https://doi.org/10.35597/2313-545X-2025-11-4-4
УДК 553.068.54

Оценка золотоносности Кваркушской площади (Западный склон Урала, Пермский край)

М.Д. Шамсутдинов, С.В. Петров

Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб. 7-9-11, г. Санкт-Петербург, 199034 Россия; shamsutdinov.michail@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 15.09.2025 г., после доработки 30.11.2025 г., принята к печати 16.12.2025 г.

Аннотация. В работе исследованы морфология и состав самородного золота из россыпей Кваркушского района (Пермский край). Методами оптической и электронной микроскопии изучено 149 зерен самородного золота из трех россыпей района, среди которых преобладают слабо- и полуокатанные изометрические, с фрагментами кристаллической огранки и угловатые частицы. Пробность золота варьирует от 802 до 999 ‰, большинство зерен – высокопробное и очень высокопробное; для многих зерен характерно наличие высокопробных (>990 ‰) оболочек и прожилков. Основная примесь – Cu (до 2.89 мас. %), реже определяются Fe и Te. В 120 зернах золота обнаружены микровключения 23 различных минералов, часто в полиминеральных ассоциациях. Морфология зерен золота и многочисленные минеральные включения указывают на близкое расположение источника сноса. Первоначально предполагаемый источник в виде пород таборной свиты верхнего кембрия-нижнего ордовика (аналог алькесвожской) исключен из рассмотрения после сравнения состава слюд и хромшпинелидов. На основе анализа состава золота и минеральных включений предполагается, что вероятными коренными источниками являются метасоматиты березит-лиственитовой формации и кварцевые жилы малосульфидного типа.

Ключевые слова: Северный Урал, западный склон Урала, Кваркушский район, россыпное золото, типоморфизм золота, минеральные включения в золоте, прогноз коренных источников.

Благодарности. Авторы выражают признательность Н.С. Власенко (Ресурсный центр «Геомодель», Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия) за помощь в проведении лабораторных исследований, Д.В. Зархидзе, А.Е. Цыбульской, Л.И. Богатыреву и А.А. Соболевой (Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, г. Санкт-Петербург, Россия) за помощь в отборе полевых материалов, а также редакторам журнала за тщательное редактирование рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с рукописью.

Вклад авторов: С.В. Петров – разработка концепции; М.Д. Шамсутдинов – программное обеспечение, визуализация, написание черновика рукописи; С.В. Петров, М.Д. Шамсутдинов – исследование, аналитические и экспериментальные работы, редактирование финального варианта рукописи. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

Для цитирования: Шамсутдинов М.Д., Петров С.В. Оценка золотоносности Кваркушской площади (Западный склон Урала, Пермский край). *Минералогия,* 2025, 11(4), 56–77. https://doi.org/10.35597/2313-545X-2025-11-4-4

Assessing gold-bearing potential of the Kvarhush area (Western slope of the Urals, Perm krai)

M.D. Shamsutdinov, S.V. Petrov
St. Petersburg State University, Universitetskaya nab. 7-9-11, St. Petersburg, 199034 Russia;
shamsutdinov.michail@yandex.ru
Received 15.09.2025, revised 30.11.2025 accepted 16.12.2025

Abstract. The paper examines the morphology and composition of native gold from placers of the Kvarkush region (Perm krai). Using optical and electron microscopy, 149 native gold grains from three placers are studied. Weakly and semirounded isometric and angular particles and partly facet grains are dominant. The fineness of native gold varies from 802 to 999 ‰; most native gold grains have high and very high fineness; many native gold grains contain high-fineness (>990 ‰) rims and veins. Copper is the main trace element (up to 2.89 wt. %); Fe and Te are less common. Microinclusions of 23 various minerals are found in 120 grains, often in polymineral assemblages. The morphology of native gold grains and the presence of numerous mineral inclusions indicate the proximity of primary deposits. The rocks from the Upper Cambrian-Lower Ordovician Tabor Formation (an analog of the Alkesvozh Formation), which were previously considered a possible source, were excluded from the consideration as primary deposits after the comparison of the composition of micas and chromite. Based on the analysis of the composition of native gold and mineral inclusions, the beresites, listvenites, and low-sulfide quartz veins are suggested to be the possible sources.

Keywords: Northern Urals, Urals western slope, Kvarkush area, placer gold, gold typomorphism, mineral inclusions, primary source forecast.

Acknowledgements. We are grateful to N.S. Vlasenko (Geomodel Resource Center, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia) for the assistance in laboratory studies, D.V. Zarkhidze, A.E. Tsybulskaya, L.I. Bogatyrev and A.A. Soboleva (Karpinsky Russian Geological Research Institute, St. Petersburg, Russia) for help in field sampling and editors of the journal for careful editing the manuscript.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Author contribution. S.V. Petrov – concept development; M.D. Shamsutdinov – software, visualization, writing the manuscript; S.V. Petrov, M.D. Shamsutdinov – research, analytical and experimental work, editing the final version of the manuscript; . All authors approved the final version of the article before publication.

For citation: Shamsutdinov M.D., Petrov S.V. Assessing gold-bearing potential of the Kvarhush area (Western slope of the Urals, Perm krai). *Mineralogy*, 2025, 11(4), 56–77. https://doi.org/10.35597/2313-545X-2025-11-4-4

ВВЕДЕНИЕ

Поисковые работы на золото на территории Кваркушской площади Красновишерского золотоносного района Пермского края начались в 1830–1840-х годах. Первые находки золота сделаны в долинах рр. Вишера, Большая и Малая Мойва, Улс, Язьва и их притоках. Наиболее богатые россыпи обнаружены в бассейне р. Большая Мойва, где в 1850-х гг. началась активная добыча золота (Копылов и др., 2015).

Геологическое изучение Кваркушской площади началось в конце XIX в., когда были составлены первые геологические карты района и описаны золотоносные россыпи (Кротов, 1885ф; Федоров, 1896ф; Чураков, 1910ф). Во второй половине XX в. здесь проводились средне- и мелкомасштабные геологосъемочные работы, в результате которых были составлены карты масштаба 1 : 200 000, 1 : 100 000 и 1 : 50 000 (Ненахов и др., 1948ф; Есипов и др., 1950ф; Курбацкий и др., 1964ф; Попов и др., 1966ф). В настоящее время специалисты Кваркушской партии ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А.П. Карпинского» проводят региональные геолого-съемочные работы с целью составления нового поколения карты масштаба 1 : 200 000.

Россыпи Красновишерского золотоносного района приурочены к обширной речной сети, сформировавшейся в плиоцен-четвертичный период (Наумов, Коврижных, 2018). Большинство россыпей связано с мезозойскими структурно-эрозион-

ными депрессиями. На этой территории выявлено семь россыпных месторождений золота, среди которых наиболее перспективными являются Сурья-Казанская (р. Сурья на всем протяжении), Саменская (нижнее и среднее течение р. Саменка) и Благодатная (верхнее течение р. Саменка). Наибольшими запасами характеризуются Сурья-Казанская и Саменская россыпи (>1500 кг каждая), тогда как Благодатная россыпь отличается высоким содержанием Au (>1100 мг/м³) (Попов, 2017).

В настоящей работе исследованы морфология, минеральные включения и химический состав самородного золота из россыпей Кваркушской площади, на основании чего прогнозируются его возможные коренные источники.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Исследованный участок расположен в пределах листа P-40-XXXV (Кваркушская площадь) на Тимано-Уральском стыке, в зоне сочленения крупных тектонических структур Урала: Западно-Уральской мегазоны и Центрально-Уральского поднятия, что определяет особенности его геологического строения. Западно-Уральская мегазона занимает западный и северо-западный секторы площади, а Центрально-Уральское поднятие локализовано в восточной и юго-восточной частях. Стратиграфический разрез площади включает осадочные, вулканогенные и метаморфические толщи, охватывающие интервал от среднего рифея до нижней перми (Милановский, 1996).

В геологическом строении участка выделяется два структурных этажа (рис. 1). Нижний структурный этаж (ишеримская, мойвинская, першинская, вильвинская свиты; басегская серия) представлен сланцами и кварцитами верхнерифейско-вендского возраста, которые прорываются вендскими габбродолеритовыми силлами и кембрийскими гранитами. Верхний структурный этаж (таборная, хапхарская, чувальская, тошовская свиты; доломитовая толща) сложен сланцами и терригенными породами кембрийско-силурийского возраста. Они прорываются комплексом ордовикских штоков и даек пикритового и дунит-перидотитового состава, клинопироксенит-дунитовым массивом и девонскими габбро-долеритовыми дайками (Захаров, 2023ф).

На изученной территории известно несколько точек минерализации коренного золота, которые относятся к золото-кварцевой малосульфидной формации. Мощность кварцевых жил меняется от 5 до 20 см при протяженности первые метры. Характерно наличие убогой вкрапленности пирита и халькопирита, содержание Au варьирует от 0.3 до 17.0 г/т. Вмещающими породами являются слабопиритизированные гематит-магнетитовые сланцы ишеримской свиты среднего рифея. В сравнительно близко расположенном Вёлсовском массиве известна Расьинская группа рудопроявлений золота в кварц-кальцитовых жилах (Сазонов и др., 2001).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые материалы для исследований отбирались сотрудниками Кваркушской партии в ходе сезонов 2023 и 2024 гг., всего изучено 32 шлиховых пробы песчано-гравийного материала из десяти точек наблюдений в пределах Сурья-Казанской, Саменской и Благодатной россыпей.

В ходе лабораторных работ пробы были издроблены; крупные частицы (>1 мм) отделены от мелких (<1 мм) при помощи сита; легкая и тяжелая фракции разделены на концентрационном столике с последующей доводкой; тяжелая фракция разделена на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции при помощи постоянного неодимового магнита. При изучении форм и размеров зерен золота использовалась классификация, предложенная Н.В. Петровской (1973).

Всего из тяжелой фракции шлихов выделено 149 зерен золота, из них 134 – из Сурья-Казанской россыпи, десять – из Саменской и пять – из Благодатной. В ходе пробоподготовки зерна помещались в круглую шайбу из эпоксидной смолы, а затем полировались (ООО «ЛИМС», К. Любаров). Для изучения морфологии самородного золота использовалось оборудование ресурсного центра Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) «Рентгенодифракционные методы исследования» (г. Санкт-Петербург, Россия). Минералы описаны при помощи оптического микроскопа Keynce VHX1000 с цифровой приставкой. Определение содержаний элементов-примесей в золоте и изучение минералов-включений проводилось на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N (ресурсный центр СПбГУ «Геомодель», аналитик Н.С. Власенко, г. Санкт-Петербург, Россия), оснащенном энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-Max 20 с Si полупроводниковым детектором. Результаты обработаны с

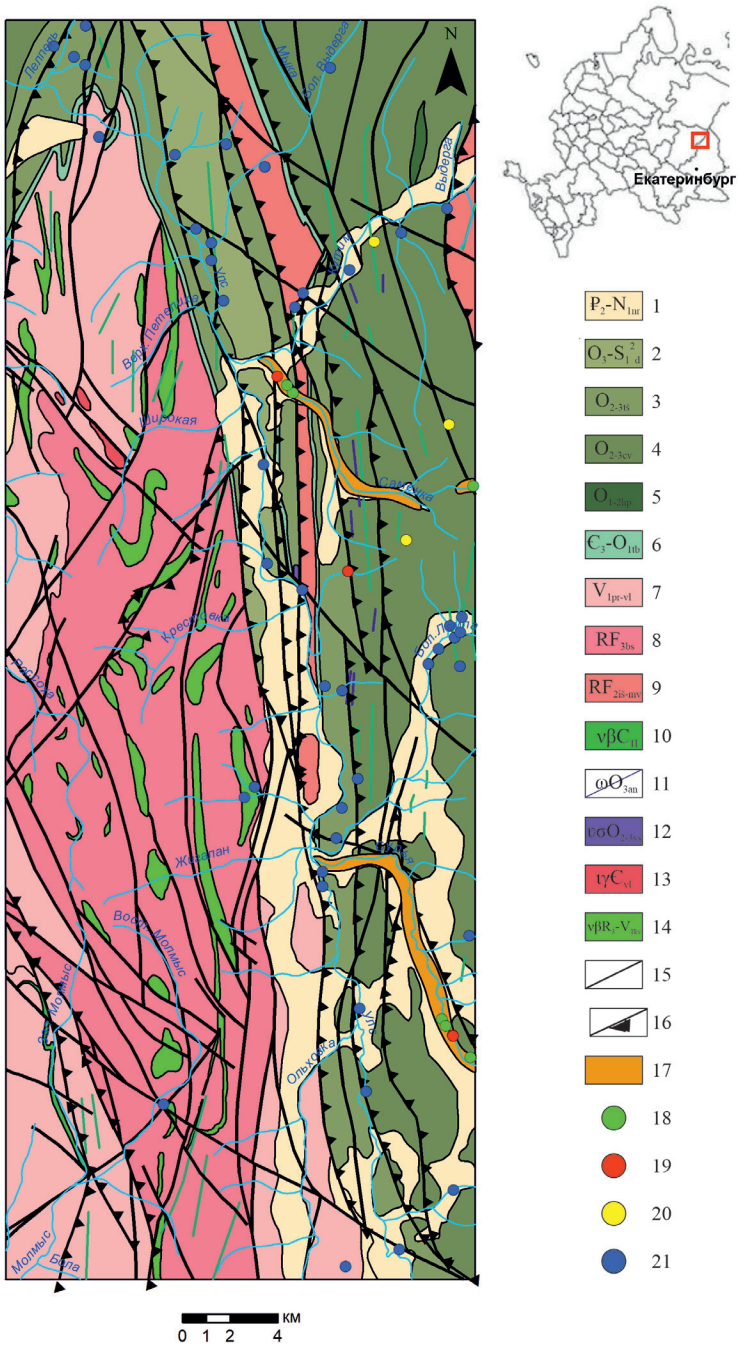


Рис. 1. Геологическая схема участка Кваркуш, составлена М.Д. Шамсутдиновым с использованием материалов И.Н. Захарова (2023ф).

1 – эоцен–миоцен, наурзумская свита: кварцевые галечники, желто-цветные каолинит-гидрослюдистые глины, красноцветные запесоченные каолинит-гидрослюдисто-монтмориллонитовые глины; 2 – верхний ордовик–нижний силур, доломитовая толща: доломиты; 3 – средний–верхний ордовик, тошовская свита: известняки, глинистые известняки, доломиты, глинистые сланцы; 4 – средний–верхний ордовик, чувальская свита: серицит-хлорит-кварцевые и серицит-альбит-кварцевые сланцы, мраморизованные известняки, лавы базальтов и трахибазальтов и их туфы; 5 – нижний–средний ордовик, хапхарская свита: кварцевые конгломераты, гравелиты и песчаники часто с фукситом, серицит-кварцевые и известковистые сланцы; 6 – верхний кембрий–нижний ордовик, таборная свита: фуксит-содержащие песчаники с базальными конгломератами, глинистые сланцы; 7 – нижний венд, першинская и вильвенская свиты: серицит-хлоритовые и серицит-кварцевые сланцы, кварцито-песчаники, кварциты, гравелиты, лавы и туфы метабазальтов, метатрахибазальтов, метапикробазальтов и базальтов; 8 – верхний рифей, басегская серия: углисто-слюдисто-кварцевые и серицит-кварцевые сланцы, кварцито-песчаники, доломиты, известковистые алевролиты, базальты; 9 – средний рифей, ишеримская и мойвинская свиты: хлорит-серицит-кварцевые и графит-кварцевые сланцы, кварцито-песчаники, кальцитовые и доломитовые мраморы, прослои титан-циркониевых гематитовых руд; 10 – нижний карбон, лыпьинский гипабиссальный габбродолеритовый комплекс: дайки долеритов, габбродолеритов; 11 – верхний ордовик, антипинский гипабиссальный пикритовый комплекс: дайки пикритов и метапикритов; 12 – средний–верхний ордовик, вишерский клинопироксенит-дунит-перидотитовый плутонический комплекс: штоки апоперидотитовых серпентинитов, пироксенитов; 13 – кембрий, велсовский гранит-лейкогранитовый комплекс: риодациты, риолиты, гранит-порфиры; 14 – нижний венд, кваркушский габбродолеритовый комплекс: силлы, линзовидные тела габбродолеритов, пикритов и пикродолеритов; 15 – достоверные разломы; 16 – достоверные надвиги; 17 – россыпи; 18–21 – места отбора проб: 18 – пробы с золотом; 19 – пробы без золота; 20 – точки минерализации золота в дочетвертичных отложениях; 21 – литохимические аномалии золота.

Fig. 1. Geological scheme of the Kvarkush area, modified by M.D. Shamsutdinov after materials of I.N. Zakharov (2023).

1 – Eocene–Miocene, Naurzum Formation: quartz pebble, yellow-colored kaolinite-hydrous clay, red-colored sandy kaolinite-hydrous-montmorillonite clay; 2 – Upper Ordovician–Lower Silurian, Dolomite strata: dolomite; 3 – Middle–Upper Ordovician Tosov Formation: limestone, clay limestone, dolomite, clay shale ; 4 – Middle–Upper Ordovician Chuval Formation: sericite-chlorite-quartz and sericite-albite-quartz schist, marbled limestone, lava of basalt and trachybasalt and their tuff; 5 – Lower–Middle Ordovician Haphara Formation: quartz conglomerate, gravelite and sandstone often with fuchsite, sericite-quartz and

calcareous shale; 6 – Upper Cambrian–Lower Ordovician Tabor Formation: fuchitized sandstone with basal conglomerate, clay shale; 7 – Lower Vendian Pershino and Vilven formations: sericite-chlorite and sericite-quartz shale, quartzite sandstone, quartzite, gravelite, lava and tuff of metabasalt, metatrachybasalt, metapicrobasalts and basalt; 8 – Upper Riphean Baseg Formation: carbonaceous micaceous quartz and sericite-quartz shale, quartzite sandstone, dolomite, calcareous siltstone, basalt; 9 – Middle Riphean Isherim and Moivin formations: chlorite-sericite-quartz and graphite-quartz shale, quartzite sandstone, calcite and dolomite marble, interbeds of titanium-zirconium hematite ores; 10 – Lower Carboniferous Lypinsky gabbrodolerite hypabyssal complex: dolerite and gabbrodolerite dikes; 11 – Upper Ordovician Antipinsky picrite hypabyssal complex: picrite and metapicrite dikes; 12 – Middle-Upper Ordovician Vishera clinopyroxenite-dunite-peridotite plutonic complex: stocks of serpentinite, pyroxenite; 13 – Cambrian Velsov granite-leucogranite complex: rhyodacite, rhyolite, granite porphyry; 14 – Lower Vendian Kvarkush gabbrodolerite complex: sills, lenticular bodies of gabbrodolerite, picrite, picrodolerite; 15 – proven faults; 16 – proven thrusts; 17 – placers; 18–21 – sampling areas: 18 – samples with native gold; 19 – samples without native gold; 20 – occurences of gold in pre-Quaternary rocks; 21 – lithochemical anomalies of gold.

использованием программного обеспечения Hitachi S-3400N Scanning Electron Microscope, версия 7.3, и AZtek 2.2 SP1. Анализ осуществлялся при ускоряющем напряжении 20 кВ, силе тока зонда 1.8 нА и рабочем расстоянии 10 мм. Продолжительность накопления спектра составляла 20 с. Использовались стандарты природных минералов и стекол. Для калибровки использовался металлический кобальт.

В статье используется следующая классификация пробности самородного золота: весьма высокопробное (951–999 ‰), высокопробное (900–950 ‰), среднепробное (800–899 ‰) и относительно низкопробное (700–799 ‰) (Николаева, Михайлов, 2015). Пробность определялась в центральных и краевых частях золотин.

Для сравнения кембрий-ордовикских пород алькесвожской и таборной свит изучен минеральный состав пород таборной свиты. Исследовано 18 плоско-полированных шлифов, изготовленных из образцов песчаников и гравелитов таборной свиты, отобранных из водоотводной канавы на россыпи Саменская.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Морфология и химический состав самородного золота

Золото Саменской россыпи (табл. 1; электронное приложение (ЭП) 1) представлено мелкими и средними (0.15–1.10 мм) вытянутыми, уплощенными, с фрагментами кристаллической огранки и изометрическими зернами (рис. 2). Некоторые зерна покрыты налетом черных гидроксидов Mn. Пробность золота варьирует от 865 до 999‰. Для зерен золота характерны новообразованные оторочки с повышенной пробностью, визуально не отличимые от центральной части. Высокопробное золото составляет 30 % от общего числа, весьма высокопробное – 70 %. Из элементов-примесей установлены Ag (0.00–14.02 мас. %), Cu (0.30–2.89 мас. %) и Fe (0.29–3.80 мас. %).

Золото Сурья-Казанской россыпи (табл. 1; ЭП 1) представлено мелкими и средними (0.20–1.25 мм) вытянутыми, уплощенными, с фрагментами кристаллической огранки и изометрическими зернами (рис. 3). Некоторые зерна местами покрыты налетом гидроксидов Fe и Mn коричневого и черного цветов. Пробность золота варьирует от 802 до 999 ‰. Золото средней пробности составляет 9 % от общего числа, высокой – 53 %, весьма высокой – 38 %. Некоторые зерна полностью состоят из весьма высокопробного золота (999 ‰) (рис. 4), для них характерно комковатое строение. Из элементов-примесей фиксируются Ag (0.93–13.53 мас. %), Cu (0.26–2.20 мас. %) и Fe (0.18–3.42 мас. %). В одном анализе установлена примесь Te 0.49 мас. %).

Золото Благодатной россыпи (табл. 1; ЭП 1) представлено мелкими и средними (0.30–1.25 мм) вытянутыми и гипидиоморфными зернами (рис. 5). Пробность золота варьирует от 923 до 985 ‰ (рис. 6). Золото высокой пробности составляет 20 % от общего числа, весьма высокой – 80 %. Из элементов-примесей установлены Ag (1.48–7.68 мас. %), Cu (0.27–0.53 мас. %) и Fe (0.24–0.28 мас. %).

Самое низкопробное золото (<900 ‰) присутствует только в Сурья-Казанской россыпи. Для золота Благодатной и Саменской россыпей характерна пробность 950–970 ‰, тогда как пробность золота Сурья-Казанской россыпи несколько ниже (940–960 ‰) (рис. 6а). Для золота Саменской и Сурья-Казанской россыпей характерны высокопробные (>990 ‰) оторочки.

Таблица 1. Средний химический состав (мас. %) и пробность самородного золота из россыпей Кваркушской площади Красновишерского золотоносного района
Table 1. Average chemical composition (wt. %) and fineness of native gold from the Kvarkush area placers of the Krasnaya Vishera gold region

№ п/п	Au	Ag	Cu	Fe	Te	Сумма	Пробность, ‰
Саменская россыпь							
1	95.11 ± 1.11	4.54 ± 1.47	0.28 ± 0.76	0.07 ± 0.20	0.00 ± 0.00	100.00	951.17 ± 11.10
Сурья-Казанская россыпь							
2	93.99 ± 2.70	5.90 ± 2.72	0.12 ± 0.28	0.01 ± 0.04	0.001 ± 0.01	100.00	939.79 ± 27.63
Благодатная россыпь							
3	95.96 ± 1.47	3.93 ± 1.56	0.08 ± 0.12	0.03 ± 0.06	0.00 ± 0.00	100.00	959.55 ± 14.70

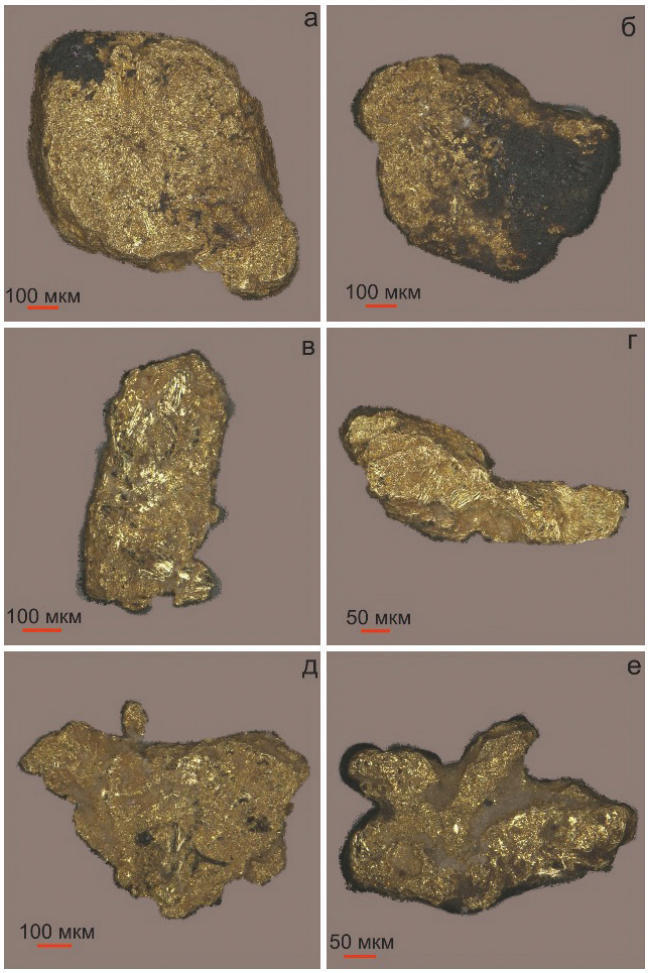


Рис. 2. Полуокатанные и плохо окатанные зерна самородного золота уплощенной с налетом гидроксидов марганца (а, б), вытянутой (в, г) и угловатой (д, е) морфологии из Саменской россыпи.

Fig. 2. Semirounded and poorly rounded gold grains of the Samenka placer of flattened (with coating of Mn hydroxides) (а, б), elongated (в, г) and angular (д, е) morphology.

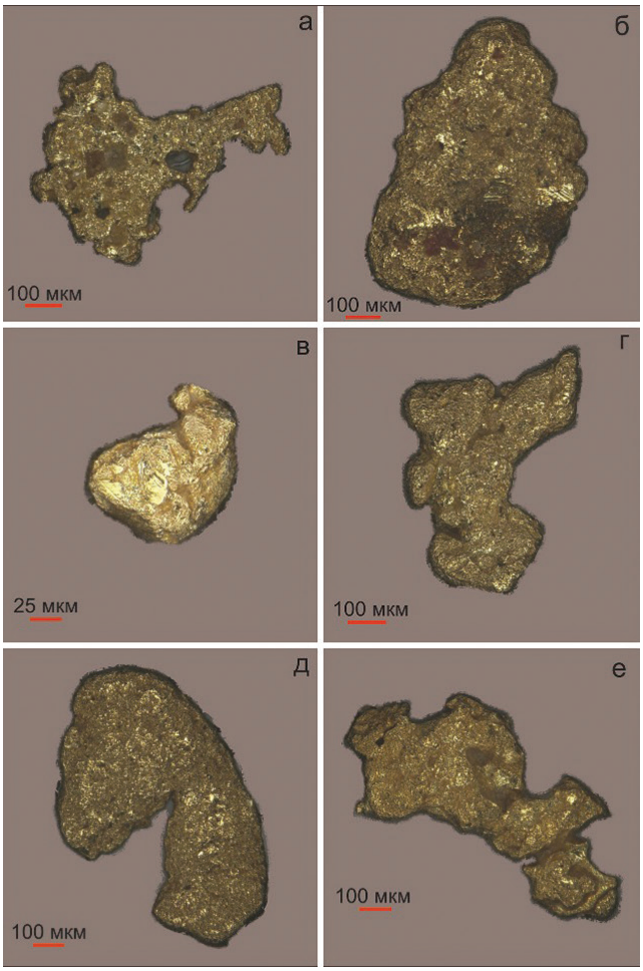


Рис. 3. Полуокатанные зерна самородного золота с фрагментами кристаллической огранки (а), уплощенной с налетом гидроксидов железа (б), угловатой (в–д) и вытянутой (е) морфологии из Сурья-Казанской россыпи.

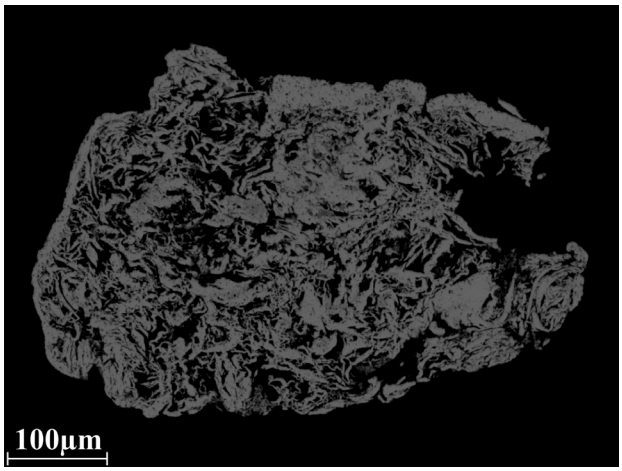
Fig. 3. Semirounded gold grains of the Sur'ya-Kazanskaya placer with crystal cut fragments (а), flattened with coating of Fe hydroxides (б), angular (в–д) and elongated (е) morphology.

Рис. 4. Комковатое, предположительно, новообразованное высокопробное зерно самородного золота из Сурья-Казанской россыпи.

Здесь и на рис. 8, BSE фото.

Fig. 4. Lumpy probably newly formed high-fineness gold grain from the Sur'ya-Kazanskaya placer.

Here and in Fig. 8, BSE image.



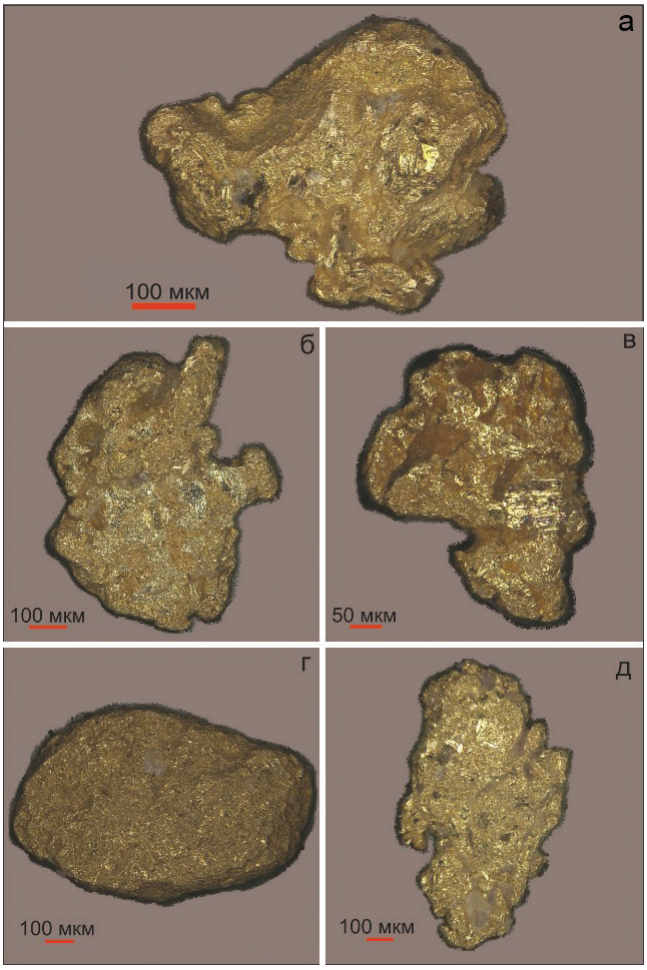


Рис. 5. Полуокатанные зерна самородного золота угловатой (а–в), уплощенной (г) и вытянутой (д) морфологии из Благодатной россыпи.

Fig. 5. Semirounded gold pieces of the Blagodatnaya placer of angular (а–в), flattened (г) and elongated (д) morphology.

В целом, изученные зерна золота из всех россыпей преимущественно высокопробные и очень высокопробные. Наиболее часто фиксируются примеси Ag и Cu (рис. 6б, в); примеси Fe и Te устанавливаются спорадически. Примесь Cu встречается в 50 % зерен золота из Саменской россыпи, 60 % – Благодатной и 35 % – Сурья-Казанской. Самородное золото, содержащее примесь Cu, можно разделить на две группы (рис. 6в, 7): с содержанием Cu более и менее 1.5 мас. %.

Минеральные микровключения в самородном золоте

Микровключения минералов обнаружены в 120 из 149 изученных зерен золота (80.5 % случаев; табл. 2). Включения локализуются как в периферийных, так и в центральных зонах зерен. Всего идентифицировано 23 минеральных вида (содержание (% от общего количества зерен золота) в порядке убывания): кварц (51), глинистые минералы (каолинит, иллит, монтмориллонит) (45), рутил (20), гидроксиды Fe (17), циркон (14), мусковит (8), пирит (7), монацит (5), фенгит (4), Cr-содержащий мусковит (фуксит), халькопирит, хлорит, анкерит, альбит, титанит (1), минералы группы халькозина, блеклая руда, галенит, мелонит, ксенотим, алтаит, калиевый полевой шпат, борнит (<1). Для 47 из 120 (39 % случаев) зерен золота с микровключениями минералов характерно присутствие трех и более различных минеральных видов (рис. 8).

Согласно классификации (Чухров, 1992; Rieder et al., 1999) истинные слюды представлены мусковитом (в том числе Cr-содержащим) и фенгитом: фенгит – Σ(Mg + Fe) >0.5 к. ф., Mg >1.5 мас. %; мусковит – Σ(Mg + Fe) <0.5 к. ф. Характерной особенностью изученных слюд является дефицит межслоевого катиона.

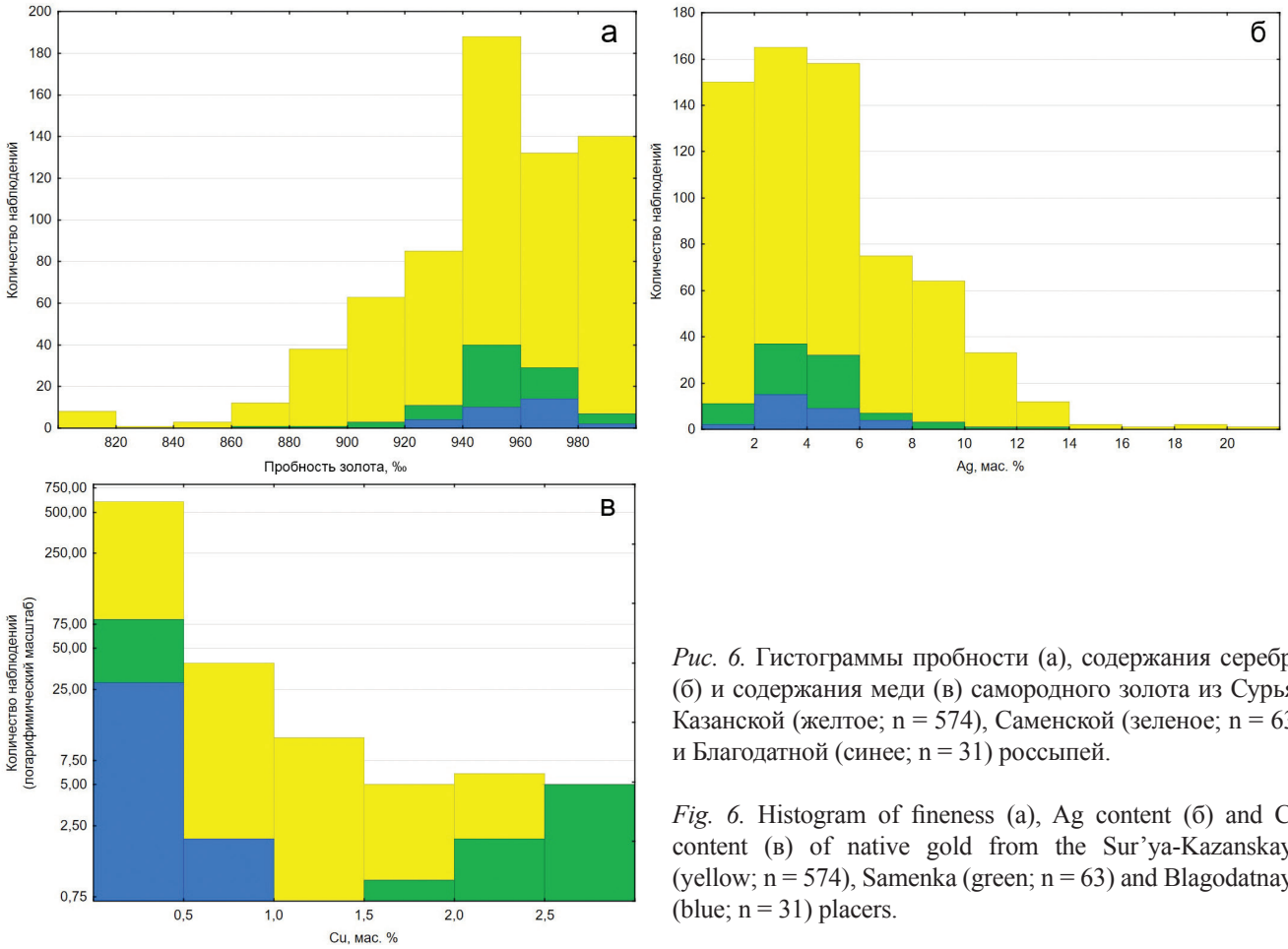


Рис. 6. Гистограммы пробности (а), содержания серебра (б) и содержания меди (в) самородного золота из Сурья-Казанской (желтое; n = 574), Саменской (зеленое; n = 63) и Благодатной (синее; n = 31) россыпей.

Fig. 6. Histogram of fineness (a), Ag content (б) and Cu content (в) of native gold from the Sur'ya-Kazanskaya (yellow; n = 574), Samenka (green; n = 63) and Blagodatnaya (blue; n = 31) placers.

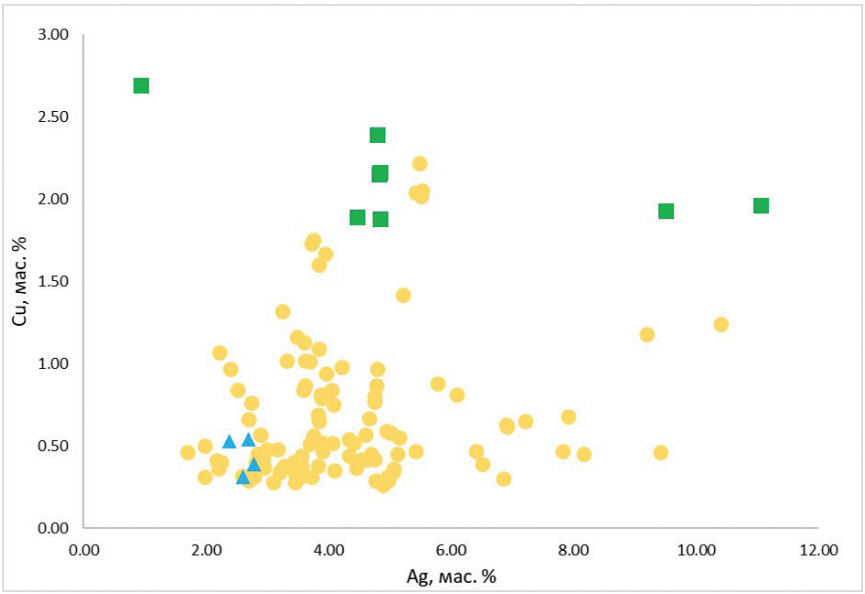


Рис. 7. Соотношение Ag и Cu в самородном золоте Сурья-Казанской (желтое), Саменской (зеленое) и Благодатной (синее) россыпей.

Fig. 7. Au-Cu correlation in native gold from the Sur'ya-Kazanskaya (yellow), Samenka (green) and Blagodatnaya (blue) placers.

Таблица 2. Частота встречаемости минералов-включений в самородном золоте из различных россыпей

Table 2. Frequency of occurrence of mineral inclusions in native gold from different placers

Включение	Количество золотин		
	Сурья-Казанская	Саменская	Благодатная
Кварц	65	6	5
Глинистые минералы	60	5	2
Рутил	28	1	1
Циркон	21	0	0
Гидроксиды железа	24	1	0
Мусковит	12	0	0
Фенгит	5	1	0
Пирит	9	1	0
Монацит	8	0	0
Фуксит	6	0	0
Хлорит	1	1	0
Халькопирит	4	0	0
Анкерит	2	0	0
Халькозин	0	0	1
Блеклая руда	1	0	0
Галенит	1	0	0
Мелонит	1	0	0
Альбит	1	1	0
Ксенотим	1	0	0
Алтаит	0	1	0
Титанит	0	1	0
КПШ	1	0	0
Борнит	1	0	0
Без включений	28	2	0

Примечание. Для каждого минерала указано количество зерен золота, в которых он встречается в виде микровключений.

Note. Numbers indicate the amount of gold grains hosting the appropriate mineral inclusions.

Мусковит и Cr-содержащий мусковит обнаружены только в зернах золота из Сурья-Казанской россыпи. Диапазон пробности золота с включениями слюд составляет 896–962 ‰ (мода 920–930 ‰). Мусковит содержит (мас. %): Fe_2O_3 (1.96–10.07), MgO (0.68–3.65), TiO_2 (0.18–5.47), Na_2O (0.15–1.17), CaO (0.16–0.21) и редко Cl (до 0.11) (табл. 3). Главные минеральные ассоциации мусковита в зернах золота: кварц + гидроксиды Fe + фенгит (здесь и далее минералы указаны в порядке уменьшения частоты встречаемости). Часть изученных зерен мусковита содержит (мас. %) 0.18–0.42 мас. % Cr_2O_3, а также Fe_2O_3 (2.19–10.89), Na_2O (0.35–1.89), MgO (0.90–1.91), TiO_2 (0.12–3.28) и CaO (до 0.15) (табл. 3). Cr-содержащий мусковит чаще всего встречается в ассоциации с кварцем, мусковитом, рутилом, глинистыми минералами, гидроксидами Fe, цирконом, фенгитом, пиритом, монацитом и халькопиритом.

Фенгит встречается в Сурья-Казанской и Саменской россыпях. Пробность золота с включениями фенгита варьирует от 896 до 957 ‰ (мода 930–940 ‰). Характерные примеси фенгита (мас. %): Fe_2O_3 (5.82–11.44), MgO (1.54–3.17), TiO_2 (0.36–3.18), Na_2O (0.20–0.34), CaO (0.24–0.35) (табл. 3). Минерал образует устойчивые ассоциации с кварцем и мусковитом.

Второй по распространенности группой минералов являются глинистые минералы, которые встречаются в зернах золота всех россыпей. Глинистые минералы образуют включения в краевых зонах зерен золота и прожилках. Предположительно, наиболее часто встречающимся минералами являются монтмориллонит, иллит и каолинит. Наиболее распространенными примесями (мас. %) в составе этих минералов являются: P_2O_5 (0.30–1.63), Cl (0.10–1.14), V_2O_3 (0.09–0.25), Cr_2O_3 (0.16–1.05), MnO (0.17–0.71), CuO (до 0.35), NiO (0.24–0.39), SrO (до 0.83) и PbO (до 0.87) (табл. 3).

Хлорит обнаружен в двух зернах золота из Саменской и Сурья-Казанской россыпей с пробностью от 953 до 955 ‰. Хлорит во включениях железо-магнезиальный с варьирующими соотношениями Fe и Mg и формально может быть отнесен к клинохлору и шамозиту (табл. 3). В большинстве изученных включений хлорита отмечены (мас. %) K_2O (0.12–0.86), CaO (0.16–1.44), TiO_2 (0.18–0.48), Cr_2O_3 (0.13–0.42) и MnO (0.25–0.50). В ассоциации с хлоритом встречаются титанит, альбит и кварц.

Титанит обнаружен в одном зерне золота из Саменской россыпи. Минерал содержит (мас. %) Fe_2O_3 (1.10–1.92 мас. %), Al_2O_3 (0.86–2.03 мас. %) и V_2O_3 (0.38–0.53 мас. %) (табл. 3). В ассоциации с титанитом встречаются хлорит, Cr-содержащий мусковит и альбит.

Полевые шпаты (альбит и калиевый полевой шпат) встречаются в зернах золота из Саменской и Сурья-Казанской россыпей, пробность которых меняется от 945 до 977 ‰. Единственное найденное зерно золота с примесью Te содержало включение альбита. Из примесей в составе калиевого полевого шпата отмечается Fe (до 0.77 мас. %), состав альбита соответствует стехиометрической формуле (табл. 3). В ассоциации с альбитом встречены ти-

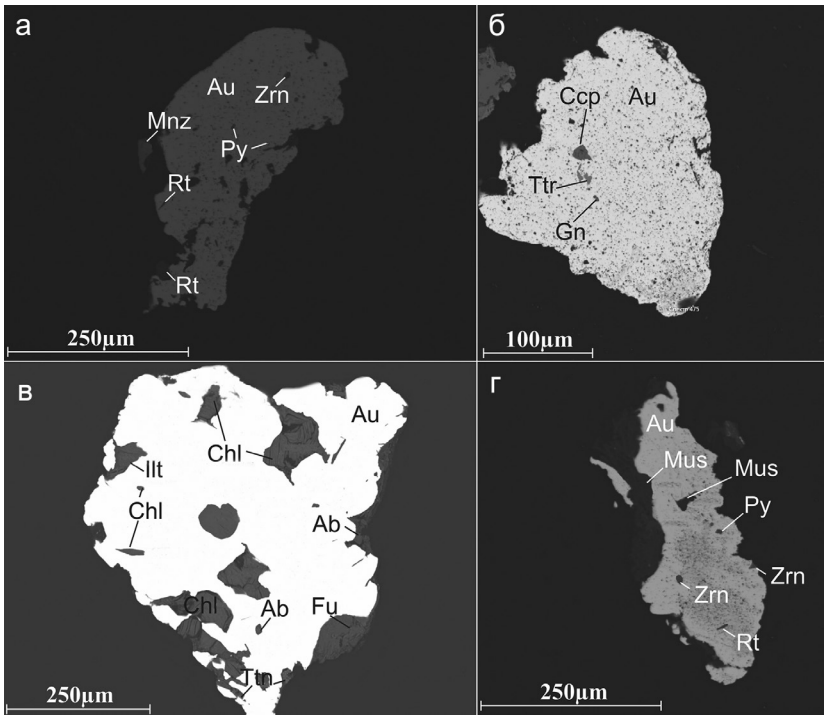


Рис. 8. Минеральные включения в зернах самородного золота (Au) из Сурья-Казанской и Саменской россыпей: а – монацит (Mnz), рутил (Rt) и циркон (Zrn); б – галенит (Gn), тетраэдрит (Ttr) и халькопирит (Ccp); в – альбит (Ab), иллит (Ilt), титанит (Ttn) и хлорита (Chl); г – мусковит (Mus), пирит (Py), рутил и циркон, Fu – Cr-содержащий мусковит (фуксит).

Fig. 8. Mineral inclusions in native gold (Au) grains of the Sur'ya-Kazanskaya and Samenka placers: a – monazite (Mnz), rutile (Rt) and zircon (Zrn); б – galena (Gn), tetrahedrite (Ttr) and chalcopyrite (Ccp); в – albite (Ab), illite (Ilt), titanite (Ttn) and chlorite (Chl); г – muscovite (Mus), pyrite (Py), rutile and zircon, Fu – Cr-bearing muscovite (fucshite).

танит, хлорит и глинистые минералы; с калиевым полевым шпатом ассоциирует кварц.

Пробность золота с включениями циркона варьирует от 878 до 963 ‰ (мода 930–940 ‰). Характерной особенностью циркона является постоянное присутствие HfO_2 (0.91–2.06 мас. %) (табл. 4). Циркон часто ассоциирует с кварцем, рутилом, гидроксидами Fe и монацитом-(Ce) и реже – с пиритом, халькопиритом и сульфосолями.

Кварц является наиболее распространенным минералом-включением в золоте всех исследованных россыпей. Пробность в зернах золота с включениями кварца значительно варьирует от 861 до 985 ‰ (мода 950–960 ‰). Кварц встречается в ассоциации с большинством выявленных минералов.

Включения рутила также обнаружены в золоте из всех исследованных россыпей. Пробность золота с включениями рутила варьирует от 878 до 975 ‰ с модой 940–950 ‰. Большинство зерен рутила содержит (мас. %): Fe_2O_3 (0.73–7.24), V_2O_3 (0.32–3.15), Al_2O_3 (0.15–4.97); редко отмечаются Nb_2O_5 (0.31–8.05), WO_3 (0.49–5.93) и Cr_2O_3 (до 0.81) (табл. 4). Рутил присутствует в совместных включениях в самородном золоте с 12 минералами, наиболее характерными из которых являются кварц, гидроксиды Fe, мусковит, пирит.

Диапазон пробности золота с включениями монацита составляет 912–956 ‰ (мода 930–940 ‰) (табл. 5). Химический состав монацита-(Ce) (мас. %): Ce_2O_3 (28.94–35.07), La_2O_3 (15.98–24.97), Nd_2O_3 (7.66–14.29), а также ThO_2 (0.71–6.10), Fe_2O_3 (до 5.86) и SiO_2 (0.62–2.59). Основная ассоциация монацита: кварц + рутил + циркон.

Ксенотим-(Y) ассоциирует с фенгитом, рутилом и кварцем и содержит (мас. %)Dy_2O_3 (5.49–5.73 мас. %), Er_2O_3 (3.62–6.17 мас. %) и Yb_2O_3 (3.18–4.97 мас. %) (табл. 6). Ксенотим встречен в одном зерне золота, его пробность составляет 957 ‰.

Анкерит встречается в двух зернах золота из Сурья-Казанской россыпи, пробность которых меняется от 898 до 944 ‰. Для состава характерна примесь Mn Mn (0.35–0.45 мас. %) (табл. 7). В ассоциации с анкеритом встречаются кварц, мусковит, рутил, монацит.

Таблица 3. Химический состав микровключений силикатов в самородном золоте из Сурья-Казанской и Саменской россыпей (мас. %)
Table 3. Chemical composition of silicate microinclusions in native gold from the Sur'ya-Kazanskaya and Samenka placers (wt. %)

№	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MgO	P_2O_5	K_2O	Na_2O	CaO	Cr_2O_3	MnO	V_2O_3	Сумма	Кристаллохимическая формула
Глинистые минералы														
1	36.15	34.39	8.44	8.26	0.30	2.77	1.43	0.05	0.62	0.00	0.00	–	93.52[1]	
2	40.41	26.66	19.72	0.68	5.95	0.00	0.00	2.56	0.35	0.00	0.00	–	97.16[2]	
3	40.33	35.75	14.50	1.32	1.01	0.00	1.77	0.35	0.32	0.00	0.00	–	95.87[3]	
4	32.33	32.25	20.37	10.16	0.00	1.17	0.30	0.00	0.25	0.00	0.00	0.25	97.08	
5	27.62	24.39	39.40	1.48	0.00	1.60	0.37	0.00	0.32	1.05	0.71	–	96.96	
Мусковит (O = 11)														
6	50.10	33.86	3.12	1.48	1.15	–	9.80	0.53	0.00	–	–	–	100.15[4]	$(K_{0.79}Na_{0.07})_{0.86}(Al_{1.71}Fe_{0.17}Mg_{0.11}Ti_{0.07})_{2,05}(Si_{3.18}Al_{0.82})_{4.00}O_{10}(OH_{1.89}Cl_{0.11})_{2.00}$
7	52.67	28.81	2.87	0.34	3.67	–	10.73	0.17	0.16	–	–	–	99.42	$(K_{0.88}Na_{0.02}Ca_{0.01})_{0.91}(Al_{1.55}Mg_{0.35}Fe_{0.15}Ti_{0.02})_{2.07}(Si_{3.37}Al_{0.63})_{4.00}O_{10}(OH)_2$
8	48.54	38.58	2.19	0.52	0.00	–	11.06	0.00	0.00	–	–	–	100.89	$K_{0.89}(Al_{1.91}Fe_{0.12}Ti_{0.02})_{2.05}(Si_{3.05}Al_{0.95})_{4.00}O_{10}(OH)_2$
Cr-содержащий мусковит (O = 11)														
9	51.70	31.90	3.83	0.42	1.70	–	9.91	0.31	–	0.20	–	–	99.97	$(K_{0.80}Na_{0.04})_{0.84}(Al_{1.68}Fe_{0.20}Mg_{0.16}Ti_{0.02}Cr_{0.01})_{2.07}(Si_{3.29}Al_{0.71})_{4.00}O_{10}(OH)_2$
10	49.56	31.96	5.32	0.18	0.91	–	11.20	0.64	–	0.20	–	–	99.97	$(K_{0.93}Na_{0.09})_{1.02}(Al_{1.65}Fe_{0.29}Mg_{0.09}Cr_{0.01}Ti_{0.01})_{2.05}(Si_{3.21}Al_{0.79})_{4.00}O_{10}(OH)_2$
11	47.00	33.05	2.19	5.47	1.23	–	9.68	0.46	–	0.18	–	–	99.26	$(K_{0.79}Na_{0.06})_{0.85}(Al_{1.52}Ti_{0.26}Mg_{0.12}Fe_{0.12}Cr_{0.01})_{2.03}(Si_{3.02}Al_{0.98})_{4.00}O_{10}(OH)_2$
Фенгит (O = 11)														
12	52.27	26.36	7.42	0.60	3.16	–	10.93	0.00	–	–	–	–	100.74	$K_{0.89}(Al_{1.39}Fe_{0.40}Mg_{0.30})_{2.12}(Si_{3.41}Al_{0.59})_{4.00}O_{10}(OH)_2$
13	51.64	26.47	7.61	0.58	2.89	–	11.79	0.00	–	–	–	–	100.98	$K_{0.98}(Al_{1.39}Fe_{0.41}Mg_{0.28}Ti_{0.03})_{2.11}(Si_{3.36}Al_{0.64})_{4.00}O_{10}(OH)_2$
14	51.41	26.75	7.28	0.53	2.70	–	11.68	0.20	–	–	–	–	100.55	$(K_{0.97}Na_{0.03})_{1.00}Al_{1.41}Fe_{0.40}Mg_{0.26}Ti_{0.03})_{2.09}(Si_{3.35}Al_{0.65})_{4.00}O_{10}(OH)_2$
Хлорит (O = 14)														
15	28.43	16.89	27.19	0.31	11.37	–	0.86	–	0.35	0.34	0.25	–	86.00	$(Fe_{2.48}Mg_{1.26}Al_{1.26}K_{0.16}\square_{0.14}Ca_{0.04}Ti_{0.03}Cr_{0.03}Mn_{0.02})_{6.00}(Si_{3.09}Al_{0.91})_{4.00}O_{10}(OH)_8$
16	28.45	16.40	29.50	0.36	10.77	–	0.80	–	0.34	0.00	0.50	–	87.11	$(Fe_{2.69}Mg_{1.75}Al_{1.21}\square_{0.13}K_{0.11}Ca_{0.04}Mn_{0.04}Ti_{0.03})_{5.87}(Si_{3.10}Al_{0.90})_{4.00}O_{10}(OH)_8$
17	25.55	18.63	25.30	0.00	15.61	–	0.00	–	0.00	0.00	0.48	–	85.57	$(Mg_{2.53}Fe_{2.30}Al_{1.16}Mn_{0.05})_{6.03}(Si_{2.78}Al_{1.22})_{4.00}O_{10}(OH)_8$
Титанит (O = 5)														
18	30.09	0.86	1.10	39.39	–	–	–	–	28.01	–	–	0.53	99.98	$Ca_{0.98}(Ti_{0.97}Fe_{0.03}V_{0.01})_{1.01}(Si_{0.98}Al_{0.03})_{1.01}O_5$
19	30.51	1.11	1.26	38.41	–	–	–	–	27.56	–	–	0.51	99.37	$Ca_{0.97}(Ti_{0.95}Fe_{0.03}V_{0.01})_{0.99}(Si_{1.00}Al_{0.04})_{1.04}O_5$
20	31.01	2.00	1.92	37.30	–	–	–	–	27.37	–	–	0.38	99.98	$Ca_{0.95}(Ti_{0.91}Fe_{0.05}V_{0.01})_{0.97}(Si_{1.03}Al_{0.08})_{1.11}O_5$
Полевые шпаты (O = 8)														
21	64.09	19.26	1.80	–	–	–	14.24	0.83	–	–	–	–	100.24	$(K_{0.83}Na_{0.07})_{0.90}(Al_{1.04}Fe_{0.06})_{1.10}Si_{2.94}O_8$
22	69.22	19.77	0.00	–	–	–	0.00	11.04	–	–	–	–	100.03	$Na_{0.93}Al_{1.01}Si_{3.01}O_8$
23	69.82	19.64	0.00	–	–	–	0.00	11.06	–	–	–	–	100.51	$Na_{0.93}Al_{1.00}Si_{3.02}O_8$

Примечание. Здесь и в табл. 4, 5, 8 и 9 формулы минералов рассчитаны на количество аниона, указанное в скобках; прочерк – содержание ниже предела обнаружения. Анализы также содержат: [1] – 0.87 мас. % PbO и 0.24 мас. % NiO; [2] – 0.83 мас. % SrO; [3] – 0.18 мас. % Cl и 0.35 мас. % CuO; [4] – 0.11 мас. % Cl. Для хлорита содержания железа приведены в пересчете на FeO.

Note. Here and in Tables 4, 5, 8 and 9, formulas of minerals are calculated on the basis of anion sum indicated in parenthesis. The analyses contain: [1] – 0.87 wt. % PbO and 0.24 wt. % NiO; [2] – 0.83 wt. % SrO; [3] – 0.18 wt. % Cl and 0.35 wt. % CuO; [4] – 0.11 wt. % Cl. Dash – the content is below detection limit. The Fe content for chlorite are given as FeO

Таблица 4. Химический состав микровключений циркона и рутила в самородном золоте Сурья-Казанской и Саменской россыпей (мас. %)
Table 4. Chemical composition of zircon and rutile in native gold from the Sur'ya-Kazanskaya and Samenka placers (wt. %)

№ п/п	ZrO_2	HfO_2	Al_2O_3	SiO_2	WO_3	Nb_2O_5	V_2O_3	Cr_2O_3	Сумма	Кристаллохимическая формула
Циркон (O = 4)										
1	66.09	1.41	–	32.53	–	–	–	–	100.02	$(Zr_{0.99}Hf_{0.01})_{1.00}(Si_{1.00}O_4)$
2	66.40	1.02	–	32.55	–	–	–	–	99.98	$(Zr_{0.99}Hf_{0.01})_{1.00}(Si_{1.00}O_4)$
3	65.90	1.35	–	32.70	–	–	–	–	99.95	$(Zr_{0.99}Hf_{0.01})_{1.00}(Si_{1.00}O_4)$
4	TiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	WO_3	Nb_2O_5	V_2O_3	Cr_2O_3	Сумма	Кристаллохимическая формула
Рутил (O = 2)										
5	89.04	5.77	0.00	–	4.92	0.00	0.64	0.00	11.33	$(Ti_{0.92}Fe_{0.06}W_{0.02}V_{0.01})_{1.01}O_2$
6	89.83	3.23	1.03	–	0.00	4.61	1.30	0.00	10.17	$(Ti_{0.92}Fe_{0.03}Nb_{0.03}Al_{0.02}V_{0.01})_{1.01}O_2$
7	92.34	1.97	4.20	–	0.00	0.00	0.53	0.91	7.61	$(Ti_{0.92}Al_{0.07}Fe_{0.02}V_{0.01}Cr_{0.01})_{1.03}O_2$

Таблица 5. Химический состав микровключений монацита в самородном золоте из Сурья-Казанской россыпи (мас. %)
Table 5. Chemical composition of monazite microinclusions in native gold from the Sur'ya-Kazanskaya placer (wt. %)

№	Ce_2O_3	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	Pr_2O_3	CaO	SiO_2	Sm_2O_3	P_2O_5	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	29.99	17.26	12.00	5.80	2.56	1.05	0.59	0.00	30.70	99.95	$(Ce_{0.42}La_{0.25}Nd_{0.17}Th_{0.05}Pr_{0.04}Ca_{0.04})_{0.97}(P_{1.00}Si_{0.02})_{1.02}O_4$
2	27.80	15.36	11.93	2.75	3.49	0.38	2.49	1.59	27.14	100.05	$(Ce_{0.38}La_{0.21}Nd_{0.16}Fe_{0.16}Al_{0.07}Pr_{0.05}Th_{0.02}Sm_{0.02}Ca_{0.02})_{0.99}(P_{0.87}Si_{0.09})_{0.96}O_4$
3	31.23	15.85	12.91	2.78	3.24	0.43	0.00	2.53	29.64	99.96	$(Ce_{0.45}La_{0.23}Nd_{0.18}Pr_{0.05}Th_{0.03}Sm_{0.03}Gd_{0.02}Ca_{0.02})_{1.01}P_{0.99}O_4$

Примечание. Анализы №№ 2 и 3 содержат 1.51 мас. % Al_2O_3 / 5.62 мас. % Fe_2O_3 и 1.34 мас. % Gd_2O_3, соответственно. Формула монацита рассчитана на O = 4.

Note. Analyses nos. 2 and 3 contain 1.51 wt. % Al_2O_3 / 5.62 wt. % Fe_2O_3 and 1.34 wt. % Gd_2O_3, respectively. The formula of monazite is based on O = 4.

Таблица 6. Химический состав микровключений ксенотима в самородном золоте из Сурья-Казанской россыпи (мас. %)
Table 6. Chemical composition of xenotime microinclusions in native gold from the Sur'ya-Kazanskaya placer (wt. %)

№	Y_2O_3	Er_2O_3	Yb_2O_3	Dy_2O_3	Gd_2O_3	Ho_2O_3	P_2O_5	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	43.84	6.40	5.24	5.99	2.49	1.33	34.39	99.68	$(Y_{0.82}Dy_{0.07}Er_{0.04}Yb_{0.04}Gd_{0.03}Ho_{0.01})_{0.99}P_{1.00}O_4$
2	40.46	7.37	5.91	6.70	3.24	1.19	33.40	99.46	$(Y_{0.75}Er_{0.08}Dy_{0.07}Yb_{0.06}Gd_{0.04}Ho_{0.01}Tb_{0.01}Fe_{0.01})_{1.03}P_{0.98}O_4$
3	46.49	4.01	3.51	6.37	2.86	0.93	35.76	99.92	$(Y_{0.79}Dy_{0.07}Er_{0.07}Yb_{0.05}Gd_{0.03}Ho_{0.01})_{0.99}P_{0.99}O_4$

Примечание. Анализ № 2 содержит 0.55 мас. % Fe_2O_3 и 0.64 мас. % Tb_2O_3. Формула ксенотима рассчитана на O = 4.
Note. Analysis no. 2 contains 0.55 wt. % Fe_2O_3 and 0.64 wt. % Tb_2O_3. The formula of monazite is based on O = 4.

Таблица 7. Химический состав микровключений анкерита в самородном золоте из Сурья-Казанской россыпи (мас. %)
Table 7. Chemical composition of ankerite microinclusions in native gold from the Sur'ya-Kazanskaya placer (wt. %)

№ п/п	Ca	Fe	Mg	Mn	O	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	28.52	14.44	8.12	0.44	48.10	99.62	$Ca(Fe_{0.43}Mg_{0.56}Mn_{0.01})_{1.00}CO_3$
2	26.05	15.68	8.86	0.35	48.82	99.76	$Ca(Fe_{0.43}Mg_{0.56}Mn_{0.01})_{1.00}CO_3$
3	26.87	14.90	9.22	0.45	48.41	99.85	$Ca(Mg_{0.58}Fe_{0.41}Mn_{0.01})_{1.00}CO_3$

Примечание. Формула анкерита рассчитана на основе атомных соотношений.
Note. The formula of ankerite is based on atomic ratios.

Таблица 8. Химический состав микровключений сульфидов и сульфосолей в самородном золоте из Сурья-Казанской и Саменской россыпей (мас. %)
Table 8. Chemical composition of sulfide and sulfosalt microinclusions in native gold from the Sur'ya-Kazanskaya and Samenka placers (wt. %)

№ п/п	Fe	Cu	S	Sb	Bi	Zn	As	Pb	Se	Te	Ni	Сумма	Кристаллохимическая формула
Пирит (S = 2)													
1	46.80	–	53.20	–	–	–	–	–	–	–	–	–	$Fe_{1.01}S_2$
2	46.91	–	53.09	–	–	–	–	–	–	–	–	–	$Fe_{1.01}S_2$
3	46.56	–	53.44	–	–	–	–	–	–	–	–	–	$Fe_{1.00}S_2$
Халькопирит (S = 2)													
4	30.47	34.00	35.53	–	–	–	–	–	–	–	–	–	$Cu_{0.97}Fe_{0.98}S_2$
5	30.32	34.73	34.94	–	–	–	–	–	–	–	–	–	$Cu_{1.00}Fe_{1.00}S_2$
6	30.20	35.01	34.78	–	–	–	–	–	–	–	–	–	$Cu_{1.02}Fe_{1.00}S_2$
Борнит (S = 4)													
7	10.45	64.17	25.37	–	–	–	–	–	–	–	–	99.99	$Cu_{5.10}Fe_{0.95}S_4$
8	11.40	62.80	25.70	–	–	–	–	–	–	–	–	99.90	$Cu_{4.93}Fe_{1.02}S_4$
Халькозин (S = 1)													
9	1.91	76.20	21.89	–	–	–	–	–	–	–	–	100.00	$(Cu_{1.76}Fe_{0.05})_{1.81}S$
10	0.70	78.65	20.65	–	–	–	–	–	–	–	–	100.00	$(Cu_{1.92}Fe_{0.02})_{1.94}S$
Галенит (S = 1)													
11	0.20	0.00	13.24	–	–	–	–	86.27	0.25	–	–	99.96	$Pb_{1.00}(S_{0.99}Se_{0.01})_{1.00}$
12	0.63	0.79	13.30	–	–	–	–	85.27	0.00	–	–	99.99	$(Pb_{0.99}Cu_{0.03}Fe_{0.03})_{1.04}S$
13	0.00	0.00	13.50	–	–	–	–	86.5	0.00	–	–	100.00	$Pb_{0.99}S$
Тетраэдрит (S = 13)													
14	2.93	38.75	24.78	21.89	4.51	3.61	3.54	–	–	–	–	100.01	$Cu_{6.07}Cu_{4.00(}Zn_{0.93}Fe_{0.88}Cu_{0.19})_{2.00}(Sb_{3.02}As_{0.79}Bi_{0.36})_{4.11}S_{12}S_1$
15	2.96	38.47	24.77	21.94	4.62	3.74	3.50	–	–	–	–	100.00	$Cu_{6.04}Cu_{4.00(}Zn_{0.96}Fe_{0.89}Cu_{0.15})_{2.00}(Sb_{3.03}As_{0.79}Bi_{0.37})_{4.19}S_{12}S_1$

В самородном золоте сохраняются включения сульфидов и сульфосолей. Чаще всего встречается пирит (Сурья-Казанская и Саменская россыпи). Диапазон пробности золота с включениями пирита составляет 883–956 ‰ (мода 940–950 ‰). Пирит не содержит примесей (табл. 8). Он наблюдается в двух ассоциациях: кварц + рутил + циркон и гидроксиды Fe + монацит-(Ce).

Халькопирит обнаружен в зернах золота Сурья-Казанской россыпи, пробность которых составляет 912–943 ‰ (преобладает 910–920 ‰). Химический состав без примесей (табл. 8). Минерал образует устойчивые ассоциации: пирит + кварц + циркон и тетраэдрит + галенит.

Борнит встречен в одном зерне золота из Сурья-Казанской россыпи, пробность которого составляется 960 ‰. В составе борнита примеси не обнаружены (табл. 8). В ассоциации с борнитом другие минералы не встречаются.

Минералы группы халькозина обнаружены в одном зерне золота из Благодатной россыпи, пробность которого составляет 969 ‰. В химическом составе халькозин содержит Fe (1.91–10.45 мас. %) (табл. 8). В ассоциации с минералами группы халькозина отмечается кварц.

Галенит и блеклая руда, представленная тетраэдритом, ассоциируют друг с другом в одном зерне золота из Сурья-Казанской россыпи, пробность которого составляет 943 ‰. В галените зафиксированы мас. %: Fe (0.20–0.69), Cu (до 0.79) и Se (до 0.25 м) (табл. 8). Для тетраэдрита характерно присутствие (мас. %): Fe (2.91–2.96), Zn (3.61–3.74), Sb (21.87–21.94), As (3.50–3.62), Bi (4.42–4.62) (табл. 8). В ассоциации с тетраэдритом и галенитом встречаются халькопирит и циркон.

Теллуриды встречены в зернах золота из Сурья-Казанской (мелонит) и Саменской (алтаит) россыпей. Пробность золота с алтаитом составляет 943 ‰, с мелонитом – 897 ‰. С алтаитом ассоциируют титанит, кварц и глинистые минералы, с мелонитом – глинистые минералы. Состав теллуридов стехиометричный (табл. 9).

Таблица 9. Химический состав микровключений теллуридов в самородном золоте из Сурья-Казанской и Саменской россыпей (мас. %)
Table 9. Chemical composition of telluride microinclusions in native gold from the Sur'ya-Kazanskaya and Samenka placers (wt. %)

№ п/п	Pb	Se	Te	Ni	Сумма	Кристаллохимическая формула
Алтаит (Te = 1)						
1	61.87	–	38.13	–	100.00	$Pb_{1.00}Te$
Мелонит (Te = 2)						
2	–	–	80.37	18.36	98.73	$Ni_{0.99}Te_2$
3	–	–	80.81	18.84	99.65	$Ni_{1.01}Te_2$

Характеристика пород таборной свиты

Саменская россыпь залегает на породах таборной свиты, представленных песчаниками и глинистыми сланцами с полимиктовыми конгломератами в основании, для которых характерно высокое содержание Cr-содержащего мусковита. На Приполярном Урале известна аналогичная по составу и структурному положению золотоносная алькесвожская свита. Изученные образцы пород таборной свиты представляют собой мелко-среднезернистые, средне-крупнозернистые песчаники с частыми включениями обломков крупно- и гигантозернистой размерности. Обломочная часть представлена кварцем (80–85 %), слюдами (10–15 %), хлоритом (до 5 %) и калиевым полевым шпатом (до 5 %). Из акцессорных минералов встречаются турмалин, рутил, циркон, монацит, ксенотим, магнетит и гематит, хромшпинелиды. В отобранных четырех протолочных пробах из наиболее насыщенных фукситом участков таборной свиты золото не обнаружено .

Содержание Cr_2O_3 в мусковите из пород таборной свиты варьирует от 0.62 до 4.42 мас. %, минерал также содержит (мас. %): Na_2O (0.35–1.15), MgO (0.88–4.47), TiO_2 (0.46–2.86), BaO (1.54–2.93), Cl (0.31–1.20) и Fe_2O_3 (1.28–11.56). В хромшпинелидах установлены (мас. %): MgO (0.78–9.09), TiO_2 (до 1.17), MnO (1.43–2.13) и ZnO (0.82–4.26). Хлорит содержит (мас. %): Cr_2O_3 (0.55–1.62), K_2O (0.39–1.60) В рутиле зафиксирован (мас. %): Fe_2O_3 (0.56–2.34) и Al_2O_3 (1.87–3.23); в магнетите (мас. %): TiO_2 (0.90–7.08), MgO (0.62–1.75), Cr_2O_3 (0.51–5.19), CoO (до 0.23) (ЭП 2).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Источники россыпной минерализации региона

Морфология изученных зерен золота из Саменской, Сурья-Казанской и Благодатной россыпей свидетельствуют, что их перенос происходил на сравнительно малые расстояния от коренного источника. Поскольку на Приполярном Урале несколько рудопроявлений золота (Нестеровское, Амфитеатр) относятся к типу палеороссыпей (Антошкина и др., 2011; Кузнецов и др., 2018), связанных с породами алькесвожской свиты верхнего кембрия–нижнего ордовика, то на Кваркушской площади, в первую очередь, привлекает внимание таборная свита того же возраста, занимающая аналогичное структурное положение и имеющая сходный вещественный состав. Для алькесвожской свиты характерна золотоносность во всем объеме и особо высокая (до первых десятков граммов на тонну) – в фукситсодержащих горизонтах; типичными акцессорными минералами алькесвожской свиты являются рутил, гематит, магнетит, хромшпинелиды с примесью Zn, монацит, ксенотим и другие минералы (Повонская, Ефанова, 1999).

Таборная свита приурочена к межформационному контакту между рифей-вендским комплексом доуралид и каледоно-герцинским комплексом уралид. Изученные отложения таборной свиты по петрографической и минеральной характеристике, содержаниям Cr в мусковите (Повонская и др., 1999) и примесей в хромшпинелидах (Онищенко, 1999), в целом, аналогичны алькесвожской свите и, соответственно, могут рассматриваться в качестве возможного источника золота.

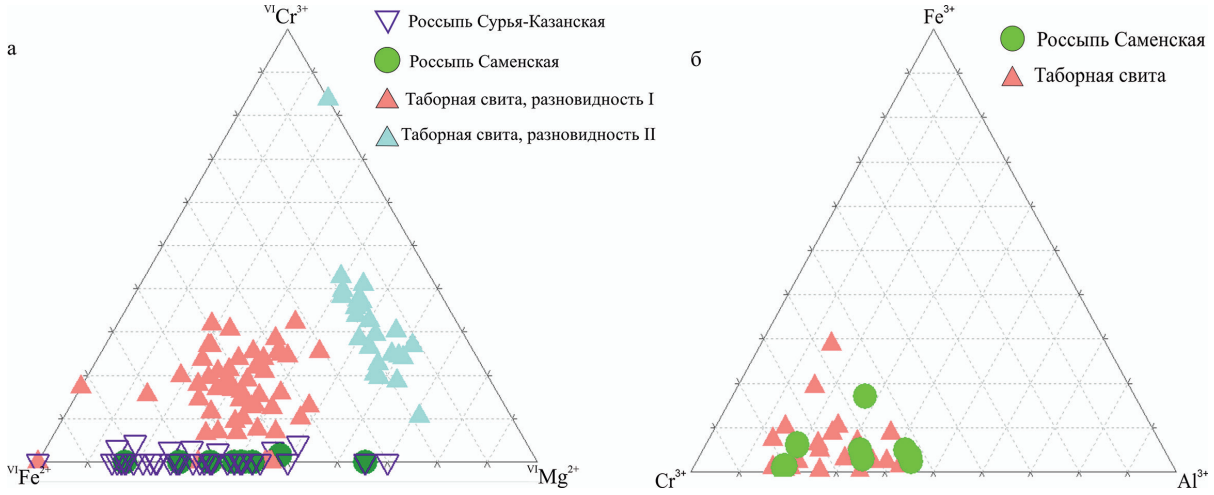


Рис. 9. Соотношение компонентов в слюдах (а) и хромшпинелидах (б) из зерен самородного золота Сурья-Казанской и Саменской россыпей и пород таборной свиты.

Fig. 9. Ratio of components in micas (a) and chromspinels (б) from Sur'ya-Kazanskaya and Samenka gold placers and rocks of the Tabor Formation.

Таборная свита как источник самородного золота

Для определения возможной золотоносности таборной свиты было проведено сравнение состава слюд и хромшпинелидов из пород таборной свиты и из включений в золоте россыпей. Слюды группы мусковита встречаются в виде включений в золоте Саменской и Сурья-Казанской россыпей и в обломочной части пород таборной свиты. Хромшпинелиды встречаются в магнитной фракции изученных проб из Саменской россыпи и в виде акцессорных минералов в породах таборной свиты.

Слюды группы мусковита из таборной свиты можно разделить на две разновидности, которые отличаются друг от друга по соотношению Fe и Mg в октаэдрической позиции и встречаются в примерно равных количествах (рис. 9а). Разновидность I характеризуется отношением Fe : Mg от 2.30 до 0.80. В менее железистой разновидности II это соотношение составляет 0.66–0.33. Включения слюд в золоте из Саменской и Сурья-Казанской россыпей соответствуют этим же разновидностям, однако среди них значительно преобладают слюды разновидности I, к которой относятся все слюды с хромом, тогда как слюды разновидности II хром не содержат. Несколько изученных слюд как из таборной свиты, так и из зерен золота не содержат Mg. Слюды из таборной свиты и включений в золоте из россыпей отличаются по содержанию Cr. Наличие двух разновидностей слюд может указывать на их происхождение из различных источников. Хромшпинелиды таборной свиты и магнитной фракции Саменской россыпи, в целом, имеют сходный состав (рис. 9б).

Таким образом, отсутствие золота в изученных пробах из таборной свиты, а также отличия в составе, в первую очередь разные содержания Cr, в слюдах группы мусковита из таборной свиты и микровключениях в самородном золоте указывают на малую вероятность того, что породы таборной свиты являются основным источником золота исследуемых россыпей.

Сравнение с золотоносными месторождениями Приполярного Урала

Основными особенностями исследуемых россыпей является их приуроченность к породам таборной свиты и наличие включений Cr-содержащего мусковита (фуксита) в золоте. На Приполярном Урале известны два месторождения, в которых золото связано с фукситсодержащими породами – Чудное и Нестеровское.

Месторождение Чудное связано с позднерифейскими метабазальтами и метариолитами саблегорской свиты; золото-палладиевое оруденение приурочено к тонким фукситовым прожилкам, образующим линейные штокверки. Содержание золота в метариолитах с прожилками составляет

2–8 г/т, а на наиболее обогащенных участках достигает сотен граммов на тонну (Онищенко, Кузнецов, 2024). В целом, содержание Au меняется от 65.8 до 92.7 мас. % Ag – от 0.4 до 33.8 мас. %, почти всегда присутствуют Cu (до 12.7 мас. %) и Pd (до 2.9 мас. %), редко встречается Hg (до 1.28 мас. %). Иногда в золоте в виде кайм отмечаются более высокопробные участки (Онищенко, Кузнецов, 2023). Самородное золото часто встречается в сростках с другими минералами: алланитом, кварцем, калиевым полевым шпатом, фукситом, атенеитом, альбитом и мертиитом (Palyanova et al., 2021). Самородное золото изучаемых россыпей отличается гораздо меньшими вариациями пробности и для него не характерно наличие примесей Pd и Hg, а содержания Cu гораздо ниже.

Нестеровское месторождение связано с терригенными породами алькесвожской свиты, золото в нем распределено по всему разрезу и имеет наибольшие содержания в фукситизированных участках. Самородное золото в целом выдержано по химическому составу: пробность варьирует от 978 до 983 ‰, типичными примесями являются Cu (0.55–2.19 мас. %) и Ag (0.28–0.97 мас.%), редко фиксируются Pd (0.08–1.47 мас. %) и Hg (до 0.2 мас. %). В ассоциации с золотом встречаются минералы Pd, в частности атенеит, а также фуксит, кварц, мусковит. Для зерен золота характерны высокопробные оторочки (Кузнецов и др., 2018). Золото исследуемых россыпей также приурочено к породам таборной свиты, аналогичным алькесвожской свите, однако для самородного золота из россыпей Кваркушского района характерны больший разброс пробности и содержаний Ag, а также не характерны примеси Pd и Hg.

Таким образом, золото Благодатной, Саменской и Сурья-Казанской россыпей значительно отличаются по набору элементов-примесей от такового из месторождений Чудное и Нестеровское. Сходство микровключений минералов наблюдается только для наиболее распространенных минералов (кварц, мусковит, полевые шпаты) и фуксита. В геологическом плане россыпи приурочены к породам, подобным алькесвожской свите, но не имеют связи с породами, подобными саблегорской свите. Скорее всего, рассмотренные золоторудные месторождения Приполярного Урала не являются аналогом коренного источника описываемых россыпей.

Возможный генетический тип коренного источника

Н.В. Петровской (1973) были исследованы парагенетические минеральные ассоциации в золоторудных месторождениях и установлены так называемые «продуктивные» ассоциации в рудах месторождений золота различных формаций. Эти ассоциации представляют собой равновесные минеральные совокупности, формирующиеся в узких интервалах физико-химических параметров в условиях стадиального рудообразования. В рамках этой модели принято, что в каждой стадии формируется одна или несколько парагенетических минеральных ассоциаций (Петровская, 1973).

Современные исследователи выделяют устойчивые, вариабельные и эпизодические ассоциации для основных типов золоторудных месторождений. Минеральные ассоциации, особенно доминирующие, служат важным диагностическим критерием для отнесения золоторудной минерализации к определенному рудно-формационному типу (Николаева и др., 2023). Нами выявлен широкий спектр минералов-включений в золоте, большинство из которых известно в составе золоторудных ассоциаций в различных месторождениях по всему миру (табл. 10). Разнообразие геологических обстановок, в которых формируются золоторудные месторождения, отражается в специфических минеральных ассоциациях и составе элементов-примесей в рудных минералах.

На основе анализа состава, размера и пробности золота и минеральных включений в нем предполагается, что золото изученных россыпей связано с золото-кварцевым малосульфидным и золото-полисульфидно-кварцевым типами месторождений.

На связь с золото-кварцевым малосульфидным типом указывают преобладание высокопробных зерен золота с включениями кварца, редко ассоциирующего с сульфидами, а также характерные для этого типа включения рутила, мусковита, полевых шпатов и хлоритов. Месторождения этого типа формируются на орогенных стадиях развития складчатых областей в условиях больших и средних глубин. Углеродсодержащие терригенные и карбонатно-терригенные толщи, вмещающие золото-кварцевую малосульфидную минерализацию, часто метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации (Николаева, Михайлов, 2015).

Таблица *10.* Характеристика основных типов коренных золоторудных месторождений по (Николаева, Михайлов, 2015) с дополнениями
Table 10. Characteristic of main types of gold deposits, modified after (Nikolaeva, Mikhaylov, 2015)

Типы месторождений	Золотоносные минеральные ассоциации	Минералы-включения	Размеры	Пробность	Элементы-примеси	Примеры месторождений
Золото-кварцевый малосульфидный	Сульфидно-полиметаллическая с блеклой рудой или без, пирит-арсенопиритовая, сульфидно-полиметаллическая, кварцевая, сульфосольная	Карбонаты, мусковит, парагонит, хлорит, альбит, рутил, апатит	Преобладание мелкого (0.25–1.00 мм) золота	Средняя и высокая (850–950 ‰)	Cu, Fe, Pb, As, Bi, Sb, Te	Советское, Наталкинское, Ветренское, Совиное
Золото-кварц-сульфидный	Кварц-пирит-арсенопиритовая, сульфидно-полиметаллическая с блеклой рудой или без, кварцевая	Галенит, халькопирит, сфалерит, блеклая руда, арсенопирит, пирротин	Преимущественно микроскопическое (<0.05 мм)	Средняя и высокая. Для золота ранней генерации типична пробность 900–940 ‰, поздней – 860–880 ‰	Fe, Cu, Pb, Bi, Te, As	Сухой Лог, Голец Высочайший, Вернинское, Александро-Невское, месторождения пояса Абитиби (Канада; Helt, 2012)
Золото-мышьяковисто-сульфидный	Бертьерит-антимонитовая, халькостибит-сфалерит-блекловорудная, пирит-арсенопиритовая, сульфидно-полиметаллическая	Пирит, арсенопирит, пирротин, антимонит, бертьерит, аурostибит, галенит, сфалерит	Преобладает субмикроскопическое и тонкодисперсное (<0.0005–0.01 мм), реже встречается тонкое (0.01–0.1 мм)	Для субмикроскопического и тонкодисперсного — высокая (900–950 ‰), для более крупного — средняя и высокая (800–950 ‰)	Cu, Hg, Sb, Pb, As	Олимпиадинское, Майское, Нежданинское, Кючюс, Квадрилатеро Феррифero (Бразилия; Chauvet et al., 2001), Мурунтау (Узбекистан; Савчук и др., 2018), Кумтор (Киргизия; Борисов и др., 2001)
Золото-антимонит-кварцевый	Бертьерит-антимонитовая, пирит-арсенопиритовая, сульфидно-полиметаллическая	Антимонит, бертьерит, гидрослюды, пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, халькопирит	Преобладает тонкое (0.01–0.1 мм) золото при широком диапозоне размеров: от субмикрсокопического до среднего	Преобладает высокопробное золото (900–950 ‰)	Общая бедность примесями	Сарылах, Сентачан, Маптан

Продолжение таблицы

Типы месторождений	Золотоносные минеральные ассоциации	Минералы-включения	Размеры	Пробность	Элементы-примеси	Примеры месторождений
Золото-полисульфидно-кварцевый	Полисульфидная и сульфидно-полиметаллическая с минералами Bi и Te, сульфидно-теллуридно-висмутовая, теллуридная пирит-арсенопиритовая	Арсенопирит, пирит, шеелит, пирротин, галенит, сфалерит, анкерит, мусковит, блеклые руды, теллуриды	Преобладает мелкое (0.25–1.00 мм)	Преобладает высокопробное золото (900–950 ‰) при широких вариациях. Зачастую распределение полимодальное	Cu, Fe, Pb, Bi, As, Te, Co, Ni, Zn, Sb	Березовское, Кочкарское, Дарасунское, Любавинское, Калгурли (Австралия; Vielreicher et al., 2016)
Золото-скарновый	Медно-сульфидная, висмут-теллуридная, пирит-арсенопиритовая, кварцевая	Магнетит, гематит, пирит, халькопирит, халькозин, борнит, пирротин, сфалерит, галенит	Преобладает тонкое и мелкое золото (0.05–0.25 мм)	Преимущественно высокая и средняя (850–950 ‰)	Cu (до первых %), Bi, As, Te, Sb	Лебедское, Синюхинское, Тарорское, Никель Плейт, Пик Хилл (Австралия; White et al., 1995)
Золото-серебряный	Теллуридная, полисульфидная, блекловорудная, серебро-акантитовая, серебро-сульфосольная, адуляр-кварцевая	Карбонаты, гидрослюды, адуляр, глинистые минералы, цеолиты, эпидот, блеклые руды, гематит, антимонит	Преобладает тонкое золото (0.05–0.1 мм)	Преобладает низкопробное золото (700–800 ‰), высокая дисперсия пробности, полимодальное распределение	Fe, As, Cu, Pb, Hg, Sb, Se, Mn	Карамкен, Балейско-Тасеевское, Агинское, Хаканджа, Пуэбло Вьехо (Доминикана; Nelson, 2000), Сакаримб (Румыния; Ciobanu et al., 2005)

Месторождения золото-полисульфидно-кварцевого типа в изучаемом районе, вероятно, связаны с лиственит-березитовыми метасоматитами, на что указывают включения сульфидов (пирит, халькопирит, тетраэдрит, галенит), теллуридов, слюд ряда мусковит-фенгит, анкерита и фуксита, высокая и очень высокая пробность золота с этими включениями (Сазонов, Коротеев, 2009).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Золото Сурья-Казанской, Саменской и Благодатной россыпей Кваркушского района (Пермский край) характеризуется высокой и очень высокой пробностью: 802–999, 865–999 и 923–985 ‰, соответственно. Для большинства зерен золота характерны маломощные высокопробные каймы. Наиболее распространенными примесями в золоте являются Ag (до 14.02 мас. %) и Cu (до 2.20 мас. %), спорадически установлены Fe и Te.

В россыпях преобладают плохо- и слабоокатанные зерна золота, в 80 % случаев обнаружены минеральные включения. В связи с этим, предполагается, что транспортировка золота происходила на малые расстояния и коренные источники расположены поблизости. Тонкие высокопробные каймы указывают на слабую степень химической переработки самородного золота.

Наиболее распространенными минеральными включениями в изученном россыпном золоте являются кварц, глинистые минералы, рутил, слюды группы мусковита, циркон, гидроксиды Fe и пирит. В большинстве зерен золота встречены включения нескольких минералов, из них наиболее часто встречаются следующие ассоциации: кварц и рутил; кварц и пирит; кварц, фенгит, мусковит и Cr-содержащий мусковит; рутил и циркон; монацит-(Ce) и циркон.

По составу и морфологии золото россыпей Кваркушского района заметно отличается от месторождений Приполярного Урала (Чудное, Нестеровское); основные отличия связаны с пробностью, составом элементов примесей и набором минеральных включений самородного золота. Изученные пробы пород таборной свиты не золотоносны, изученные слюды этих пород отличаются от слюдмикровключений в зернах золота, в породах данной свиты отсутствуют известные коренные месторождения; источником золота изучаемых россыпей данные породы скорее всего не являются.

Геологическое строение территории, пробность золота и минеральный состав включений позволяют предположить два основных типа источника: жилы золото-кварцевого малосульфидного типа и лиственит-березитовые метасоматиты золото-полисульфидно-кварцевого типа. Перспективы поиска коренных месторождений в Кваркушском районе связаны, прежде всего, с зонами тектонических нарушений, где могут локализоваться березитизированные и лиственитизированные породы, а также кварцевые жилы. Таким образом, генетическая модель россыпного золота Кваркушского района предполагает его образование в результате разрушения близлежащих гидротермально-метасоматических систем, связанных с магматическими породами кислого состава, а также региональным метаморфизмом. Для уточнения источников необходимы полевые геологические исследования по выявлению зон метасоматических изменений, а также дополнительные геохимические и изотопные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

Антошкина А.И., Салдин В.А., Сандула А.Н., Никулова Н.Ю., Пономаренко Е.С., Шадрин А.Н., Шеболкин Д.Н., Канева Н.А. (2011) Палеозойское осадконакопление на внешней зоне шельфа пассивной окраины северо-востока Европейской платформы. Сыктывкар, Геопринт, 200 с. https://doi.org/10.19110/98491-029

Борисов Ф.И., Горбанева Т.В., Замалетдинов Т.С., Караев Ю.В., Ларина Т.В., Никоноров В.В., Тольский В.И. (2001) Золото Кыргызстана. Книга 1. Геология. Условия локализации. Бишкек, Наси, 271 с.

Есипов П.М., Заболотская М.Ф., Зудин Ф.Д. (1950ф) Геологическая карта Урала масштаба 1 : 200 000, листы P-40-XXXIV (восточная половина), P-40-XXXV (западная половина). Отчет Верхне-Вишерской геолого-съемочной партии по работам лета 1949 г. Свердловск.

Захаров И.Н. (2023ф) Проектная документация на осуществление работ по объекту: «Проведение в 2023-2025 годах региональных геолого-съемочных работ масштаба 1 : 200 000 на группу листов в пределах Приволжского и Уральского ФО». Санкт-Петербург, 342 с.

Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. (2015) Золото-алмазная колыбель России. Пермь, ПГНИУ, 131 с.

Кротов П.И. (1885ф) Предварительный отчет о геологических исследованиях в Пермской губернии, произведенных летом 1885. Санкт-Петербург, тип. А. Якобсона, 34 с.

Кузнецов С.К., Майорова Т.П., Сокерина Н.В., Глухов Ю.В. (2018) Золотоносные районы западного склона Урала и Тимана. *Известия Коми НЦ УрО РАН*, 4(36), 81–94. https://doi.org/10.19110/1994-5655-2018-4-81-94

Курбацкий А.М., Шимановский В.А., Клименко Б.В. (1964ф) Геологическая карта Урала масштаба 1 : 50 000, листы P-40 130-В, Г, -131-В. Отчет Кутимской партии о поисково-съемочных работах, проведенных на западном склоне Северного Урала в бассейне рек Улс и Кутим в 1962–1963 гг. Пермь.

Милановский Е.Е. (1996) Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии). Москва, МГУ, 448 с.

Наумов В.А., Коврижных С.В. (2018) Основные черты формирования золотоносных россыпей на западном склоне Среднего Урала. *Вестник Пермского университета. Геология*, 17(2), 164–170. http://dx.doi.org/10.17072/psu.geol.17.2.164

Ненахов М.Е., Попов А.П., Суханова Е.Ф. (1948ф) Геологическая карта Северного Урала масштаба 1 : 100 000, лист P-40-118 (восточная половина) и лист P-40-130 (восточная половина). Отчет Вишерской железо-рудной экспедиции по геолого-съемочным и поисковым работам за 1947 г. Свердловск.

Николаева Л.А., Гаврилов А.М., Некрасова А.Н. (2023) Изучение золота при геологоразведочных работах: методические рекомендации. Москва, ЦНИГРИ, 73 с.

Николаева Л.А., Михайлов Б.К. (2015) Самородное золото рудных и россыпных месторождений России: атлас. Москва, Акварель, 200 с.

Николаева Л.А., Яблокова С.В. (2007) Типоморфные особенности самородного золота и их использование при геологоразведочных работах. *Руды и металлы*, 6, 41–57.

Онищенко С.А. (1999) О реликтах хромшпинелидов в базальной части алькесвожской толщи (рудопроявление Нестеровское, приполярный Урал). *Золотоносные конгломераты Урала*, 3, 8–9.

Онищенко С.А., Кузнецов С.К. (2023) Самородное золото Au-Pd месторождения Чудное (Приполярный Урал, Россия). *Геология и геофизика*, 64(2), 233–254. https://doi.org/10.15372/GiG2022122

Онищенко С.А., Кузнецов С.К. (2024) Минералы палладия и платины в рудах Au-Pd месторождения Чудное (Приполярный Урал, Россия). *Литосфера*, 24(3), 526–546. https://doi.org/10.24930/2500-302X-2024-24-3-526-546

Петровская Н.В (1973) Самородное золото. Общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса. Москва, Наука, 347 с.

Повонская Н.В., Ефанова Л.И. (1999) Типоморфные особенности минералов алькесвожской толщи на участке Нестеровский. *Золотоносные конгломераты Урала*, 3, 9–18.

Попов А.Г. (2017) Золото бассейна р. Вишеры Северного Урала. *Геология и полезные ископаемые Западного Урала*, 17, 49–57.

Попов В.В., Зобачев В.А., Качанов А.Н. (1966ф) Геологическая карта Урала масштаба 1 : 50 000, листы P-40-142-А, В и Б, Г (западная половина). Отчет о работах Яйвинской геологосъемочной партии на западном склоне Северного Урала (хр. Кваркуш) за 1963–1965 гг. Пермь.

Савчук Ю.С., Асадулин Э.Э., Волков А.В., Аристов В.В. (2018) Уникальное месторождение золота Мурунтау (Узбекистан): геодинамическая позиция и происхождение рудообразующей системы. *Геология рудных месторождений*, 60(5), 413–447. https://doi.org/10.1134/S0016777018050064

Сазонов В.Н., Коротеев В.А. (2009) Основные золотопродуктивные и сопутствующие метасоматические формации Урала. Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 161 с.

Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А. (2001) Месторождения золота Урала. Екатеринбург, УГГА, 622 с.

Федоров Е.С. (1896ф) Детальная геологическая съемка Богословского горного округа. Пермь, Типолит. губ. правл., 25 с.

Чураков И.Ф. (1910ф) Месторождения золота в южной части Северного Урала. *Уральский техник*, 4(9), 3–14.

Чухров Ф.В. (1992) Минералы. Справочник. Том 4. Выпуск 1. Силикаты со структурой, переходной от цепочечной к слоистой. Слоистые силикаты (каолиновые минералы, серпентины, пирофиллит, тальк, слюды). Москва, Наука, 599 с.

Chauvet A., Piantone P., Barbanson L., Nehlig P., Pedroletti I. (2001) Gold deposit formation during collapse tectonics: structural, mineralogical, geochronological, and fluid inclusion constraints in the Ouro Preto gold mines, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Economic Geology*, 96(1), 25–48. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.96.1.25

Ciobanu C.L., Cook N.J., Capraru N., Damian G., Cristera P. (2005) Mineral assemblages from the vein salband at Sacarimb, Golden Quadrilateral, Romania: I. Sulphides and sulphosalts. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 43, 47–55.

Helt K.M. (2012) The Canadian Malartic deposit: an example of oxidized intrusion-related gold mineralization in the Abitibi Greenstone belt, Quebec, Canada. M.Sc. thesis. Montreal, McGill University, 171 p.

Nelson C.E. (2000) Volcanic domes and gold mineralization in the Pueblo Viejo district, Dominican Republic. *Mineralium Deposita*, 35(6), 511–525. https://doi.org/10.1007/s001260050258

Palyanova G., Murzin V., Borovikov A., Karmanov N., Kuznetsov S. (2021) Native gold in the Chudnoe Au-Pd-REE deposit (Subpolar Urals, Russia): composition, minerals in intergrowth and genesis. *Minerals*, 11(5), #451. https://doi.org/10.3390/min11050451

Rieder M., Giancarlo C., D'yakonov Yu.S., Frank-Kamenetskii V.A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval P.V., Muller G., Neiva A.M.R., Radoslovich E.W., Robert J.-L., Sassi F.P., Takeda H., Wiss Z., Wones D.R. (1999) Nomenclature of micas. *Mineralogical Magazine*, 62(2), 267–279. https://doi.org/10.1180/minmag.1999.063.2.13

Vielreicher N.M., Groves D.I., McNaughton N.J. (2016) The giant Kalgoorlie gold field revisited. *Geoscience Frontiers*, 7(3), 359–374. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.07.006

White N.C., Leake M.J., McCaughey S.N., Parris B.W. (1995) Epithermal gold deposits of the southwest Pacific. *Journal of Geochemical Exploration*, 54(2), 87–136. https://doi.org/10.1016/0375-6742(95)00027-6

REFERENCES

Antoshkina A.I., Saldin V.A., Sandula A.N., Nikulova N.Yu., Ponomarenko E.S., Shadrin A.N., Shebolkin D.N., Kaneva N.A. (2011) *Paleozoic sedimentation in the outer shelf part of the NE European platform passive margin*. Syktyvkar, Geoprint, 200 p. (in Russian) https://doi.org/10.19110/98491-029

Borisov F.I., Gorbaneva T.V., Zamaletdinov T.S., Karaev Yu.V., Larina T.V., Nikonorov V.V., Tolsky V.I. (2001) *Gold of Kyrgyzstan. Book 1. Geology. Localization conditions*. Bishkek, Nasi, 271 p. (in Russian)

Chauvet A., Piantone P., Barbanson L., Nehlig P., Pedroletti I. (2001) Gold deposit formation during collapse tectonics: structural, mineralogical, geochronological, and fluid inclusion constraints in the Ouro Preto gold mines, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Economic Geology*, 96(1), 25–48. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.96.1.25

Chukhrov F.V. (1992) Minerals. Guide. Volume 4. Issue 1. Silicates with a transitional chain to layered structure. Layered silicates (kaolinite minerals, serpentines, pyrophyllite, talc, micas). Moscow, Nauka, 599 p. (in Russian)

Churakov I.F. (1910) Unpublished report on gold deposits in the southern part of the North Urals. *Uralsky technik (Urals Engineer)*, 4(9), 3–14. (in Russian)

Ciobanu C.L., Cook N.J., Capraru N., Damian G., Cristera P. (2005) Mineral assemblages from the vein

salband at Sacarimb, Golden Quadrilateral, Romania: I. Sulphides and sulphosalts. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 43, 47–55.

Esipov P.M., Zabolotskaya M.F., Zudin F.D. (1950) Geological map of the Urals on a scale of 1 : 200 000, sheets P-40-XXXIV (eastern half) and P-40-XXXV (western half). Unpublished report of the Upper Vishera geological survey party about the summer work of 1949. Sverdlovsk. (in Russian)

Fedorov E.S. (1896) Detailed geological survey of the Bogoslovsky mining district. Perm, Tipolit. gub. pravl., 25 p. (in Russian)

Helt K.M. (2012) The Canadian Malartic deposit: an example of oxidized intrusion-related gold mineralization in the Abitibi Greenstone belt, Quebec, Canada. M.Sc. thesis. Montreal, McGill University, 171 p.

Kopylov I.S., Naumov V.A., Naumova O.B., Kharitonov T.V. (2015) Gold-diamond cradle of Russia. Perm, PGNIU, 131 p. (in Russian)

Krotov P.I. (1885) Preliminary unpublished report on geological studies in Perm region conducted in summer 1885. St. Petersburg, tip. A. Yakobson, 34 p.

Kurbatsky A.M., Shimanovsky V.A., Klimenko B.V. (1964) Geological map of the Urals on a scale of 1 : 50 000, sheets R-40 130-V, G, -131-V. Unpublished report of the Kutim party prospeting and survey work in the western slope of the North Urals in the basin of the Uls and Kutim rivers in 1962–1963. Perm. (in Russian)

Kuznetsov S.K., Mayorova T.P., Sokerina N.V., Glukhov Yu.V. (2018) Gold-bearing regions of the western slope of the Urals and Timan. *Izvestiya Komi NTs UrO RAN (Proceedings of the Komi SC UB RAS)*, 4(36), 81–94. (in Russian) https://doi.org/10.19110/1994-5655-2018-4-81-94

Milanovsky E.E. (1996) Geology of Russia and of CIS countries (Northern Eurasia). Moscow, MGU, 448 p. (in Russian)

Naumov V.A., Kovrizhnykh S.V. (2018) Main features of the formation of gold-bearing placers on the western slope of the Central Urals. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologia (Bulletin of the Perm University. Geology)*, 17(2), 164–170. (in Russian) http://dx.doi.org/10.17072/psu.geol.17.2.164

Nelson C.E. (2000) Volcanic domes and gold mineralization in the Pueblo Viejo district, Dominican Republic. *Mineralium Deposita*, 35(6), 511—525. https://doi.org/10.1007/s001260050258

Nenakhov M.E., Popov A.P., Sukhanova E.F. (1948) Geological map of the North Urals on a scale of 1 : 100 000, sheet P-40-118 (eastern half) and sheet P-40-130 (eastern half). Unpublished report of the Vishera Fe expedition on geological survey and prospecting in 1947. Sverdlovsk. (in Russian)

Nikolaeva L.A., Mikhailov B.K. (2015) Native gold from ore and placer deposits in Russia: atlas. Moscow, Akvarel, 200 p. (in Russian)

Nikolaeva L.A., Yablokova S.V. (2007) Typomorphic features of native gold and their use in geological exploration. *Rudy i metally (Ores and Metals)*, 6, 41–57. (in Russian)

Nikolaeva L.A., Gavrilov A.M., Nekrasova A.N. (2023) Sstudy of gold in geological exploration: methodological recommendations. Moscow, TsNIGRI, 73 p.

Onishchenko S.A. (1999) Chromite relics in the basal part of the Alkesvozh Formation (Nesterovskoe ore occurrence, Circumpolar Urals). *Zolotonosnye conglomerate Urala (Gold-Bearing Conglomerates of the Urals)*, 3, 8–9. (in Russian)

Onishchenko S.A., Kuznetsov S.K. (2023) Native gold of the Chudnoe gold-palladium deposit (Subpolar Urals, Russia). *Russian Geology and Geophysics*, 64(2), 191–209. https://doi.org/10.2113/RGG20214452

Onishchenko S.A., Kuznetsov S.K. (2024) Palladium and platinum minerals in Au-Pd ores of the Chudnoye deposit (Subpolar Urals, Russia). *Litosfera (Lithosphere)*, 24(3), 526–546. (in Russian) https://doi.org/10.24930/2500-302X-2024-24-3-526-546

Palyanova G., Murzin V., Borovikov A., Karmanov N., Kuznetsov S. (2021) Native gold in the Chudnoe Au-Pd-REE deposit (Subpolar Urals, Russia): composition, minerals in intergrowth and genesis. *Minerals*, 11(5), #451. https://doi.org/10.3390/min11050451

Petrovskaya N.V. (1973) Native gold. General characteristics, typomorphism, questions of genesis. Moscow, Nauka, 347 p. (in Russian)

Popov A.G. (2017) Gold of the Vishera River basin of the North Urals. *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala (Geology and Mineral Deposits of the Western Urals)*, 17, 49–57. (in Russian)

Popov V.V., Zobachev V.A., Kachanov A.N. (1966) Geological map of the Urals on a scale of 1 : 50 000, sheets of-40-142- A, C and B, D (western half). Unpublished report on works of the Yayvin geological survey party on the western slope of the North Urals (Kvarkush region) in 1963–1965. Perm. (in Russian)

Povonskaya N.V., Efanova L.I. (1999) Typomorphic features of minerals of the Alkesvozh Formation at the Nesterovsky area. *Zolotonosnye conglomerate Urala (Gold-Bearing Conglomerates of the Urals)*, 3, 9–18. (in Russian)

Rieder M., Giancarlo C., D'yakonov Yu.S., Frank-Kamenetskii V.A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval P.V., Muller G., Neiva A.M.R., Radoslovich E.W., Robert J.-L., Sassi F.P., Takeda H., Wiss Z., Wones D.R. (1999) Nomenclature of micas. *Mineralogical Magazine*, 62(2), 267–279. https://doi.org/10.1180/minmag.1999.063.2.13

Savchuk Yu.S., Asadulin N.E., Volkov A.V., Aristov V.V. (2018) The Muruntau deposit: geodynamic position and variant of genetic model of the ore-forming system. *Geology of Ore Deposits*, 60(5), 365–397. https://doi.org/10.1134/S0016777018050064 (in Russian)

Sazonov V.N., Koroteev V.A. (2009) *Main gold productive and accompanying metasomatic complexes of the Urals*. Yekaterinburg, IGG UrO RAN, 196 p. (in Russian)

Sazonov V.N., Ogorodnikov V.N., Koroteev V.A., Polenov Yu.A. (2001) *Gold deposits of the Urals.* Yekaterinburg, UGGA, 622 p. (in Russian)

Vielreicher N.M., Groves D.I., McNaughton N.J. (2016) The giant Kalgoorlie gold field revisited. *Geoscience Frontiers*, 7(3), 359–374. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.07.006

White N.C., Leake M.J., McCaughey S.N., Parris B.W. (1995) Epithermal gold deposits of the southwest Pacific. *Journal of Geochemical Exploration*, 54(2), 87–136. https://doi.org/10.1016/0375-6742(95)00027-6

Zakharov I.N. (2023) *Unpublished report on project documentation for works "Conducting the 2023–2025 regional geological survey works on a scale of 1 : 200 000 for sheets within the Volga and Urals federal districts."* St. Petersburg, 342 p. (in Russian)

Информация об авторах

Шамсутдинов Михаил Дмитриевич – бакалавр, Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия; shamsutdinov.michail@yandex.ru

Петров Сергей Викторович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия; petrov64@gmail.com

Information about authors

Mikhail D. Shamsutdinov – Bachelor Student, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia; shamsutdinov.michail@yandex.ru

Sergey V. Petrov – Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Associate Professor, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia; petrov64@gmail.com