ore bodies, 9 — «core» zones of the highest gold contents; 10 — faults; 11 — contour of the quarry-stripping T-309: a) on the plan, b) on the cross-section; 12 — drilling holes: a) on the plan, b) on the cross-section

фиритов, отличается интенсивной разрывной тектоникой, фиксирующейся в керне скважин и полотно расчисток. Толща вмещает многочисленные кулисообразно построенные зоны рассланцевания и трещиноватости, контролирующие положение золоторудной минерализации.

Околорудные гидротермально-метасоматические изменения пород на месторождении проявлены в следующей последовательности: 1) ранняя (эпидот)-карбонат-хлоритовая стадия; 2) главная продуктивная пирит-(хлорит)-альбитовая; 3) поздняя продуктивная пирит-серицит-кварцевая.

Наиболее ранние (эпидот)-карбонат-хлоритовые преобразования (пропилиты) распространены практически повсеместно и образуют зоны суммарной мощностью до 300 м и более, протяженностью более 800 м. Изменения прослежены на глубине свыше 300 м, где в некоторых случаях наблюдается переход пропилитов в эпидозиты и магнетит-гранатовые скарны. Пропилитизации подверглись в основном породы вулканогенно-осадочной толщи, в меньшей степени изменены гранитоиды собского комплекса. При низком содержании сульфидов

(менее 1 %) концентрации золота в пропилитах редко превышают 0.1 г/т. Преобразования этого типа формируют внешний околорудный ореол месторождения.

Определяющие золотоносность руд месторождения *пирит-(хлорит)-альбитовые* метасоматиты главной продуктивной стадии образуют разобщенные тела неправильной формы, развитые в основном в вулканогенно-осадочной толще, и тяготеют к контактам даек порфировых диоритов [21]. Метасоматиты образуют мощную (до 150 м в центральной и 200 м в северной части месторождения) протяженную (650–700 м) зону сложной морфологии. В их составе преобладают новообразованный альбит (от первых десятков до 50–70, изредка до 90–95 %), хлорит (до 15–20 %) и пирит (5–10 % и более). Интервалы с повышенными содержаниями золота приурочены к зонам существенно альбитового метасоматоза (55 % новообразованного альбита и более), сопровождающегося интенсивной сульфидизацией (10–15 %, до 40–45 %). Руды пирит-альбитового состава нередко имеют массивный облик, свойственный колчеданным рудам.

Пирит-серицит-кварцевые метасоматиты являются наиболее поздними продуктивными гидротермаль-

Рис. 4. Геологический разрез с распределением концентраций золота по линии А–Б. Условные обозначения см. на рис. 3

Fig. 4. Geological cross-section with gold content distribution (line A–B). The legend see on fig. 3

Рис. 5. Золотомалосульфидно-кварцевые руды (фото шлифов). Условные обозначения: а) золото в кварцевом прожилке в пирите, б) золото в галенистовом прожилке в пирите, в) сросток петцита, теллуrowисмутита и алтаита в кварце

Fig. 5. Gold-low sulphide-quartz ores (photo of polished sections). **Legend:** a) gold in quartz veinlet cross-cutting pyrite, b) gold in galena veinlet into pyrite, c) intergrowth of petzite, tellurobismuthite and altaite in quartz

но-метасоматическими образованиями, формирующими золотоносные жилы и жильно-прожилковые зоны месторождения. Эти метасоматиты включают субмеридиональные линейные тела жильно-прожилковой минерализации с наиболее высокими содержаниями золота, накладываясь как на пирит-альбитовые изменения, так и на пропилиты. Мощность тел варьирует, как правило, от десятков сантиметров до 3–5 и более метров, протяженность достигает десятков метров [19].

Типы руд Петропавловского месторождения

С областями развития описанных березитоподобных метасоматических изменений сопряжены рудные тела. По минералого-геохимическим характеристикам и структурно-морфологическим особенностям на месторождении выделяются два типа руд: 1) прожилково-вкрапленные золотосульфидные руды в пирит-альбитовых метасоматитах; 2) жильно-прожилковые золотомалосульфидно-кварцевые

руды в пирит-серцит-кварцевых метасоматитах. По объему второй тип значительно уступает первому.

Главным рудным минералом золотосульфидных руд является пирит. Его содержание в рудных интервалах варьирует от 3–5 до 15–20 % и более. Пирит представлен рассеянной вкрапленностью, просечками, гнездами и маломощными прожилками. Содержания золота в прожилково-вкрапленном пирите составляют в среднем 25–30 г/т. Помимо пирита присутствуют халькопирит, пирротин и — в основном в виде микровключений в пирите — самородное золото. Спорадически, чаще на глубоких горизонтах, встречается магнетит. Среднее содержание золота в золотосульфидных рудах обычно не превышает 1.5–2 г/т.

Золотомалосульфидно-кварцевые руды слагают секущие крутопадающие зоны малосульфидных кварцевых жил и прожилков, которые при интерполяции рудных подсечений оконтурены в виде линзовидных рудных

Рис. 6. Геолого-структурная схема карьера-расчистки Т-309 с распределением концентраций золота (с использованием данных опробования ОАО «Ямалзолото»). **Условные обозначения:** 1 — вулканогенно-осадочные и вулканические породы андезибазальтового состава тоупугольской толщи (S_2-D_1tp); 2–5 — интрузивные образования: 2 — дайки микрогаббро-малокханмейского габбро-долеритового комплекса (D_3-Tm); 3–5 — собский габбро-диорит-плагиогранодиоритовый комплекс ($D_{1-2}s$): 3 — 3-я фаза внедрения: кварцевые диоритовые порфиры; 4, 5 — 2-я фаза внедрения: 4 — кварцевые диориты порфировидные, 5 — диориты мелко-, среднерельефные; 6 — разрывные нарушения: а) основные, б) второстепенные; 7 — линии профилей детальной документации (а) и скважины колонкового бурения (б); 8 — золоторудная минерализация: а) минерализованные зоны, б) рудные тела, в) «стержневые» зоны наиболее высоких концентраций золота

Fig. 6. Geological and structural scheme with gold content distribution for the quarry-stripping T-309 (using data of sampling of Yamalzoloto). **Legend:** 1 — volcano-sedimentary and volcanic rocks of andesibasalt composition of Touputol'skaya series (S_2-D_1tp); 2–5 — intrusive bodies: 2 — microgabbro dykes of the malokhanmeyskiy gabbro-dolerite complex (D_3-Tm); 3–5 — sobskiy gabbro-diorite-plagiogranite-diorite complex ($D_{1-2}s$): 3 — quartz diorite of the third phase; 4–5 — second phase: 4 — quartz diorite porphyry, 5 — fine- and medium-grained diorite; 6 — faults: a) main, b) minor; 7 — lines of geological cross-sections of detailed documentation (a) and drilling holes (b); 8 — gold mineralization: a) gold-bearing zones, b) ore bodies, c) «core» zones of the highest gold contents

тел. Эти зоны вмещаются позднепродуктивными пирит-серпичит-кварцевыми метасоматитами. Количество рудных минералов в жильно-прожилковых зонах не превышает 1–1.5 %. Основным рудным минералом является пирит, в подчиненном количестве присутствуют галенит и халькопирит, реже в виде микронных и субмикронных выделений встречаются гессит, самородное золото, теллуросмугит, алтаит, Au-Ag-теллуриды — петцит, в единичных зернах — силванит и калаверит [3] (рис. 5). Жильно-прожилковые образования, накладываясь на более ранние продуктивные изменения, характеризуются высокими (5–10 г/т) средними содержаниями золота, образуя зоны наиболее богатых руд.

Строение золоторудных минерализованных зон

В результате документации расчисток и скважин, увязки рудных интервалов поверхности и на погориз-

зонтных планах, в поперечных и продольном сечениях, с учетом проведенных минералого-геохимических исследований удалось выявить основные закономерности морфологии и строения минерализованных зон и рудных тел месторождения [20]. Установлено, что золоторудная минерализация локализуется в экзо-, эндоконтактовой области штокообразного выступа массива диоритов собского комплекса, над его апикальной частью и над участками пологого погружения его кровли, осложненной серией субмеридиональных и субширотных гребневидных выступов, сопровождающихся флексуобразными приразломными складками во вмещающей толще. Минерализованные зоны и рудные тела месторождения пространственно ассоциируют с поясами дайкообразных тел порфировидных диоритов и кварцевых диоритовых порфиров (рис. 6).

В центральной части месторождения главная минерализованная зона имеет линзовидную в попереч-

ном разрезе форму и представляет собой серию слившихся кулис. Зона прослежена по простиранию в субмеридиональном направлении на расстояние более 650 м. Мощность зоны — от первых десятков метров до 150–200 м, зона имеет крутое падение (60–70°) в восточных румбах. По результатам построения продольного разреза месторождения установлено, что минерализованная зона характеризуется сложным линейно-концентрическим штокверкоподобным строением, выходит на поверхность в северной части месторождения и относительно полого (~ 45°) погружается в южном направлении. Существенная часть рудной минерализации приурочена к вулканогенно-осадочной толще и к пространству между пластинообразными телами порфировидных диоритов и кварцевых диоритовых порфиринов, широко захватывая эндоконтактовые части этих тел на глубину первых десятков метров.

Рудные тела представлены крупнообъемными линзообразными и линейными штокверкоподобными морфоструктурами. Они тяготеют к экзоконтактовым частям дайкообразных тел порфировидных диоритов и кварцевых диоритовых порфиринов. Мощность рудных тел достигает первых десятков метров, протяженность по падению — от первых десятков до первых сотен метров. Падение рудных залежей в целом аналогично падению контактов интрузивных тел и составляет 50–70° на восток. Установлено, что разобщенные рудные тела в центральной части месторождения образуют субизометричное «ядро» суммарной мощностью до 100 м и длиной по падению 130 м и более.

Маломощные «стержневые» зоны с наиболее высокими содержаниями золота (> 5 г/т) в пределах рудных тел локализуются главным образом в лежащем боку последних. Мощность этих линейных субмеридиональных зон составляет 1–2, реже 3–5 м, протяженность — от первых метров до первых десятков метров. Интервалы высоких концентраций золота сопряжены с зонами развития наложенной золотомасульфидно-кварцевой жильно-прожилковой минерализации в пирит-серицит-кварцевых метасоматитах.

Главная минерализованная зона имеет мощность 40–140 м и прослежена по простиранию в субмеридиональном направлении более чем на 650 м, а по глубине — до 320 м и более. Рудные тела имеют мощность от 10 до 60 м, протяженность отдельных тел составляет 60–160 м (центральное «ядро» — до 350–400 м), по падению они прослеживаются на 80–120 м и более. Часто образуют серию сближенных продольных кулис, конформных минерализованной зоне. Средние содержания Au в рудных телах составляют 1.9–2.4 г/т.

По данным ИМГРЭ [21, 29] контур месторождения отвечает ореолу крупной комплексной аномалии Au (2–300 мг/т) и его элементов-спутников — Cu (50–100 мг/т), Mo (1500–4000 мг/т), Ag (60–1000 мг/т), Hg (40–97 мг/т), а также В, Pb, W, Ba и других элементов. Аномальные концентрации Au образуют крупный ореол в осевой части данной комплексной аномалии и серию мелких сателлитных ореолов и точечных аномалий на его флангах и периферии. Основными элементами-спутниками золота в первичных ореолах и рудах являются Ag, W, Mo, Cu, Zn, Pb, Ti, Y, Sn, Zr. Элементы выноса и перераспределения представлены Ni, Cr, Sr, V, Sc [25, 29]. Золото характеризуется высокой положительной корреляцией не только с серебром, но и с вольфрамом [29].

Обсуждение результатов исследований

В Тоупугол-Ханмейшорском рудном районе может быть реконструировано три этапа рудообразования. Первый этап характеризовался образованием железных руд и золотоносных колчеданов [29]. На втором этапе происходило преобразование части оруденения первого этапа, формирование скарнов и сульфидно-магнетитовых залежей с промышленным содержанием золота, а также образовались золотопорфировые крупнообъемные штокверки, связанные с заключительной фазой формирования диоритов собского комплекса. На третьем этапе в результате гидротермально-метасоматических преобразований формировались наложенные секущие зоны прожилково-вкрапленного золотосульфидно-кварцевого оруденения.

Минерализованные зоны Петропавловского месторождения представляют собой крупнообъемные линейно-штокверкоподобные тела прожилково-вкрапленных руд. В осевых частях последних локализуются стержневые линейные жильно-прожилковые рудные тела. На флангах штокверка, вне центральной части месторождения, установлена жильная золото-полиметалльно-кварцевая минерализация. Руды месторождения могут быть отнесены к золото-кварц-сульфидному рудно-формационному (геолого-промышленному) типу.

Для месторождения устанавливается ряд элементов, характерных для объектов «порфирового» типа [1, 5, 16, 17, 35, 36]:

- пространственная ассоциация рудных тел с порфировыми диоритами собского комплекса поздней фазы внедрения;
- штокверковый характер минерализации;
- наличие рудно-метасоматической зональности с телескопированием ранних относительно высокотемпературных карбонат-хлоритовых и пирит-альбитовых метасоматитов и наложенных кварц-серицитовых метасоматитов;
- объемный характер картины распределения рудных концентраций.

Изотопно-геохимические исследования рудно-магматической системы месторождения, выполненные С. Г. Кряжевым (ЦНИГРИ), показали, что рудоотложение происходило из существенно магматического флюида, на что указывает резкий пик изотопного состава серы пирита в области метеоритного стандарта (~ 85 % всех анализов — в интервале $\delta^{34}\text{S}$ от –3 до +1 ‰), на фоне снижения температуры от 300–400 °C — золотосульфидные, до 150 °C — золотосульфидно-кварцевые руды (Волчков и др., 2008ф) [37].

В качестве объектов-аналогов Петропавловского месторождения могут рассматриваться месторождения золотопорфирового типа. По классификации золоторудных месторождений ЦНИГРИ такие объекты относятся к золотопорфировой субформации золотосульфидно-кварцевой формации [1]. Крупнообъемные месторождения золотопорфирового типа, характеризующиеся невысокими содержаниями золота, в последнее время стали объектом промышленной эксплуатации как за рубежом, так и в России. Месторождения данного типа представлены золотоносными штокверками в гранитоидных штоках (Васильковское в Сев. Казахстане, Форт-Нокс в США), жилами и линейными зонами прожилкования в апикальных зонах гранитоидных штоков (Юбилейное в Зап. Казахстане, Школьное в Магаданской обл.), а так-

же в надвпрызливной зоне (Бревери Крик в Канаде, Пого и РайанЛод в США) [17, 28] и в штоках диоритовидов (глубокие горизонты Березняковского месторождения, Челябинская обл.).

Выводы

Петропавловское месторождение является примером крупнообъемного промышленного объекта с невысокими средними содержаниями золота, отнесенного к не имеющему аналога на Полярном Урале золотопорфировому типу. Правомерность такого отнесения доказывают:

- приуроченность района к структурам девонской островной дуги;
- позиция месторождения в кровле крупного батолитоподобного многофазного (с преобладаем диоритов) плутона;
- пространственная ассоциация рудных тел с порфировыми субвулканическими диоритами;
- штокверкоподобная позиция золоторудной минерализации;
- объемный характер рудно-метасоматической зональности и распределения рудных компонентов;
- приуроченность интервалов с повышенными содержаниями золота к зонам существенно альбитового метасоматоза (новообразованного альбита 70 % и более), сопровождающегося интенсивной пиритизацией;
- Au-Te-W-Mo-Cu-Hg-металлогеническая специализация оруденения.

Установленные морфологические и параметрические характеристики выявленных минерализованных зон и рудных тел Петропавловского месторождения могут быть использованы при оценке новых золоторудных объектов со сходными геолого-структурными условиями локализации и типами руд.

Авторы благодарны руководству и сотрудникам ОАО «Ямалзолото» за содействие в проведении полевых работ: А. Г. Волчкову, С. Г. Кряжеву, М. М. Гирфанову, А. П. Трофимову, В. А. Душину — за помощь и полезное обсуждение; Е. Э. Тюковой, Ю. Н. Ивановой, И. Д. Соболеву — за участие в обработке каменных и аналитических материалов. Исследования проводились при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 14-17-00693).

Литература

1. Беневолюский Б. И., Блинова Е. В., Бражник А. В. и др. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов: Золото. М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2002. 182 с.
2. Беневолюский Б. И., Волчков А. Г., Процкий А. Г. Перспективы создания рудной сырьевой базы золотодобывающей промышленности в Полярноуральском регионе // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2004. № 2. С. 10–15.
3. Викентьев И. В., Абрамова В. Д., Иванова Ю. Н. и др. Микропримеси в пирите золотопорфирового месторождения Петропавловское (Полярный Урал) по данным LA-ICP-MS // ДАН. 2016. Т. 470. № 3. С. 326–330.
4. Викентьев И. В., Мансуров Р. Х., Трофимов А. П. Золотосульфидное оруденение Полярного Урала: условия образования и связь с гранитоидным магматизмом // Гранитоиды: условия формирования и рудоносность: Тез. конф. Киев: Ин-т геохимии, минералогии и рудообразования НАНУ, 2013. С. 33–35.
5. Гирфанов М. М. Особенности рудно-метасоматической зональности как критерий масштабности медно-порфирового оруденения // Труды ЦНИГРИ. 1989. Вып. 230. С. 39–43.
6. Гирфанов М. М., Андреев А. В., Зеликсон Б. С., Мансуров Р. Х. Перспективы развития минерально-сырьевой базы золота Полярного Урала (ЯНАО) // Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений — достижения и перспективы: Мат. науч.-практ. конф. М.: ЦНИГРИ, 2008. С. 55–56.
7. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (3-е покол.). Серия Уральская. Лист Q-41 — Воркута. Объясн. зап. СПб.: Карт. фабр. ВСЕГЕИ, 2007. 541 с.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (3-е покол.). Серия Зап.-Сибирская. Лист Q-42 — Салехард. Объясн. зап. СПб.: Карт. фабр. ВСЕГЕИ, 2014. 396 с.
9. Грабежьев А. И., Краснобаев А. А. U-Pb-возраст и изотопно-геохимическая характеристика Томинско-Березняковского рудного поля (Южный Урал) // Литосфера. 2009. № 2. С. 14–27.
10. Грабежьев А. И. Юбилейное Cu-Au-порфировое месторождение (Южный Урал, Россия): Shrimp-ii и Pb-возраст циркона и изотопно-геохимические особенности рудоносных гранитоидов // Доклады академии наук. 2014. Т. 454. № 3. С. 315.
11. Диденко А. Н., Куренков С. А., Руженцев С. В. Тектоническая история Полярного Урала. М.: Наука, 2001. 191 с.
12. Душин В. А. Магматизм и геодинамика палеоконтинентального сектора севера Урала. М.: Недра, 1997. 213 с.
13. Душин В. А., Малюгин А. А., Козьмин В. С. и др. Некоторые особенности размещения благороднометалльного оруденения в пределах Уральского Севера // Известия вузов. Горный журнал. 2013. № 8. С. 34–41.
14. Золоев К. К. Современное состояние металлогении подвижных поясов: механизм формирования, особенности рудообразования // Геология и металлогения Урала: Мат. научн. конф. Екатеринбург: ОАО УГСЭ, 1998. С. 61–68.
15. Кениг В. В., Бутаков К. В. Месторождения рудного золота Новогоднее-Монто и Петропавловское — новый золоторудный район на Полярном Урале // Разведка и охрана недр. 2013. № 11. С. 22–24.
16. Кривцов А. И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. М.: Недра, 1983. 256 с.
17. Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачев И. Ф. Медно-порфировые месторождения. М.: ЦНИГРИ, 2001. 232 с. (Модели месторождений благородных и цветных металлов).
18. Лючкин В. А., Толоконников А. В., Водоватов О. В. и др. Золоторудные месторождения Новогодненского рудного поля на Полярном Урале // Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона: Мат. науч. конф. Сыктывкар, 2006. С. 186–189.
19. Мансуров Р. Х. Геологическое строение Петропавловского золоторудного месторождения (Полярный Урал) // Руды и металлы. 2009. № 5. С. 70–74.
20. Мансуров Р. Х. Морфологическая модель Петропавловского золоторудного месторождения (Полярный Урал) // Вестник РУДН. Сер. Инж. исслед. 2011. № 1. С. 74–78.

21. Мансуров Р. Х. Геолого-структурные условия локализации Петропавловского золоторудного месторождения (Полярный Урал). Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М., 2013. 22 с.
22. Охотников В. Н. Геология рудных образований Полярного Урала. Л.: Наука, 1975. 175 с.
23. Плотинская О. Ю., Грознова Е. О., Коваленкер В. А. и др. Минералогия и условия образования руд Березняковского рудного поля (Южный Урал, Россия) // Геол. рудн. месторож. 2009. Т. 51. С. 414–443.
24. Сазонов В. Н., Мурзин В. В., Григорьев Н. А. Березняковское золотопорфировое месторождение (Южный Урал). Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 1994. 48 с.
25. Силаев В. И. Коренная золотоносность Полярно-уральского региона // Руды и металлы. 1998. № 5. С. 5–17.
26. Соболев И. Д., Латышев А. В., Викентьев И. В. и др. Результаты U-Pb (LA-ICP-MS)-датирования цирконов и первые палеомагнитные данные из интрузивных пород месторождений Петропавловское и Новогоднее-Монто, Полярный Урал // Металлогения древних и современных океанов – 2017: От минералогенеза к месторождениям. Миасс: ИМин УрО РАН, 2017а (в печати).
27. Соболев И. Д., Соболева А. А., Удоратина О. В. и др. Первые результаты U-Pb-датирования детритных цирконов из обломочных пород Полярноуральской палеозойской палеоостровной дуги // Бюлл. МОИП. 2017б (в печати).
28. Стороженко А. А. Юбилейное месторождение // Геология золоторудных месторождений СССР. 1984. Т. 1. С. 180–186.
29. Трофимов А. П., Фунтиков Б. В., Лючкин В. А. Прогнозно-геохимическая оценка золотоносности Новогодненской перспективной площади на Полярном Урале // Руды и металлы. 2006. № 5. С. 13–18.
30. Удоратина О. В., Кузнецов Н. Б. Собский плагиогранитоидный комплекс Полярного Урала // Бюлл. МОИП. 2007. Т. 82. Вып. 3. С. 49–59.
31. Черняев Е. В., Черняева Е. И., Седельникова А. Ю. Геология золото-скарнового месторождения Новогоднее-Монто (Полярный Урал) // Скарны, их генезис и рудоносность (Fe, Cu, Au, W, Sn, ...): Мат. науч. конф. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2005. С. 131–137.
32. Язева Р. Г., Бочкарев В. В. Войкарский вулканоплутонический пояс (Полярный Урал). Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 160 с.
33. Girfanov M., Volchikov A., Kryazhev S., Novikov V. Gold-iron oxide bearing ore-magmatic system of the Auerbach-Novogodnee volcano-plutonic belt, the Polar Urals // Abs. 33rd Intern. Geol. Congr. Oslo, 2008. P. 1.
34. Shatov V. V., Seltmann R., Moon C. J. The Yubileinoe porphyry Au(-Cu) deposit, the South Urals: Geology and alteration controls of mineralization // Eliopoulos D. G. et al. (Eds.), Mineral Exploration and Sustainable Development, Proc. 7th SGA Meeting, Athens, Greece. Rotterdam: Millpress, 2003. V. 1. P. 379–382.
35. Sillitoe R. H. Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery // Gold in 2000. SEG Reviews. 2000. V. 13. P. 315–345.
36. Sillitoe R. H. Porphyry copper systems // Econ. Geology. 2010. V. 105. P. 3–41.
37. 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 // Mineralium Deposita. 2013. V. 48. P. 603–625.

References

1. Benevol'skiy B. I., Blinova E. V., Brazhnik A. V. et al. *Metodicheskoe rukovodstvo po otsenke prognozny khresurov almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov. Vypusk «Zoloto»* (Methodological Guide for the evaluation of forecast resources of diamonds, precious and non-ferrous metals. Release of «Gold»). Moscow: FSUE TSNIGRI, 2002, 182 p.
2. Benevol'skiy B. I., Volchikov A. G., Prot'skiy A. G. *Perspektivy sozdaniya rudnoy syr'yevoy bazy zolotodobyvayushchey promyshlennosti v Polyarnoural'skom regione* (Prospects for ore resource base of gold mining in the Polar Urals). Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie, 2004, No. 2, pp. 10–15.
3. Vikentyev I. V., Abramova V. D., Ivanova Yu. N. et al. *Mikroprimesi v pirite zoloto-porfirovogo mestorozhdeniya Petropavlovskoe (Polyarnyy Ural) po dannym LA-ICP-MS* (Trace elements in pyrite of gold-porphyry deposit Petropavlovskoe (Polar Urals), according to the LA-ICP-MS). DAN, 2016, V. 470, No. 3, pp. 326–330.
4. Vikentyev I. V., Mansurov R. Kh., Trofimov A. P. *Zoloto-sul'fidnoe orudnenie Polyarnogo Urala: usloviya obrazovaniya i svyaz' s granitoidnym magmatizmom* (Gold-sulphide mineralization of the Polar Urals: formation and relationship with granitoid magmatism). Granitoids: formation and ore mineralization. Proceeding of scientific and practical conference. Kiev: Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU, 2013, pp. 33–35.
5. Girfanov M. M. *Osobennosti rudno-metasomaticheskoy zonal'nosti kak kriteriy masshtabnost imednoporfirovogo orudneniya* (Characteristics of ore-metasomatic zoning as a criterion of the measure of porphyry copper mineralization). Trudy TsNIGRI, 1989, Vyp. 230, pp. 39–43.
6. Girfanov M. M., Andreev A. V., Zelikson B. S., Mansurov R. Kh. *Perspektivy razvitiya mineral'no-syr'yevoy bazy zolota Polyarnogo Urala (YaNAO)* (Prospects of development of the mineral resource base of gold within the Polar Urals (Yamal-Nenets autonomous district)). Forecast, prospecting and evaluation of ore and non-ore deposits – achievements and prospects: Proceeding of scientific and practical conference. Moscow: FSUE TSNIGRI, 2008, pp. 55–56.
7. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii* (State geological map of Russian Federation). Scale 1:1000000 (Third gener.). The Urals series. Q-41 sheet – Vorkuta. Explanatory note. Saint-Petersburg, VSEGEI, 2007, 541 p.
8. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii* (State geological map of Russian Federation). Scale 1:1000000 (Third gener.). The Western Siberia series. Q-41 sheet – Salekhard. Explanatory note. Saint-Petersburg, VSEGEI, 2014, 396 p.
9. Grabezhev A. I., Krasnobayev A. A. *U-Pb vozrast i izotopno-geokhimicheskaya kharakteristika Tominsko-Bereznyakovskogo rudnogopolya (Yuzhnyy Ural)* (U-Pb age and isotopic-geochemical characteristics of the Tomino-Bereznyakovskoe ore field (the Southern Urals)). Litosfera, 2009, No. 2, pp. 14–27.
10. Grabezhev A. I. *Yubileynoe Cu-Au-porfirovoe mestorozhdenie (Yuzhnyy Ural, Rossiya): Shrimp-ii u Pb-vozrast tsirkona i izotopno-geokhimicheskie osobennosti rudonosnykh granitoidov* (The Yubileynoe Cu-Au-porphyry deposit (the Southern Urals, Russia): Shrimp-ii and Pb-zircon age and isotopic-geochemical features of ore-bearing granitoids). Doklady akademii nauk, 2014, V. 454, No. 3, pp. 315.

11. Didenko A. N., Kurenkov S. A., Ruzhentsev S. V. *Tektonicheskaya istoriya Polyarnogo Urala* (Tectonic history of the Polar Urals). Moscow: Nauka, 2001, 191 p.
12. Dushin V. A. *Magmatizm i geodinamika paleo-kontinental'nogo sektora severa Urala* (Magmatism and geodynamics of the paleocontinental sector of the Northern Urals). Moscow: Nedra, 1997, 213 p.
13. Dushin V. A., Malyugin A. A., Koz'min V. S. et al. *Nekotorye osobennosti razmeshcheniya blagorodnometall'nogo orudneniya v predelakh Ural'skogo Severa* (Certain features of the placement of precious metals mineralization within the Northern Urals). *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*, 2013, No. 8, pp. 34–41.
14. Zoloev K. K. *Sovremennoe sostoyanie metallogeni i podviznykh poyasov: mekhanizmy formirovaniya, osobennosti rudobrazovaniya* (The current state of metallogeny of mobile belts: formation mechanism, characteristics of mineralization). *Geology and metallogeny of the Urals: Proceeding of scientific conference*. Ekaterinburg: OAO UGSE, 1998, pp. 61–68.
15. Kenig V. V., Butakov K. V. *Mestorozhdeniya rudnogo zlota Novogodnee-Monto Petropavlovskoe — novyy zolotorudnyy rayon na Polyarnom Urale* (The Novogodnee-Monto and Petropavlovskoe gold deposits — a new gold mining region in the Polar Urals). *Razvedka i okhran anedr*, 2013, No. 11, pp. 22–24.
16. Krivtsov A. I. *Geologicheskie osnov prognozirovaniya i poiska vmedno-porfirovyykh mestorozhdeniy* (Geological bases of forecasting and exploration for porphyry copper deposits). Moscow: Nedra, 1983, 256 p.
17. Krivtsov A. I., Zvezdov V. S., Migachev I. F. *Mednoporfirovy emestorozhdeniya. Seriya: Modeli mestorozhdeniy blagorodnykh i tsvetnykh hmetallov* (Copper porphyry deposits. Series: Models of deposits of precious and non-ferrous metals). Moscow: FSUE TSNIGRI, 2001, 232 p.
18. Lyuchkin V. A., Tolokonnikov A. V., Vodovатов O. V. et al. *Zolotorudnye mestorozhdeniya Novogodnenskogo rudnogopolyana Polyarnom Urale* (Gold ore deposits of the Novogodnenskoe ore field within the Polar Urals). *Diamonds and precious metals of the Timan-Ural region: Proceeding of scientific conference*. Syktyvkar, 2006, pp. 186–189.
19. Mansurov R. Kh. *Geologicheskoe stroenie Petropavlovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Polyarnyy Ural)* (Geological structure of the Petropavlovskoe gold deposit (the Polar Urals)). *Rudy i metally*, 2009, No. 5, pp. 70–74.
20. Mansurov R. Kh. *Morfologicheskaya model' Petropavlovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Polyarnyy Ural)* (Morphological model of the Petropavlovskoe gold deposit (the Polar Urals)). *Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernye issledovaniya*, 2011, No. 1, pp. 74–78.
21. Mansurov R. Kh. *Geologo-strukturnye usloviya lokalizatsii Petropavlovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Polyarnyy Ural)* (Geological and structural features of localization of the Petropavlovskoe gold deposit (the Polar Urals)). PhD thesis. Moscow, 2013, 22 p.
22. Okhotnikov V. N. *Geologiya rudnykh obrazovaniy Polyarnogo Urala* (Geology of ore formations of the Polar Urals). Leningrad: Nauka, 1975, 175 p.
23. Plotinskaya O. Yu., Groznova E. O., Kovalenker V. A. et al. *Mineralogiya i usloviya obrazovaniya rud Bereznyakovskogo rudnogo polya (Yuzhnyy Ural, Rossiya)* (Mineralogy and formation of ores of the Bereznyakovskoe ore field (Southern Urals, Russia)). *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2009, V. 51, pp. 414–443.
24. Sazonov V. N., Murzin V. V., Grigor'yev N. A. *Bereznyakovskoe zolotoporfirovoe mestorozhdenie (Yuzhnyy Ural)* (The Bereznyakovskoe gold-porphyry deposit (the South Urals)). Ekaterinburg, IGIGUrO RAN, 1994, 48 p.
25. Silaev V. I. *Korennaya zolotonosnost' Polyarnoural'skogo regiona* (Gold ore mineralization of the Polar Urals). *Rudy i metally*, 1998, No. 5, pp. 5–17.
26. Sobolev I. D., Latyshev A. V., Vikent'yev I. V. et al. *Rezultaty U-Pb (LA-ICP-MS) datirovaniya tsirkonov I pervye paleomagnitnye dannye iz intruzivnykh porod mestorozhdeniy Petropavlovskoe I Novogodnee-Monto, Polyarnyy Ural* (Results of U-Pb (LA-ICP-MS) dating of zircon and the first paleomagnetic data from intrusive rocks of the Petropavlovskoe and Novogodnee-Monto deposits, the Polar Urals). *Metallogeny of ancient and present oceans-2017: From mineralogenesis to deposits*. Miass, I Min UrO RAN, 2017a (in press).
27. Sobolev I. D., Soboleva A. A., Udoratina O. V. et al. *Pervyerezultaty U-Pb datirovaniya detritnykh tsirkonov iz oblomochnykh porod Polyarnoural'skoy paleozoyskoy paleostrovnoy dugi* (The first results of U-Pb dating of detrital zircons from the clastic rocks of the Paleozoic Polar Urals' paleoisland arc). *Byull. MOIP*, 2017 b (in press).
28. Storozhenko A. A. *Yubileynoe mestorozhdenie* (Yubileynoe ore deposit). *Geologiya zolotorudnykh mestorozhdeniy SSSR*. 1984, V. 1, pp. 180–186.
29. Trofimov A. P., Funtikov B. V., Lyuchkin V. A. *Prognozno-geokhimicheskaya otsenka zolotonosnosti Novogodnenskoy perspektivnoy ploshchadi na Polyarnom Urale* (Forecast-geochemical assessment of gold potential of the Novogodnenskaya prospective area in the Polar Urals). *Rudy i metally*, 2006, No. 5, pp. 13–18.
30. Udoratina O. V., Kuznetsov N. B. *Sobskiy plagiogranitoidnyy kompleks Polyarnogo Urala* (Sobsky plagiogranitoid complex of the Polar Urals). *Byulleten' moskovskogo obshchestva ispytateley prirody*, 2007, V. 82, Vyp. 3, pp. 49–59.
31. Chernyaev E. V., Chernyaeva E. I., Sedel'nikova A. Yu. *Geologiya zloto-skarnovogo mestorozhdeniya Novogodnee-Monto (Polyarnyy Ural)* (Geology of the Novogodnee-Monto gold-skarn deposit). The skarns, their genesis and ore mineralization (Fe, Cu, Au, W, Sn, ...): *Proceeding of scientific conference*. Ekaterinburg: IGIG UrO RAN, 2005, pp. 131–137.
32. Yazeva R. G., Bochkarev V. V. *Voykarskiy vulkano-plutonicheskii poyas (Polyarnyy Ural)* (Voykarsky volcano-plutonic belt (the Polar Urals)). Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 1984, 160 p.
33. Girfanov M., Volchkov A., Kryazhev S., Novikov V. Gold-iron oxide bearing ore-magmatic system of the Auerbach-Novogodnee volcano-plutonic belt, the Polar Urals. *Abs. 33rd Intern. Geol. Congr. Oslo*, 2008, P. 1.
34. Shatov V. V., Seltmann R., Moon C. J. The Yubileinoe porphyry Au (-Cu) deposit, the South Urals: Geology and alteration controls of mineralization. *Eliopoulos D. G. et al. (Eds.), Mineral Exploration and Sustainable Development, Proc. 7th SGA Meeting, Athens, Greece. Rotterdam, Millpress*, 2003, V. 1, pp. 379–382.
35. Sillitoe R. H. Gold-Rich Porphyry Deposits: Descriptive and Genetic Models and Their Role in Exploration and Discovery. *Gold in 2000, SEG Reviews*, 2000, V. 13, pp. 315–345.
36. Sillitoe R. H. Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 2010, V. 105, pp. 3–41.
37. 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. *Mineralium Deposita*, 2013, V. 48, pp. 603–625.