



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 549.2:[553.086:553.3.071](234.83)

DOI: 10.19110/geov.2024.6.2

Золотоносность межформационного контакта рифейских и девонских отложений (Цилемское поднятие, Средний Тиман)

А. А. Пархачев^{1,2}, Н. А. Васильченко¹, К. Г. Пархачева²¹Институт Карпинского, Сыктывкар, Andrey_Parkhachev@vsegei.ru²Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

В статье приводятся результаты изучения самородного золота и минерального состава тяжелой фракции проб из зоны межформационного контакта среднедевонских и среднерифейских отложений, вскрытой канавой в верховьях ручья Волчий (приток р. Цильмы). В тяжелой фракции преобладают титановые и редкоземельные минералы. Самородное золото мелкое (0.25–1.0 мм), с рудным обликом, низкой степенью окатанности и разнообразными формами. В золоте содержание Ag составляет до 10.3 мас. %. Пробность – 899–1000 ‰. Внутреннее строение золота неоднородное и характеризуется зернистой блочно-мозаичной структурой. В золоте установлены включения пирротина, пирита, галенита и арсенопирита. Включение пирита в золоте по составу аналогично включению пирита в кварце. Золото отмечается в сростании с кварцем, реже мусковитом. Впервые на Среднем Тимане установлено сростание золота с рутилом. Рутил имеет примеси V, Nb, Fe. Предполагается, что коренными источниками изученного золота являются зоны развития золото-кварц-сульфидной вкрапленной минерализации, локализованные в рифейских сланцевых толщах, и секущие их кварцевые жилы. Характер отложений, их минеральный состав, морфология и состав золота исследуемого межформационного контакта имеет сходство с комплексной алмаз-золото-редкоземельно-редкометалльно-титановой палеороссыпью Ичетью, что позволяет прогнозировать присутствие подобных рудных объектов в пределах не только Цилемского поднятия, но и всего Тимана.

Ключевые слова: самородное золото, кора выветривания, девонские конгломераты, редкоземельные минералы

Gold mineralization of the interformational contact of Riphean and Devonian deposits (Tsilema uplift, Middle Timan)

A. A. Parkhachev^{1,2}, N. A. Vasilchenko¹, K. G. Parkhacheva²¹ Karpinsky Institute, Syktывkar² Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktывkar

The article presents the results of studying native gold and the mineral composition of the heavy fraction of samples from the zone of interformational contact of the Middle Devonian and Middle Riphean deposits, opened by a ditch in the upper reaches of the Volchiiy Creek (a tributary of the Tsilma River). Titanium and rare earth minerals predominate in the heavy fraction. Native gold is small (0.25–1.0 mm), with an ore appearance, a low degree of roundness and various forms. The Ag content in gold is up to 10.3 wt. %. Fineness is 899–1000 ‰. The internal structure of gold is heterogeneous and is characterized by a granular, block-mosaic structure. Inclusions of pyrrhotite, pyrite, galena and arsenopyrite are found in gold. The inclusion of pyrite in gold is similar in composition to the inclusion of pyrite in quartz. Gold is noted in intergrowths with quartz, less often muscovite. For the first time, gold intergrowth with rutile was found in the Middle Timan. Rutile has admixtures of V, Nb, and Fe. It is assumed that the primary sources of the studied gold are the zones of development of gold-quartz-sulfide disseminated mineralization, localized in the Riphean shale strata and intersecting quartz veins. The nature of the deposits, their mineral composition, morphology, and composition of gold of the studied interformational contact are similar to the complex diamond-gold-rare earth-rare metal-titanium paleoplacer Ichet'yu, which allows predicting the presence of similar ore objects not only within the Tsilema uplift, but also throughout Timan.

Keywords: native gold, weathering crust, Devonian conglomerates, rare earth minerals

Для цитирования: Пархачев А. А., Васильченко Н. А., Пархачева К. Г. Золотоносность межформационного контакта рифейских и девонских отложений (Цилемское поднятие, Средний Тиман) // Вестник геонаук. 2024. 6(354). С. 12–27. DOI: 10.19110/geov.2024.6.2

For citation: Parkhachev A. A., Vasilchenko N. A., Parkhacheva K. G. Gold mineralization of the interformational contact of Riphean and Devonian deposits (Tsilema uplift, Middle Timan). Vestnik of Geosciences, 2024, 6(354), pp. 12–27, doi: 10.19110/geov.2024.6.2



Введение

При изучении золотоносности Среднего Тимана особый интерес представляют базальные отложения среднего девона. Впервые в среднедевонских песчаниках золото было установлено А. А. Черновым на севере Вольско-Вымской гряды в 1942 г., позднее золотоносность этих отложений была подтверждена геолого-съёмочными работами, а затем в ходе поисковых работ выявлены промышленные содержания золота и алмазов палеороссыпи Ичетью. Совместно с золотом и алмазами в ней присутствуют минералы редких земель и редкометалльные элементы (Государственная..., 2021).

В пределах Цилемского поднятия также выявлено большое количество прямых и косвенных признаков, указывающих на наличие подобных объектов. В связи с этим в рамках геолого-съёмочных работ на Цилемской площади в 2022 г. сотрудниками Института Карпинского проводилось геологическое, минералогическое, геохимическое изучение межформационного контакта среднерифейских и среднедевонских отложений. В ходе маршрутных исследований коренные выходы базальных горизонтов девона не выявлены. С целью их вскрытия на наиболее перспективных участках были пройдены горные выработки. На левом берегу руч. Волчий (левый приток р. Цильмы) канавой был вскрыт контакт метаалевролитов клеоновской свиты среднего рифея с гравелитами и мелкогалечными конгломератами пижемской свиты среднего девона. В кровле рифейских образований прослежен слой коры выветривания, сложенный глинами красновато-бурого цвета с обломками метаалевролитов, в различной степени переработанных процессами корообразования, вплоть до полного разрушения.

Целью данной работы является изучение типоморфизма самородного золота из межформационного контакта рифейских и девонских отложений и прогноз их коренных источников.

Методика исследований

Материал для исследования получен из отложений при документации канавы, вскрывающей межформационный контакт. Объем проб варьировал от 0.015 до 0.03 м³. Более крупная проба (0.1 м³) отобрана из конгломератовых отложений в интервале 3.6—8.0 м, на котором установлено повышенное содержание золота (до 15 знаков на 0.01 м³).

Тяжелая фракция шлиха получена путем предварительного дробления, отмучивания с последующей промывкой, магнитной сепарацией и разделением материала в тяжелой жидкости. Золото и другие минералы выделены из тяжелой фракции под биноклем, затем изучены с поверхности, а после помещены в эпоксидную смолу с последующим шлифованием и полировкой приблизительно на половину своей толщины.

Морфологические особенности, детали микрорельефа и внутреннее строение золота изучены с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450 X-MAX 50 mm2 (EDS) Oxford Instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ, размере пучка 180 нм, области возбуждения до 5 мкм, давлении в камере 0.02 Па (аналитики А. С. Шуйский, Е. М. Тропников)

на базе ЦКП «Геонаука» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Полированные шлифы изучались с помощью оптического микроскопа Nikon Eclipse LV100ND.

Содержания Au и Pt в пробах из разреза канавы получены с помощью атомно-абсорбционного метода, содержания Ag, Co, Ni, Cu, Zn Pb, Sb, Bi, As, U, Th, Nb и РЗЭ — методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) в центральной лаборатории Института Карпинского (аналитики В. А. Шишлов, В. Л. Кудряшов).

Геологическая характеристика района

Участок расположен в пределах Цилемского поднятия в северной части Среднего Тимана. В геологическом строении района исследований участвуют дислоцированные терригенные и терригенно-карбонатные образования верхнепротерозойского комплекса и слабодислоцированные отложения фанерозоя, залегающие на рифейских породах с угловым несогласием (рис. 1). Верхнепротерозойский комплекс представлен отложениями среднего и верхнего рифея и разделён на три серии: кислоручейскую, быстринскую и вымскую. На территории исследований развиты породы кислоручейской и быстринской серий (Государственная..., 2021).

Кислоручейская серия объединяет образования клеоновской и пижемской свит среднего рифея. Клеоновская свита сложена слюдистыми кварцитопесчаниками, кварцитовидными алевролитами и кварц-слюдистыми сланцами. Пижемская свита представлена сланцами кварц-слюдистыми и хлорит-кварц-слюдистыми, часто известковистыми.

Быстринская серия объединяет рочугскую, павьюгскую и паунскую свиты верхнего рифея. Рочугская свита сложена серицит-кварцевыми, серицит-хлоритовыми и глинистыми сланцами. В составе павьюгской свиты участвуют в основном карбонатные породы — доломиты, в том числе стромалитовые, и реже известняки. Паунская свита завершает разрез рифея, сложена в нижней части сланцами, в том числе углеродистыми и известковистыми. Выше сланцы чередуются с метаалевролитами-метапесчаниками и кварцитопесчаниками. Верхняя часть свиты сложена сланцами с редкими прослоями доломитов и известняков.

Палеозойские отложения в пределах Цилемского поднятия представлены породами девонского, каменноугольного и пермского возраста, образующими каледоно-раннекимммерийский структурный этажи, залегающими с угловым несогласием на глубоко размытой поверхности верхнепротерозойского фундамента. В пределах участка среднедевонские отложения представлены континентальными терригенными образованиями пижемской, яранской и листовенничной свит. Пижемская и яранская свиты в основном сложены кварцевыми песчаниками с линзами-прослоями конгломератов, в листовенничной появляется ритмичное переслаивание песчаников с алевролитами и аргиллитами.

Магматические образования на Цилемской площади представлены субинтрузивными телами долеритов и габбродолеритов канино-тиманского комплекса живетского возраста, сформированного в ходе герцинского тектономагматического цикла.

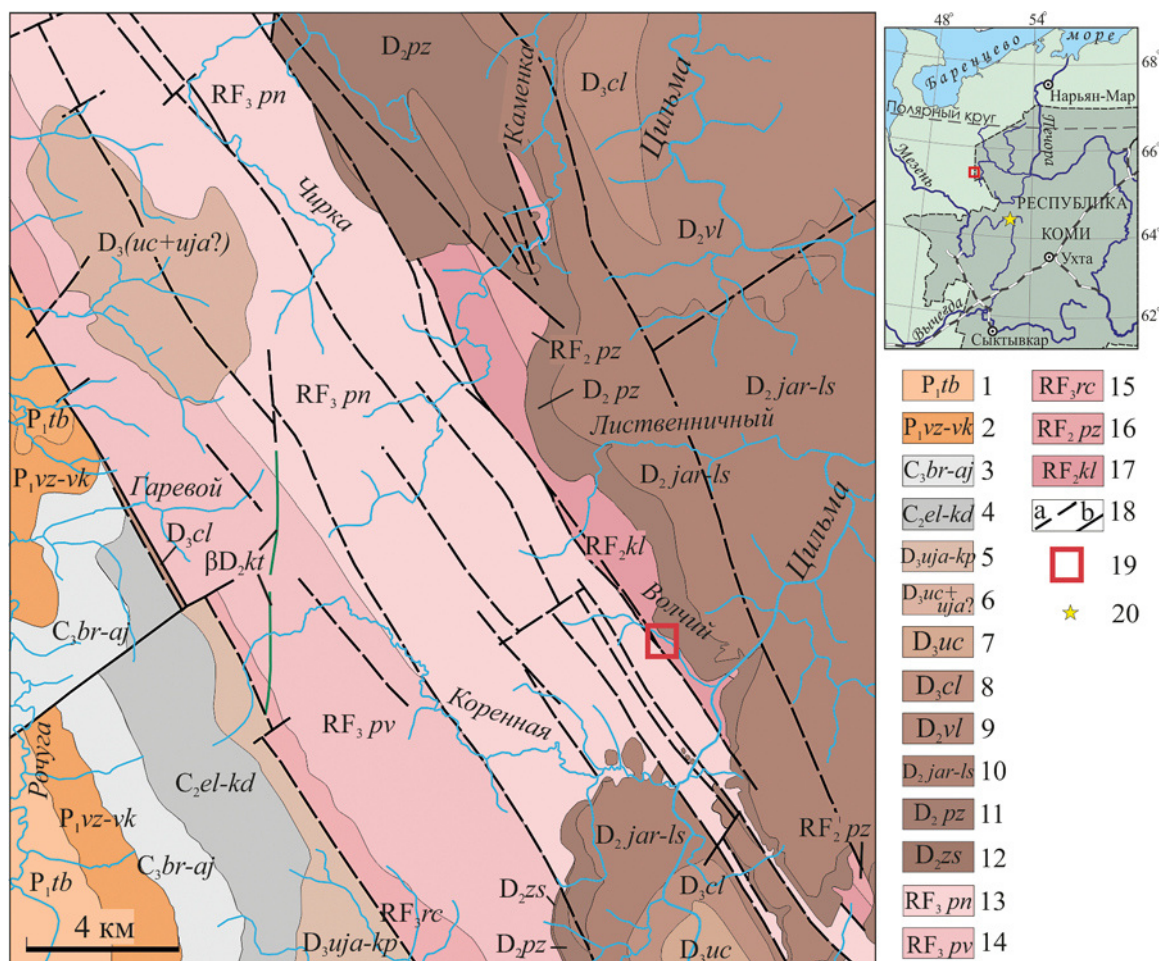


Рис. 1. Схема геологического строения участка исследований (Цилемское поднятие, Средний Тиман), составленная по материалам отчета геологического доизучения 1 : 50000 масштаба (Пачуковский и др., 1994)* с уточнениями и изменениями:

1 — *тобйская толща* — алевролиты с прослоями песчаников, известняков и доломитов; 2 — *вожгская и верхнекулойская свиты* — известняки, доломиты, прослои глин, мергелей, алевролитов, песчаников; 3 — *буркемская, одесская, айювинская свиты* — известняки, доломиты, песчаники; 4 — *елмачская и кодачская свиты* — известняки, доломиты; 5 — *устьярегская и крайпольская свиты* — ритмичное переслаивание слюдистых песчаников, алевропесчаников, алевролитов, аргиллитов и глин, переслаивание глинистых известняков и известковистых глин; 6 — *устычиркинская и устыаргская свиты* — переслаивание глин, аргиллитов, алевролитов, песчаников с известняками, ритмичное переслаивание слюдистых песчаников, алевропесчаников, алевролитов, аргиллитов и глин; 7 — *устычиркинская свита* — переслаивание глин, аргиллитов, алевролитов, песчаников с известняками; 8 — *цилемская свита* — переслаивание глин, аргиллитов, алевролитов, песчаников; 9 — *валовская свита* — туфы, туффиты, туфопесчаники, туфоаргиллиты, прослои алевролитов, песчаников, аргиллитов, базальты; 10 — *яранская и лиственничная свиты нерасчленённые* — кварцевые песчаники, прослои и линзы мелкогалечных конгломератов, переслаивание алевролитов, глин и песчаников; 11 — *нижемская свита* — кварцевые песчаники, прослои гравелитов, алевролитов и аргиллитов; 12 — *заостровская свита* — алевролиты, аргиллиты, песчаники; 13 — *паунская свита* — глинистые известняки, алевроитистые сланцы с прослоями доломитов, известняков, песчаников, кварцитопесчаников, сланцев, доломиты, толщи углистых сланцев и сланцево-кварцитопесчаниковые; 14 — *навьюгская свита* — доломиты; 15 — *рочугская свита* — глинистые сланцы с прослоями алевролитов, доломитов, сланцы серицит-кварцевые и серицит-хлоритовые; 16 — *нижемская свита* — сланцы; 17 — *клеоновская свита* — слюдистые кварцитопесчаники и кварцитовидные алевролиты, переслаивание кварцево-слюдистых сланцев и алевролитов; 18 — *разрывные нарушения* (а — предполагаемые, б — достоверные); 19 — *участок работ*; 20 — *алмаз-золото-редкометаллическая палеороссыпь Ичтьёю*

Fig. 1. A diagram of the geological structure of the research area (Tsilema uplift, Middle Timan), based on the materials of the report of the geological study on a scale of 1:50000 (Pachukovsky et al., 1994)* with clarifications and changes:

1 — *Tobysskaya strata* — siltstones with interlayers of sandstones, limestones and dolomites; 2 — *Vozhegskaya and verkhnekuloiskaya formations* — limestones, dolomites, interlayers of clays, marls, siltstones, sandstones; 3 — *Burkenskaya, odesskaya, ayuvinskaya formations* — limestones, dolomites, sandstones; 4 — *Elmachskaya and kodachskaya formations* — limestones, dolomites; 5 — *Ustyaregskaya and kraipolskaya formations* — rhythmic interbedding of micaceous sandstones, silty sandstones, siltstones, mudstones and clays, interbedding of clayey limestones and calcareous clays; 6 — *Ustchirkinskaya and ustyaregskaya formations* — interbedding of clays, argillites, siltstones, sandstones with limestones, rhythmic interbedding of micaceous sandstones, silty sandstones, siltstones, argillites and clays; 7 — *Ustchirkinskaya suite* — interlayering of clays, mudstones, siltstones, sandstones with limestones;

* Пачуковский В. М. Производство геологического доизучения масштаба 1: 50 000 площади Цилемского Камня на листах О-39-87-А; Б-а, в; В-6, г; Г; О-39-99-Б-а, б; О-39-100-А-а, б. 1994 г. Сыктывкар: ТФИ РК. № 10920.



8 — *Tsilemskaya suite* — interbedding of clays, mudstones, siltstones, sandstones; 9 — *Valsovskaya suite* — tuffs, tuffites, tuff sandstones, tuff mudstones, interlayers of siltstones, sandstones, mudstones, basalts; 10 — *Yaranskaya and listvenichnaya formations*, undivided — quartz sandstones, layers and lenses of small pebble conglomerates, interbedded siltstones, clays and sandstones; 11 — *Pizhemsкая suite* — quartz sandstones, interlayers of gravelstones, siltstones and mudstones; 12 — *Zaostrovskaya formation* — siltstones, mudstones, sandstones; 13 — *Paunskaya suite* — clayey limestones, silty shales with interlayers of dolomites, limestones, sandstones, quartzite sandstones, shales, dolomites, strata of carbonaceous shales and shale-quartzite sandstones; 14 — *Pavyugskaya suite* — dolomites; 15 — *Rochugskaya formation* — clayey shales with interlayers of siltstones, dolomites, sericite-quartz and sericite-chlorite shales; 16 — *Pizhemsкая formation* — shales; 17 — *Kleonovskaya formation* — mica quartzite sandstones and quartzite-like siltstones, interbedded quartz-mica shales and siltstones; 18 — discontinuity faults (a — suspected, b — reliable); 19 — work area; 20 — diamond-gold-rare metal paleo placer Ichetyu

Объект исследований

Объектом исследований является межформационный контакт среднерифейских и среднедевонских отложений, вскрытый канавой, расположенной на левом берегу ручья Волчий (приток р. Цильмы) (рис. 2, 3). Протяженность канавы составляет 12.5 м, глубина 2.2 м. Ниже приведено литологическое описание канавы (снизу вверх).

В полотно канавы вскрыты среднерифейские породы клеоновской свиты, представленные тонким переслаиванием кварцевых метапесчаников мощностью 2—3 мм и метаалевролитов до 10—15 мм (*слой 1*). Породы красновато-бурого цвета, сильно выветрелые и трещиноватые. Метаалевролиты разбираются по трещинам и несут следы гипергенного изменения на глубину не менее 0.5 м.

На рифейских образованиях развита кора выветривания (*слой 2*). В нижней части слоя залегают крас-

новато-бурые глины со значительным количеством обломков метаалевролитов, в различной степени переработанных процессами корообразования (рис. 3). Верхняя часть сложена аналогичными глинами с небольшим количеством практически полностью разрушенных метаалевролитов. Мощность слоя составляет 0.3—0.5 м. В кровле часто встречаются просаженные обломки жильного кварца. Предположительно кора выветривания имеет среднедевонский возраст.

Выше залегают отложения пижемской свиты живетского возраста. В основании свиты залегает слой, представленный делитифицированными конгломератами (*слой 3*). По составу конгломераты мономинеральные и представлены крупной галькой средней, реже хорошей степени окатанности, мелкими валунами и остроугольными обломками жильного молочно-белого кварца, сцементированными суглинком от охристой до светло-серой окраски. Слой не выдержан

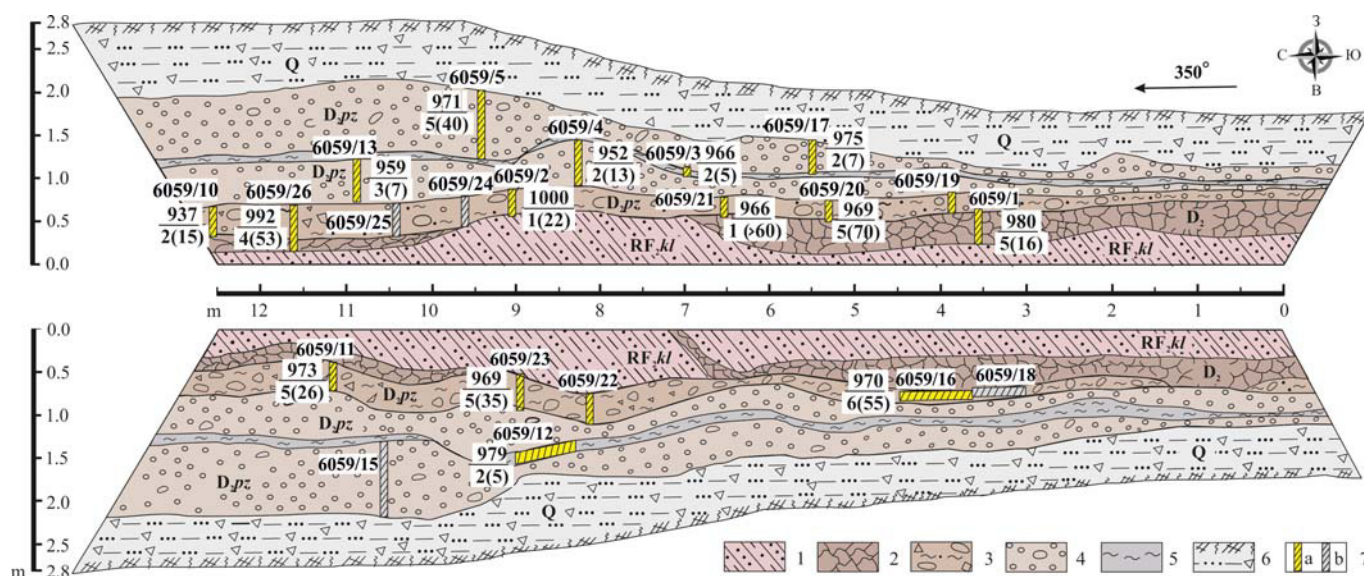


Рис. 2. Схематический разрез канавы. Рифейские породы: 1 — переслаивание метапесчаников и метаалевролитов (*слой 1*). Девонские отложения (2—5): 2 — красноватая глина с обломками метаалевролитов (*слой 2*); 3 — кварцевые конгломераты (*слой 3*); 4 — кварцевый гравелит (*слои 4, 6*); 5 — суглинок (*слой 5*). Четвертичные отложения: 6 — почвенно-растительный слой с щебнем и дресвой метапесчаников, метаалевролитов, сланцев с супесчаным заполнителем (*слой 7*); 7 — интервалы опробования с установленным золотом (а) и пустые (б). Цифрами в числителе указана средняя пробаность золота (‰), в знаменателе — количество исследованных частиц, в скобках — общее количество знаков золота. Пробность золота определялась в центре частиц

Fig. 2. Schematic cross-section of the trench. Riphean rocks: 1 — alternating metasandstones and meta-siltstones (*layer 1*). Devonian deposits (2—5): 2 — red clay with fragments of meta-siltstones (*layer 2*); 3 — pebbles, boulders, blocks and crushed rock of vein quartz, cemented by loam (*layer 3*); 4 — quartz gravel (*layer 4, 6*); 5 — loam (*layer 5*). Quaternary deposits: 6 — soil and plant layer with crushed rock and gruss of metasandstones, meta-siltstones, shales, mainly of Riphean age with sandy loam filler (*layer 7*). 7 — sampling intervals with established gold (a) and empty (b). The numbers in the numerator indicate the average fineness of gold (‰), in the denominator — the number of studied particles, in brackets — the total number of signs of gold. The fineness of gold was determined in the center of the particles

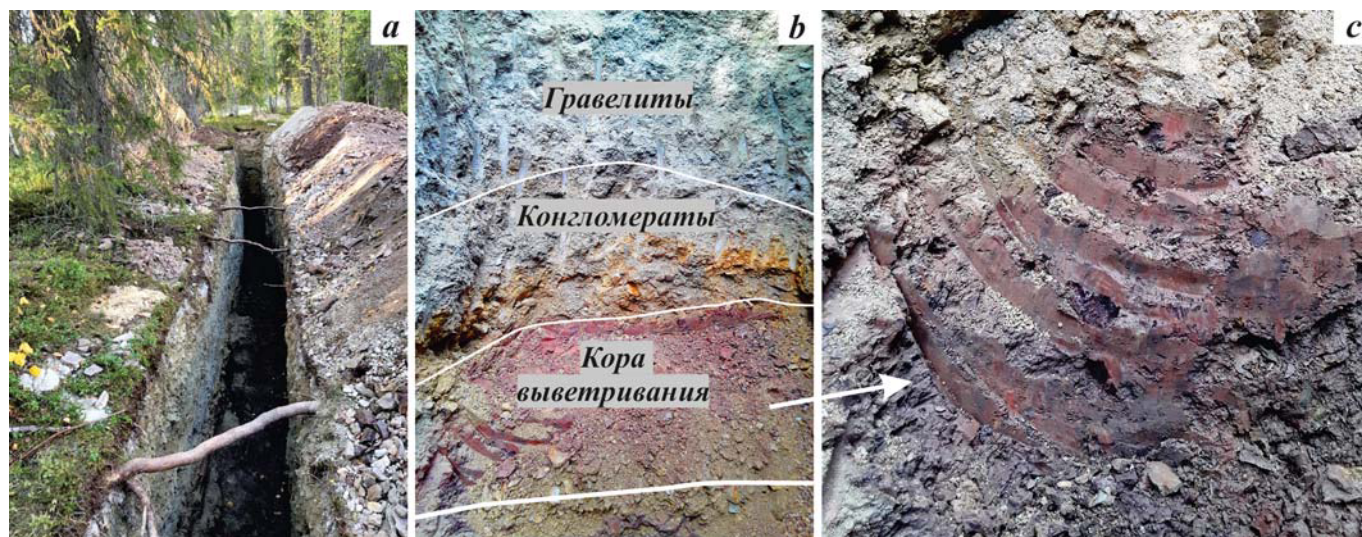


Рис. 3. Канавы (а), вскрытый в ней межформационный контакт рифейских и девонских отложений (б) и кора выветривания (с)

Fig. 3. Ditch (a), the contact of Riphean and Devonian deposits exposed in it (b), weathering crust and lithified quartz fragments in its roof (c)

по мощности, интенсивности окраски суглинков и их количественному составу от массы грубого кварцевого материала. Отмечаются как неокатанные обломки кварца, так и весьма окатанные, размером до 0.15–0.2 м. Доля окатанного кварцевого материала уменьшается от южного торца канавы к северному, уступая место неокатанному.

Разрез свиты продолжается отложениями пижемской свиты, представленной кварцевыми гравелитами, делитифицированными с примесью суглинка (слой 4). Отложения светло-серого цвета. В подошве слоя гравелитов и на контакте с перекрывающим горизонтом повсеместно наблюдается интенсивная проработка отложений гидроксидами железа и, как следствие, как бы «литификация» этой части слоя. Мощность слоя не выдержана по разрезу. В восточной стенке она изменяется от 0.15 до 0.25 м, в западной — от 0.25 до 0.4 м. В интервале 9.0–10.0 м в кровле пласта отмечается плита хорошо литифицированного гравелита размером до 6 см, далее до самого конца канавы слой литифицирован на всю мощность.

Выше прослеживается маломощный прослой (4–13 см) плотного суглинка светло-серого цвета, реже светло-коричневого (слой 5). Граница слоя слабоволнистая и слабонаклонная в сторону уклона дневной поверхности. Суглинок содержит значительное количество гравия и гальки слабоокатанного кварца. Под слоем суглинка довольно часто в виде прерывисто развитых плиток мощностью 1–2 см отмечается кварцевый песчаник с включением гравийных зерен.

Выше по разрезу продолжается слой светло-серого кварцевого делитифицированного гравелита (слой 6). Слой не выдержан по мощности. Она увеличивается от южного торца к северному от 0.1 до 0.7 м.

Отложения пижемской свиты перекрыты четвертичными осадками, сложенными элювиально-делювиальным щебнем и древесной метапесчаников, металевролитов, сланцев предположительно среднерифейского возраста с супесчаным заполнителем, выше — почвенно-растительный слой (слой 7).

Результаты исследований

Минеральный состав тяжелой фракции. Состав тяжелой фракции отложений, отобранных в канаве, представлен лейкоксом, куларитом, цирконом и рутилом (табл. 1). В незначительном количестве встречаются анатаз, турмалин, титанит, ильменит, хромит, гранат, эпидот, амфибол, шпинель, монацит, магнетит, лепидокрокит.

Лейкоксен составляет в среднем 90 % тяжелой фракции. Агрегат представлен таблитчатой, лепешковидной формой и кристаллами ромбоэдрического облика. Он имеет кремово-желтый цвет и жирный блеск. Размер зерен варьирует от 0.25 до 1.0 мм.

Куларит встречается в незначительных количествах от менее 1 до 8 %. Наиболее высокие содержания куларита установлены в слое кварцевых конгломератов (слой 3). Зерна имеют дисковидную, таблитчатую и обломочную форму размером от 0.5 до 1.0 мм. Поликристаллический агрегат представлен собственно монацитом с многочисленными включениями кварца, а также гидрооксидов железа, мусковита и хлорита, что является характерным для этой разновидности монацитов. По цвету выделяются две группы — светлая и темная (рис. 4). Кроме этого, отмечаются и окисленные зерна. В одном окисленном зерне установлено включение галенита.

Внутреннее строение зерен имеет неоднородность, выраженную разницей в химическом составе центральной и краевой частей. Центральная часть более светлая и содержит наименьшее количество включений (рис. 4). Содержания Ce и La в центральной (светлой) части ниже, а Nd, Pr, Gd, Sm — выше (рис. 5). Отмечается положительная связь Ce и La, но отрицательная корреляция Ce с Nd, Gd и Sm (рис. 6). Ранее А. Б. Макеев с коллегами в своей работе отмечали такую зависимость в куларите на Пижемском титановом месторождении (Макеев и др., 2020). По составу центральной части зерен выделяются Ce-Nd-монациты.

Рутил образует до 5 % тяжелой фракции (в среднем 2 %). Он отмечается в виде кристаллов коротко-



Таблица 1. Минералы тяжелой фракции проб из разреза канавы (об. %)
 Table 1. Minerals of the heavy fraction of samples from the ditch section (vol. %)

№ пробы № samples	Слой Layer	Главные (>5 %) Main (>5 %)	Второстепенные (1—5 %) / Minor (1—5 %)	Редкие (< 1 %) Rare (< 1 %)	Золото/ Gold	
					зн/ signs	мг/mg
6059/1	2	лейкоксен leucoxene (58)	перовскит, лимонит perovskite, limonite	куларит, циркон, рутил, анатаз, гематит, ильменит, хромит, гранат, эпидот, пироксен, амфибол, ставролит coularite, zircon, rutile, anatase, hematite, ilmenite, chromite, garnet, epidote, pyroxene, amphibole, staurolite	16	
6059/27	3	лейкоксен leucoxene (91)	рутил, куларит, циркон rutile, coularite, zircon	анатаз, ильменит, титанит, апатит, гранат, турмалин, монацит anatase, ilmenite, titanite, apatite, garnet, tourmaline, monazite	≈35	
6059/10		лейкоксен leucoxene (92)	рутил, куларит, циркон rutile, coularite, zircon	анатаз, турмалин anatase, tourmaline	15	0.25
6059/22		лейкоксен leucoxene (91)	рутил, куларит, циркон rutile, coularite, zircon	апатит apatite	63	0.9
6059/26		лейкоксен, куларит leucoxene (89), coularite (6)	рутил, циркон rutile, zircon	апатит, гематит, монацит apatite, hematite, monazite	53	
6059/2		лейкоксен куларит leucoxene (94), coularite (6)		циркон, рутил, анатаз zircon, rutile, anatase	22	
6059/23		лейкоксен, куларит, лепидокрокит leucoxene (80), coularite (8), lepidocrocite (6)	циркон, рутил zircon, rutile	анатаз, турмалин, монацит anatase, tourmaline, monazite	35	16.1
6059/20		лейкоксен, лепидокрокит, куларит leucoxene (76), lepidocrocite (11), coularite (8)	циркон, рутил, анатаз zircon, rutile, anatase	турмалин, монацит, лимонит, магнетит, гранат tourmaline, monazite, limonite, magnetite, garnet	78	29.2
6059/21		лейкоксен, лепидокрокит leucoxene (82), lepidocrocite (10)	куларит, циркон, рутил coularite, zircon, rutile	анатаз, турмалин, монацит anatase, tourmaline, monazite	73	43.5
6059/16		лейкоксен, куларит leucoxene (89), coularite (7)	циркон, рутил zircon, rutile	анатаз, монацит, магнетит anatase, monazite, magnetite	55	5.3
6059/11		лейкоксен leucoxene (92)	куларит, циркон, рутил coularite, zircon, rutile	анатаз, ильменит, монацит anatase, ilmenite, monazite	26	1
6059/4	4	лейкоксен leucoxene (94)	куларит, рутил coularite, rutile	циркон, анатаз zircon, anatase	8	
6059/13		лейкоксен leucoxene (94)	рутил, циркон rutile, zircon	куларит, анатаз, магнетит, титанит, турмалин coularite, anatase, magnetite, titanite, tourmaline	7	
6059/12	5	лейкоксен leucoxene (100)		циркон, рутил, анатаз, гранат, турмалин, магнетит zircon, rutile, anatase, garnet, tourmaline, magnetite	4	
6059/3		лейкоксен leucoxene (86)	циркон, рутил zircon, rutile	куларит, титанит, анатаз, ильменит, амфиболы, турмалин, магнетит coularite, titanite, anatase, ilmenite, amphiboles, tourmaline, magnetite	5	

№ пробы № samples	Слой Layer	Главные (>5 %) Main (>5 %)	Второстепенные (1—5 %) / Minor (1—5 %)	Редкие (< 1 %) Rare (< 1 %)	Золото/ Gold зн/ signs мг/mg	
6059/5	6	лейкоксен leucoxene (90)	циркон, рутил zircon, rutile	куларит, анатаз, ильменит, гранат, амфиболы, титанит, хромит, эпидот, турмалин, шпинель coularite, anatase, ilmenite, garnet, amphiboles, titanite, chromite, epidote, tourmaline, spinel	40	
6059/17		лейкоксен leucoxene (93)	рутил, циркон, ильменит rutile, zircon, ilmenite	куларит, анатаз, гранат, магнетит, хромит, эпидот, амфиболы, турмалин, шпинель coularite, anatase, garnet, magnetite, chromite, epidote, amphiboles, tourmaline, spinel	7	

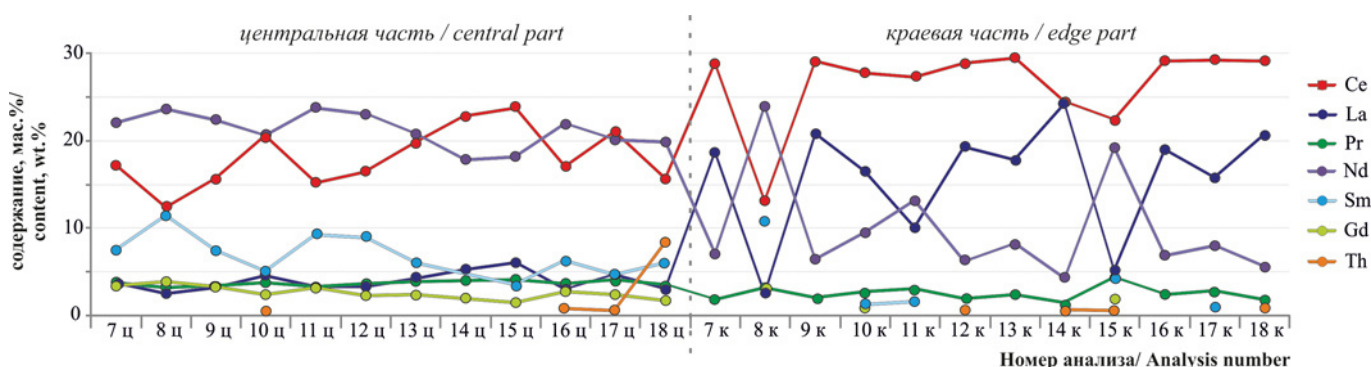


Рис. 5. Содержание редкоземельных элементов в зернах куларита в центральной и краевой частях

Fig. 5. Content of rare earth elements in coularite grains in the central and marginal parts

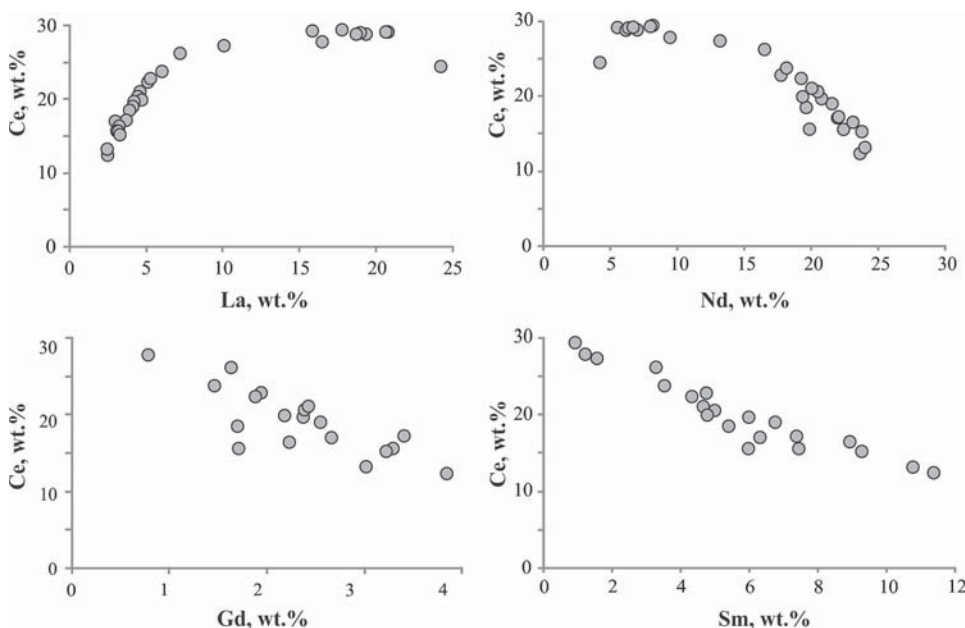


Рис. 6. Соотношение редкоземельных элементов в куларите

Fig. 6. The ratio of rare earth elements in coularite

и длиннопризматического облика со штриховкой, размером 0.25—0.5 мм. Цвет зерен коричнево-красный, желто-бурый и темноокрашенный.

Циркон в среднем составляет 2 %. Он представлен хорошо окатанными зернами овальной, изометричной формы и неокатанными кристаллами призматического облика со сглаженными вершинами, размером от 0.1 до 0.25 мм. Зерна бесцветные, и наблюдаются вариации от бледно-розового до насыщенного вишневого цвета.

Золото встречается от единичных знаков до 0.97 г/м³. Наибольшая его концентрация установлена

в кварцевых конгломератах пижемской свиты (слой 3). В других слоях содержание золота колеблется от 5 до 40 знаков на 20 л.

Самородное золото. Гранулометрический состав золота варьирует от тонкого (менее 0.1 мм) до среднего (2.0—1.0 мм) класса крупности, преобладающим является весьма мелкое золото (0.25—0.1 мм) — 60 % (рис. 7).

Золото соломенно-желтого цвета, неокатанное и слабой степени окатанности. Оно имеет рудный облик и широкое разнообразие форм — комковидное, сложное, стержневидное, таблитчатое, пластинчатое и гемидиоморфное (рис. 8). Для тонкого золота харак-

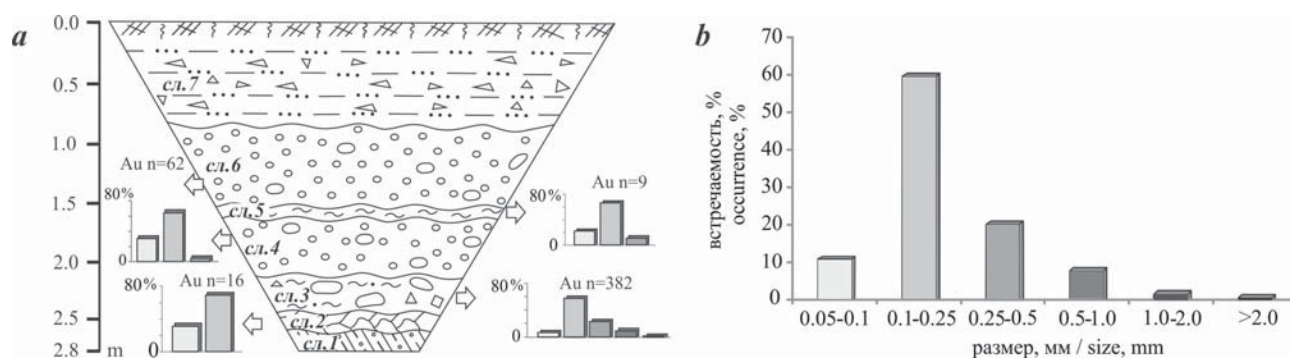


Рис. 7. Диаграммы распределения гранулометрических классов золота: *a* — отдельно по слоям; *b* — в целом по канаве. Условные обозначения к схеме канавы см. на рис. 2

Fig. 7. Diagrams of distribution of granulometric classes of gold: *a* — separately by layers; *b* — along the ditch as a whole. See the legend for the ditch diagram in Fig. 2

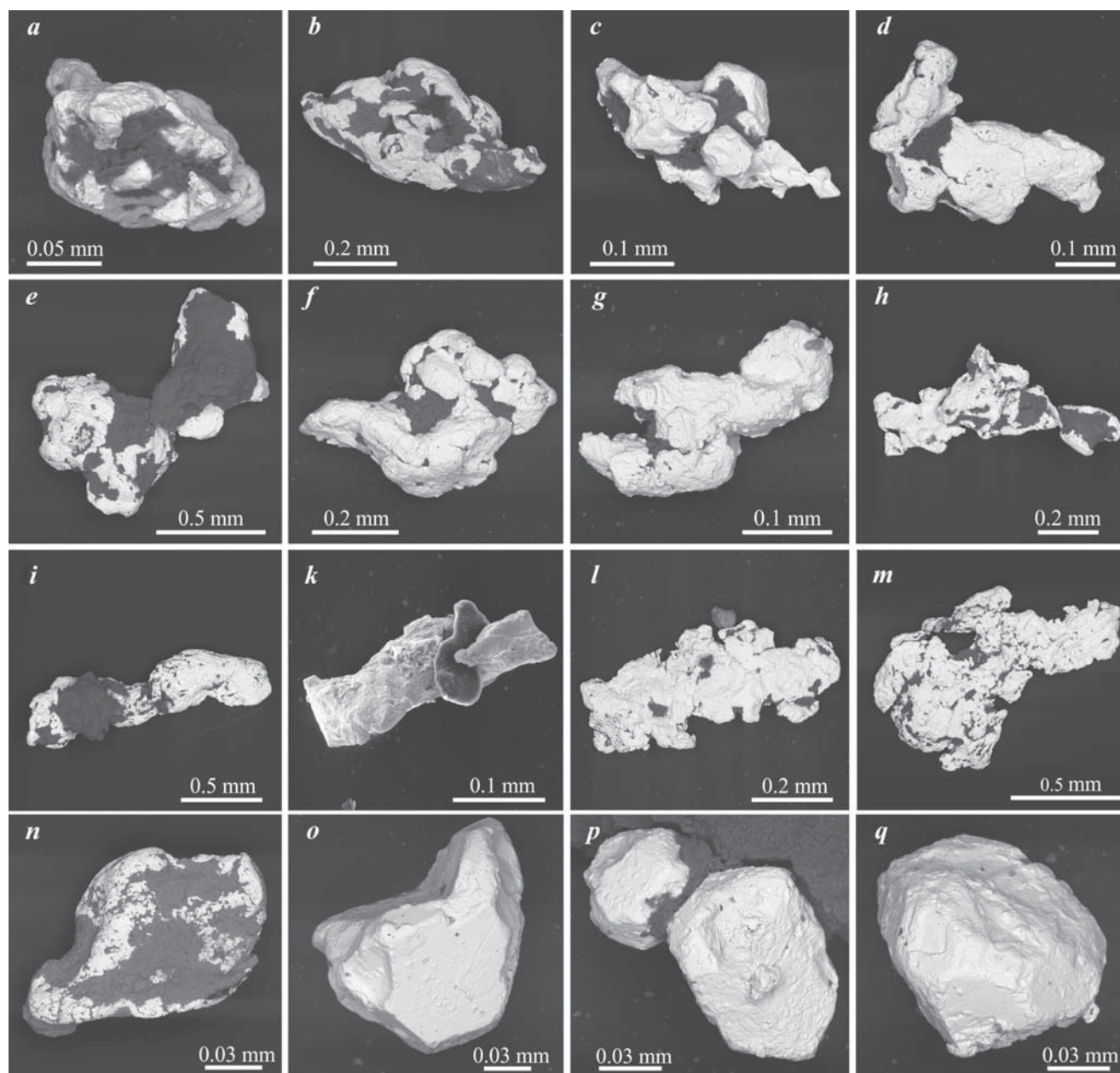


Рис. 8. Формы золота:

a, b — комковидная; *c-h* — сложная; *i, k* — стержневидная; *l-n* — пластинчатая; *o-q* — гемидиоморфная. Изображения сняты в режиме BSE

Fig. 8. Forms of gold:

a, b — lump-shaped; *c-h* — complex; *i, k* — rod-shaped; *l, m, n* — lamellar; *o, p, q* — hypidiomorphic. Images were taken in BSE mode

терны зерновидные частицы кристалломорфной формы и тонкие пластинки. Более крупное золото размером более 0.5 мм имеет красновато-желтый цвет и слабую степень окатанности. Содержание серебра в золоте, определенное на поверхности частиц, варьирует от 0.55 до 19.2 мас. %.

Золото наблюдается в сростках с кварцем (рис. 9, а—d). Их доля составляет примерно 10 %. Встречаются золотинки, на поверхности которых установлены мусковит, сидерит и гидроксиды железа (рис. 9, е—i). Отмечаются частицы, полностью заключенные в «рубашку» гидроксидов железа.

Наиболее интересной является единичная находка золота в сростании с рутилом размером 0.2 мм (рис. 10). Она установлена в пробе 6059/5, отобранной из гравелитов пижемской свиты (слой 6). В составе рутила присутствуют примеси V (0.4—0.5 мас. %), Fe (0.3—0.7 мас. %) и Nb (0.4—1.2 мас. %). Золото содержит примесь Ag (2.4—13.9 мас. %).

При изучении поверхности частиц золота с помощью сканирующего электронного микроскопа отме-

чаются наросты округлой, пирамидальной, кристалломорфной формы. Наблюдается также нарастание «нового» золота в виде шариков, пластинок и червчекообразных частиц (рис. 11). Отмечаются скульптуры растворения, которые представлены микроямчатостью. Кроме того, на поверхности имеются отпечатки кристаллов, изредка следы, вероятно, агрегатов фрамбоидального пирита (рис. 11, g, h).

Золото преимущественно весьма высокопробное (950—1000 ‰) — 86 %, частицы с высокой (900—950 ‰) и средней пробой (899—900 ‰) встречаются значительно реже — 11 и 3 % соответственно. Единственной примесью в золоте является Ag, содержание которого колеблется от 0.4 до 10.3 мас. % (табл. 2).

Внутреннее строение золота характеризуется неоднородным распределением Ag (рис. 12, 13), выраженным в развитии блочно-мозаичных структур и низкопробных прожилков. Низкопробные прожилки отмечены у 93 % частиц. Содержание серебра в них варьирует от 10.4 до 24.4 мас. % (табл. 2). Совместно с низкопробными прожилками отмечаются и высоко-

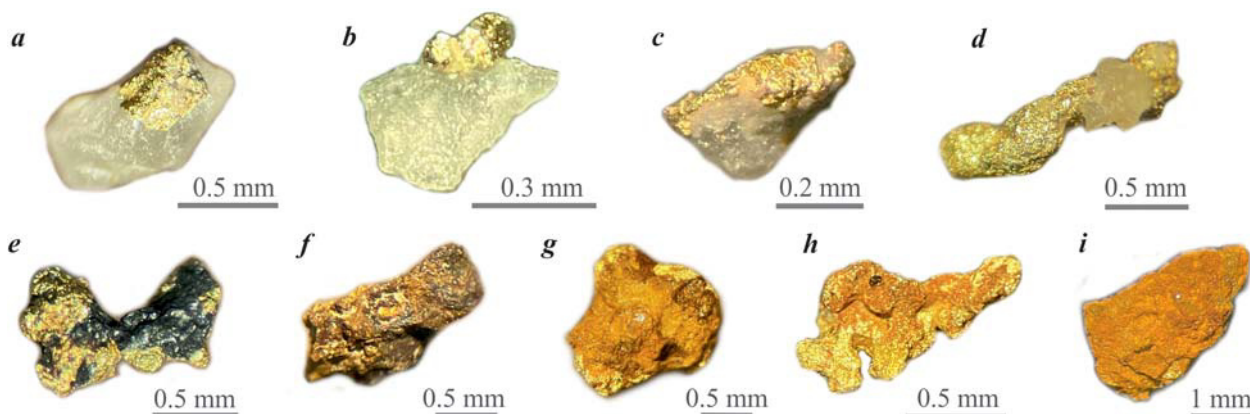


Рис. 9. Самородное золото в сростаниях с кварцем (а—d), мусковитом (е), сидеритом (f) и налеты гидроксидов железа на золоте (g—i). Оптические изображения

Fig. 9. Native gold intergrown with quartz (a—d), muscovite (e), siderite (f) and iron hydroxide deposits on gold (g—i). Optical images

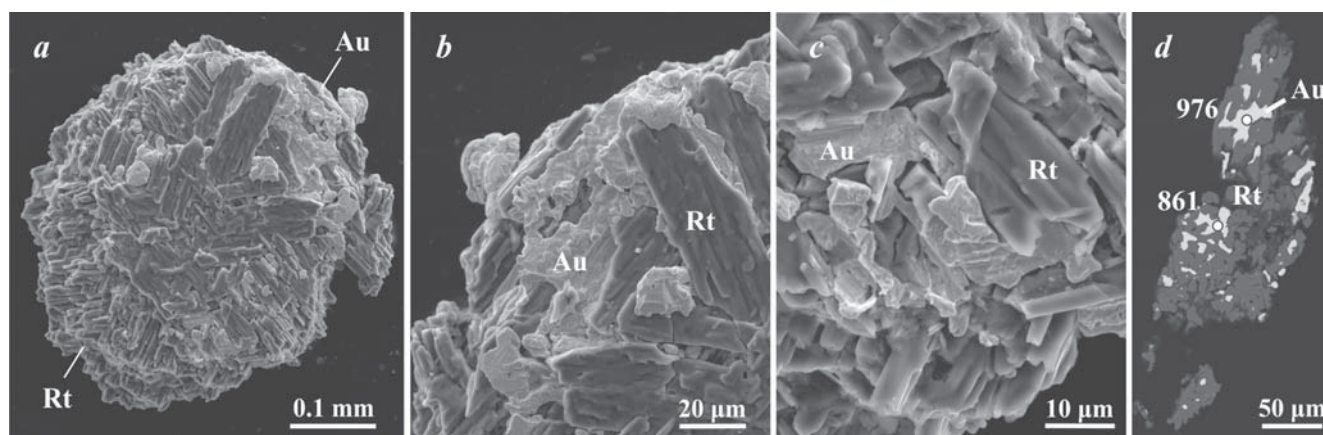


Рис. 10. Сростание рутила (Rt) с самородным золотом (Au):

а — внешний вид, b, c — увеличенные фрагменты поверхности; d — полированный срез. Цифрами обозначена проба золота в ‰. Изображения получены в режиме BSE

Fig. 10. Intergrowth of rutile (Rt) with native gold (Au):

а — external appearance, b, c — enlarged surface fragments; d — polished section. The numbers indicate the fineness of gold in ‰. The images were obtained in BSE mode

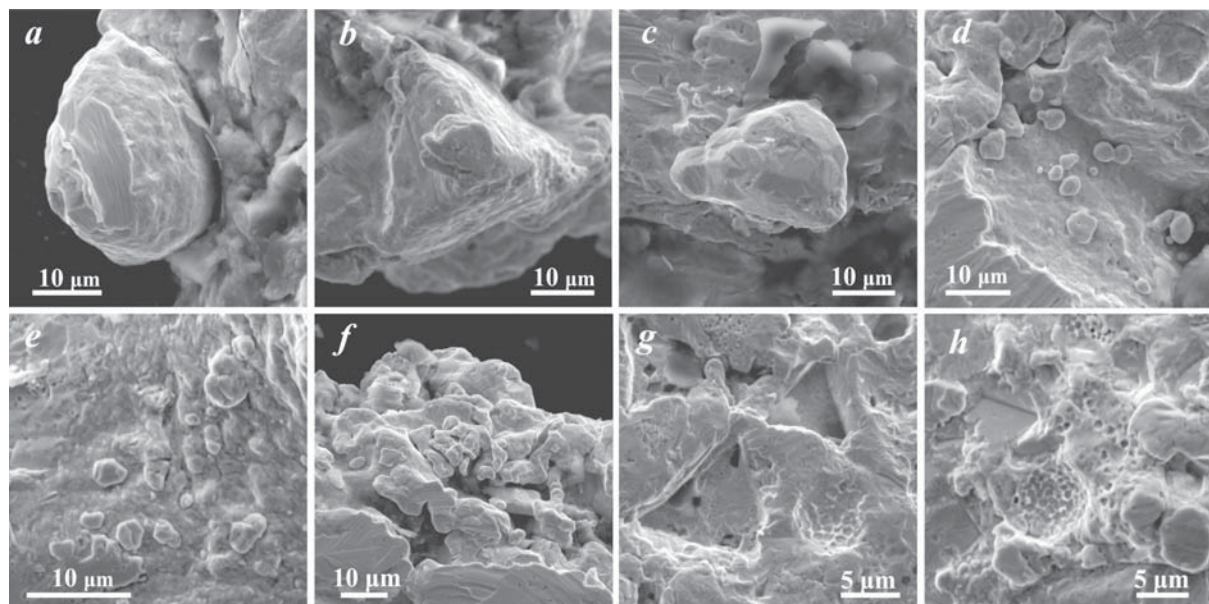


Рис. 11. Детали микрорельефа поверхности золота: ответвления (a–c), выделения «нового» золота (d–f), отпечатки кристаллов и фрамбOIDов (g, h). Изображения сняты в режиме SE

Fig. 11. Details of the gold surface microrelief: branches (a–c), precipitation of «new» gold (d–f), crystal and framboid imprints (g, h). Images were taken in SE mode

Таблица 2. Химический состав самородного золота

Table 2. Chemical composition of native gold

Слой Layer	Золото, зн Gold, signs	Ag (центр), мас. % Ag (center), wt. %	Пробность (центр), ‰ Fineness (center), ‰	Ag (край), мас. % Ag (edge), wt. %	Пробность (край), ‰ Fineness (edge), ‰	Ag (прожилки), мас. % Ag (veins), wt. %	Пробность (прожилки), ‰ Fineness (veins), ‰
2	5	0.47–5.37 2.8	947–1000 980	2.3–9.0 5.54	909–977 944	19.78–22.15 21.06	780–799 790
3	30	0.37–10.27 3.71	899–1000 970	0.85–12.49 4.68	877–1000 955	7.49–24.39 20.61	758–834 794
4	5	2.3–7.76 4.38	923–977 956	2.6–9.95 6.3	899–974 936	7.4–23.03 20.32	770–925 797
5	4	0.99–5.17 2.78	948–983 972	5.53–8.43 6.55	915–944 934	7.96–22.72 17.72	774–920 825
6	7	0.76–7.84 2.72	921–992 973	1.74–7.74 5.96	922–978 940	10.38–24.31 20.28	755–897 797

Примечание. В числителе указан интервал изменения значений от минимального до максимального, в знаменателе — среднее.

Note. The numerator indicates the range of changes in values from minimum to maximum, and the denominator indicates the average.

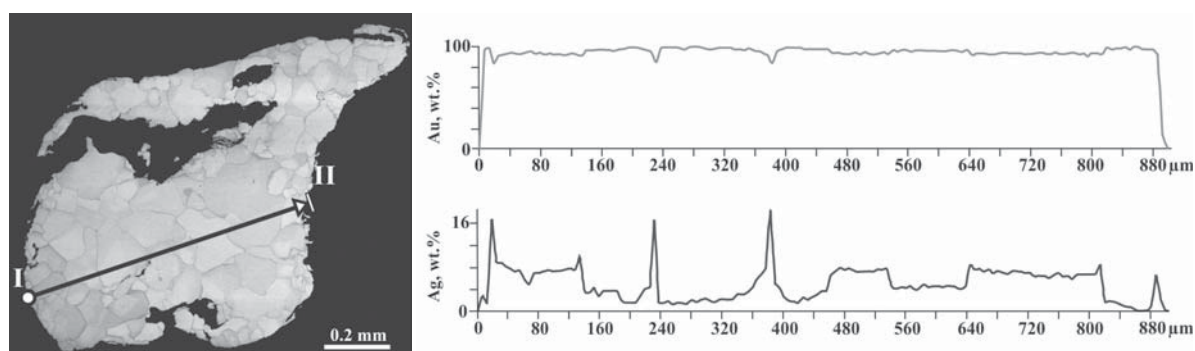


Рис. 12. Морфология и внутреннее строение самородного золота:

внешний вид (a, d, g, j) — внутреннее строение с нормальной (b, e, h, l) и повышенной (c, f, i, l) контрастностью. Цифрами обозначена пробность золота в ‰. Gth — гетит, Mus — мусковит, Qz — кварц. Изображения получены в BSE-режиме

Fig. 12. Morphology and internal structure of native gold:

external appearance (a, d, g, j) — internal structure with normal (b, e, h, l) and increased contrast (c, f, i, l). The numbers indicate the fineness of gold in ‰. Gth — goethite, Mus — muscovite, Qz — quartz. Images were obtained in BSE mode

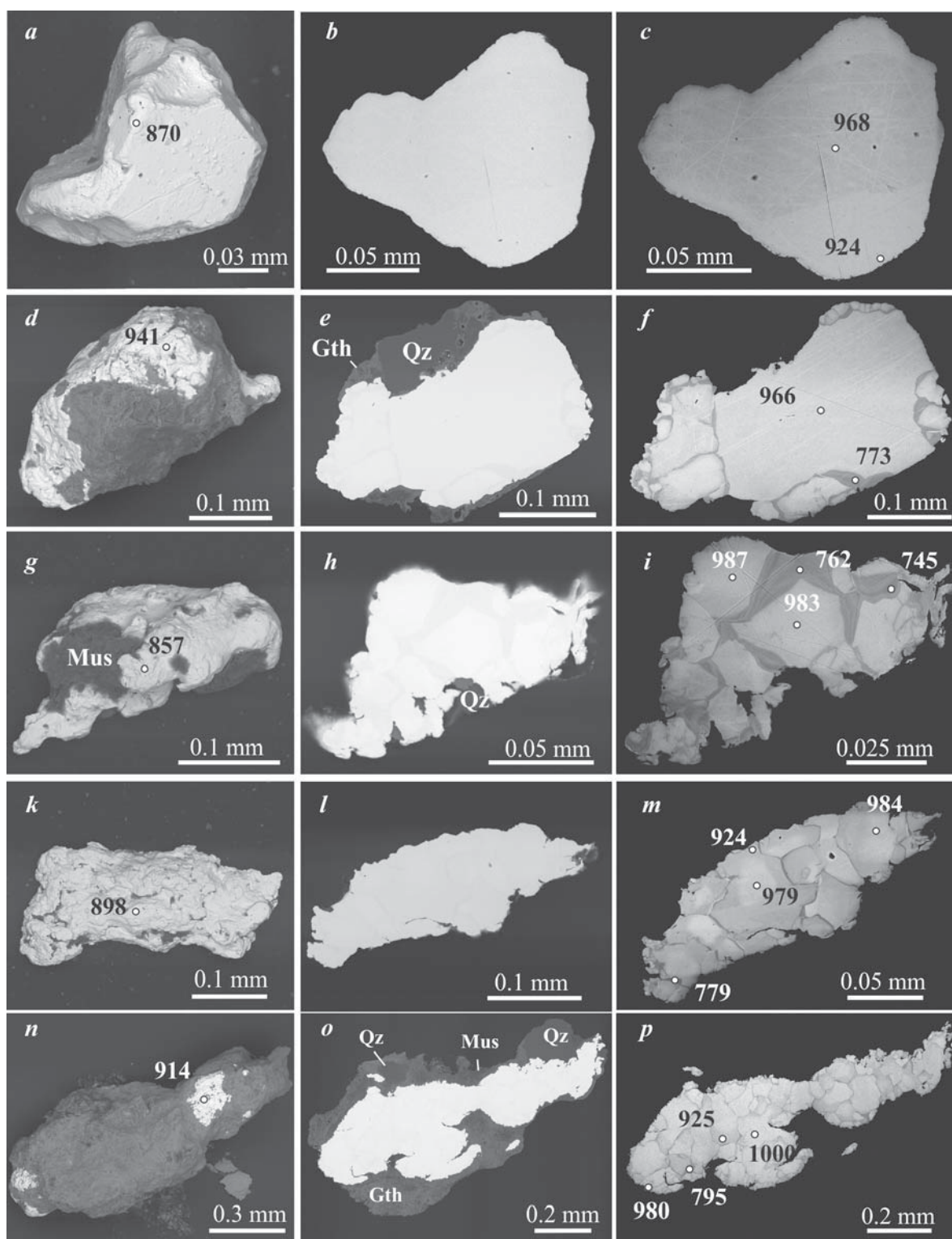


Рис. 13. График распределения содержаний Au и Ag по линии I—II в золоте

Fig. 13. Graph of distribution of Au and Ag contents along line I—II in gold

пробные, их встречаемость почти в два раза меньше (50 %). Содержание в них серебра не превышает 2.5 мас. % (среднее — 1.4 мас. %).

Золото с однородным строением является нетипичным для этих отложений, частота его встречаемости составляет не более 7%. Видимые высокопробные каймы у частиц не наблюдаются. Содержание серебра в крайних частях находится в диапазоне от 0.85 до 12.49 мас. %.

В золоте из кварцевых конгломератов (слой 3) установлены включения пирротина и галенита, из слоя су-

глинка (5) — арсенопирита, из верхнего слоя гравели- тов (6) — пирита и пирротина (рис. 14). Пирротин имеет примеси Co (0.3—0.4 мас. %) и Ni (0.2—0.5 мас. %), пирит — Co (0.3 мас. %) и As (1.5 мас. %), арсенопирит — Co (3.0 мас. %) (табл. 3). Пирротин отмечается в сравнении с галенитом.

Геохимическая характеристика отложений. По данным атомно-абсорбционного и ICP-MS-анализов установлено, что содержания золота повышаются вниз по разрезу от 0.0026 до 0.0061 г/т, максимальные зна-

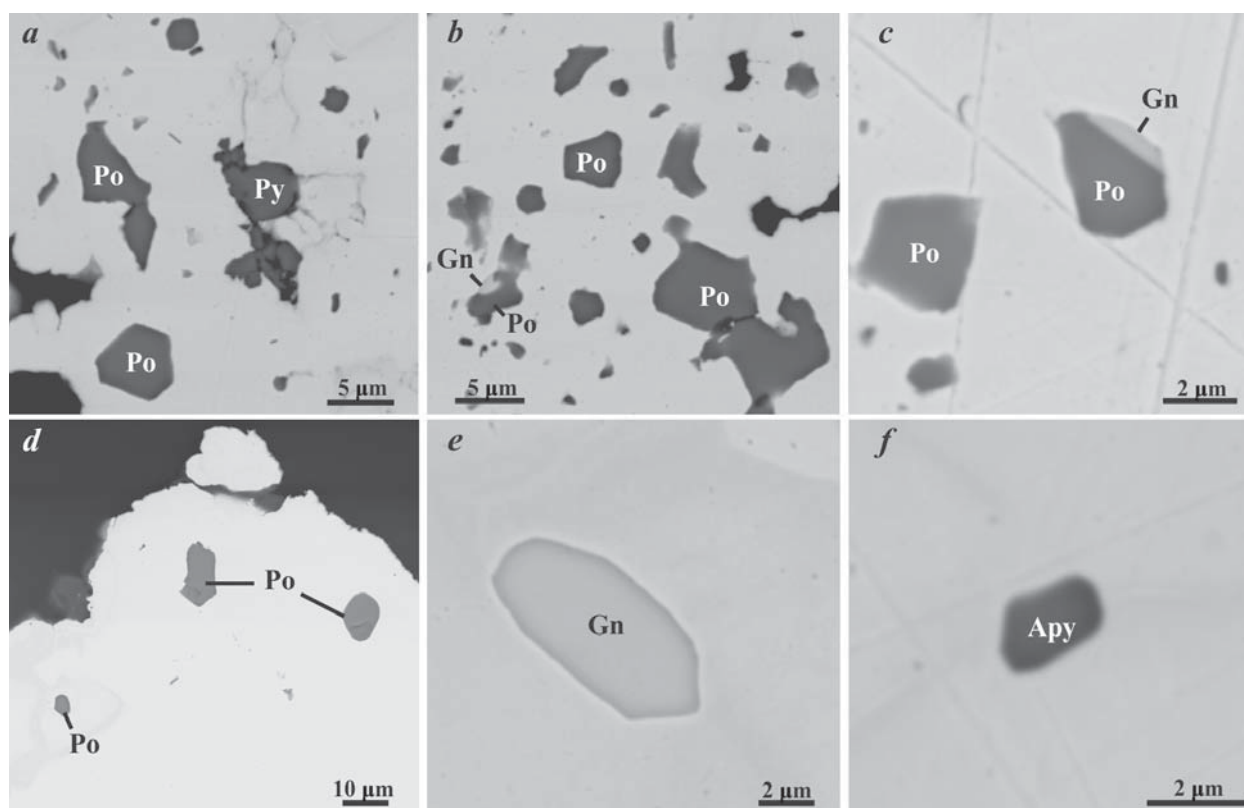


Рис. 14. Включения в золоте:

а — пирит (Py) и пирротин (Po); б, с — пирротин и сростания пирротина с галенитом (Gn); д — пирротин; е — галенит; ф — арсенопирит (Apy). Изображения получены в режиме BSE

Fig. 14. Inclusions in gold:

а — pyrite (Py) and pyrrhotite (Po); б, с — pyrrhotite and intergrowths of pyrrhotite with galena (Gn); д — pyrrhotite; е — galena; ф — arsenopyrite (Apy). Images were taken in BSE mode

Таблица 3. Химический состав включений в золоте

Table 3. Chemical composition of inclusions in gold

Слой Layer	Анализ Analysis	Содержание, мас. %							Сумма Sum	Эмпирическая формула Empirical formula
		S	Fe	Co	Ni	As	Sb	Pb		
Пирротин / Pyrrhotite										
3	6_1	39.72	60.38	0.27	0.24	н.о.	н.о.	н.о.	100.6	(Fe _{0.929} Co _{0.004} Ni _{0.004}) _{0.936} S _{1.064}
	6_2	39.61	59.58	0.39	0.2	н.о.	н.о.	н.о.	99.79	(Fe _{0.923} Co _{0.006} Ni _{0.003}) _{0.931} S _{1.069}
2, 3	22_7	39.46	59.68	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99.14	Fe _{0.93} S _{1.070}
6	6_1	40.7	59.79	0.28	0.47	н.о.	н.о.	н.о.	101.25	(Fe _{0.9} Co _{0.004} Ni _{0.007}) _{0.921} S _{1.079}
	6_2	39.82	59.99	0.31	0.2	н.о.	н.о.	н.о.	100.32	(Fe _{0.924} Co _{0.005} Ni _{0.003}) _{0.932} S _{1.068}
	6_3	37.95	58.45	0.31	0.49	н.о.	н.о.	н.о.	97.19	(Fe _{0.933} Co _{0.005} Ni _{0.007}) _{0.945} S _{1.055}
6	29_1	39.85	60.64	0.4	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100.89	(Fe _{0.93} Co _{0.006}) _{0.936} S _{1.064}
	29_3	39.64	60.78	0.27	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100.69	(Fe _{0.935} Co _{0.004}) _{0.938} S _{1.062}
	29_7	37.9	57.93	0.36	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	96.19	(Fe _{0.923} Co _{0.005}) _{0.938} S _{1.062}
Арсенопирит / Arsenopyrite										
5	2_5a	15.83	23.7	3.03	н.о.	35.82	н.о.	н.о.	78.39	(Fe _{0.879} Co _{0.107}) _{0.986} As _{0.991} S _{1.023}
	2_5б	17.69	31.46	3.78	н.о.	47.07	н.о.	н.о.	100.00	(Fe _{0.935} Co _{0.106}) _{1.041} As _{1.043} S _{0.916}
Пирит / Pyrite										
6	29_2	51.89	45.44	0.32	н.о.	1.49	0.67	н.о.	99.81	(Fe _{0.993} As _{0.024} Co _{0.007} Sb _{0.007}) _{1.029} S _{1.976}
Галенит / Galena										
3	3_4	12.42	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	86.73	99.15	Pb _{1.039} S _{0.961}

Примечание. н.о. — элемент не обнаружен.

Note. н. о. — element is not found.

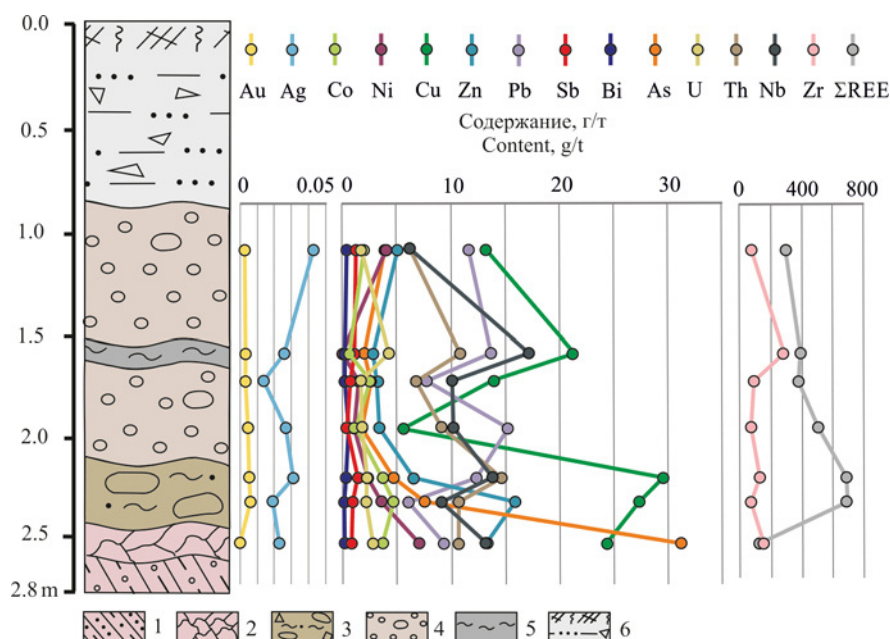


Рис. 15. График распределения золота и сопутствующих элементов по разрезу. Условные обозначения для литологической колонки см. на рис. 2

Fig. 15. Graph of distribution of gold and related elements along the section. For symbols, see Fig. 2

чения зафиксированы в грубообломочных кварцевых конгломератах (слой 3). Повышение содержания золота сопровождается увеличением Co, Ni, Zn, Cu, As и РЗЭ (рис. 15). Содержания Pt и Те по всем пробам отмечаются ниже предела обнаружения.

Минеральные включения в обломках жильного кварца. Изучены обломки из кварцевых конгломератов пижемской свиты среднего девона (слой 3). Они представлены жильным кварцем молочно-белого цвета. Обломки отмечаются в виде щебня и крупной гальки (до 10 см) средней, реже хорошей окатанности, мелких валунов (до 20 см). Окатанность и размерность обломков снижается в направлении от южного торца канавы к северному.

По трещинам кварца развиваются гидроксиды железа. В нём установлены включения рутила и пирита (рис. 16). Рутил присутствует в виде удлиненных кристаллов. Пирит наблюдается в виде мелких включений (до 20 мкм) и тончайших выделений в трещине. В составе пирита зафиксированы примеси (в мас. %): Co (0.3–1.3), Ni (0.3–0.7) и As (1.7–2.0) (табл. 4).

Обсуждение результатов

Морфологические особенности исследуемого самородного золота (слабая окатанность, рудный облик, срастания золота с кварцем) свидетельствуют о близости его коренного источника.

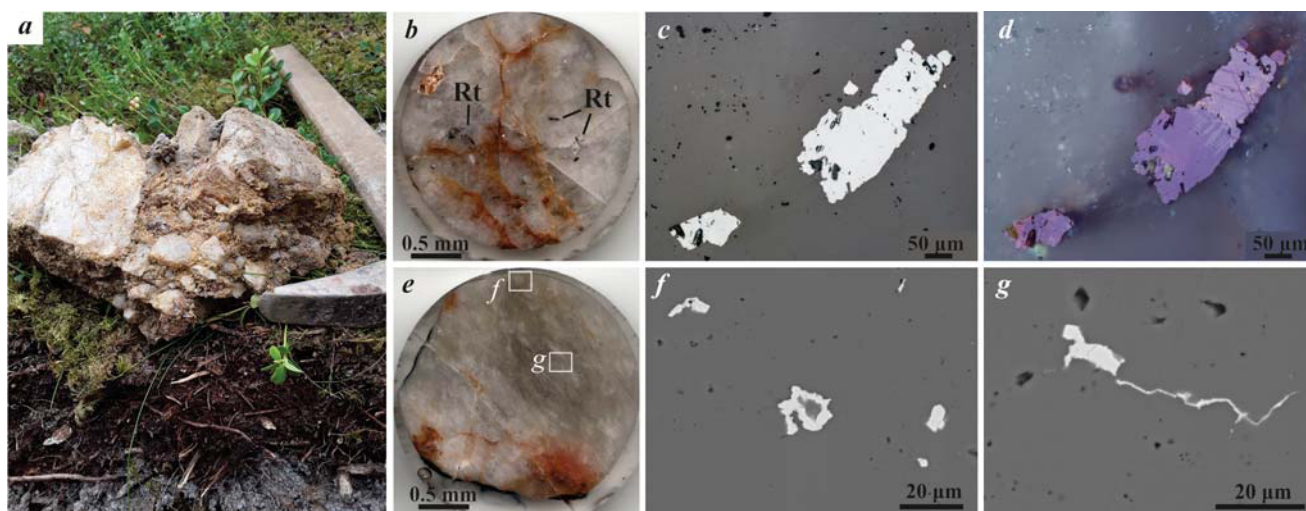


Рис. 16. Обломки жильного кварца (а). Включения в нём рутила (с, d) и пирита (f, g): b–e — оптические изображения; c — николи параллельны, d — николи скрещены; f, g — СЭМ-изображения в режиме BSE. Rt — рутил

Fig. 16. Fragments of vein quartz (a), inclusions of rutile (c, d) and pyrite (f, g): b–e — optical images; c — parallel nicols, d — crossed nicols; f, g — SEM images in BSE mode. Rt — rutile



Таблица 4. Химический состав пирита в жильном кварце

Table 4. Chemical composition of pyrite in vein quartz

Шлиф / Section	Анализ / Analysis	Содержание, мас. % / Content, wt. %					Сумма / Sum
		S	Fe	Co	Ni	As	
6059/2_2a	1_1	53.18	44.58	0.32	0.26	2.02	100.37
6059/2_2a	1_2	52.49	44.35	0.41	0.27	1.69	99.21
6059/2_2a	2_1	53.00	43.52	1.28	0.71	n.o.	98.52

Примечание. н. о. — химический элемент не обнаружен.

Note. n. o. — element is not found.

На основании установленных типоморфных особенностей золота, таких как преобладание весьма мелкого гранулометрического класса (0.1—0.25 мм) при наличии крупного золота, присутствие гемидиоморфных, рудных, пластинчатых, комковидных форм, высокая пробность, пятнисто-блочное внутреннее строение, минеральные включения сульфидов и кварца, можно предположить принадлежность коренных источников к золото-кварц-сульфидной формации (Атлас..., 2015; Николаева, Яблокова, 2007; Петровская, 1973).

Включения пирита в кварце, в составе которого установлены примеси Co, Ni и As, аналогичны включениям пирита в золоте. Кроме того, в пирротине и арсенопирите также присутствуют примеси Co и/или Ni. Это свидетельствует о том, что золото и сульфидная минерализация имеют одну природу. Также эта связь подтверждается положительной корреляцией содержаний Au с Co, Ni, Zn, Cu, As, Pb во вскрытом разрезе (рис. 15). Повышение содержаний РЗЭ, по данным химического анализа, объясняется присутствием куларита в составе тяжелой фракции.

Неоднородное внутреннее строение, характеризующееся блочно-мозаичной структурой и низкопробными межзерновыми прожилками, возможно, образовалось в результате перекристаллизации под действием температуры и давления (Атлас..., 2015).

Присутствие на поверхности золотин нанозолота и микронного золота червеобразных, округлых и других форм разных генераций совместно со скульптурами растворения указывают на нестабильные физико-химические условия среды (Калинин и др., 2022). Возможно, кристаллизация золота могла происходить в результате хомогенных процессов либо из коллоидных, либо из ионных растворов (Калинин и др., 2018; Попенко, 1982; Осовецкий, Shuster, Reith, 2018). Золото может иметь также биогенное происхождение (Жмодик, и др., 2012; Маракушев и др., 1989; Reith et al., 2010; Rea et al., 2016;). Так или иначе такие новообразования золота являются результатом перераспределения дисперсного золота при формировании профиля выветривания (Жмодик и др., 2009).

Золото в сростании с рутилом вызывает интерес тем, что в составе рутила присутствуют примеси V (0.4—0.5 мас. %), Fe (0.3—0.7 мас. %), Nb (0.4—1.2 мас. %). Рутил с содержаниями ванадия и ниобия встречается в основных породах, эклогитах, кимберлитах (Королев и др., 2014; Соболев и др., 2011; Zack et al., 2004), а также метаморфических и метаморфогенных высокотемпературных породах (Luvizotto et al., 2009; Luvizotto, Zack, 2009). На Тимане подобный рутил отмечается в алмазсодержащих среднедевонских отложениях пи-

жемской свиты палеороссыпи Ичетью (Средний Тиман) и ассывожской толще Южного Тимана (Гракова, 2014; Красоткина и др., 2017). Стоит отметить, что О. В. Граковой в ичетьюском рутиле были установлены включения золота и монацита. Источниками ниобиевого рутила на Тимане могут быть либо лампрофилы, либо рудные жилы, вероятно расположенные в рифейских толщах Вольско-Вымской гряды (Красоткина и др., 2017), а также магматические породы основного либо щелочного состава и кимберлиты (Гракова, 2014).

Изученный межформационный контакт рифейских и девонских отложений в верховьях ручья Волчий имеет ряд схожих признаков с алмаз-золото-редкоземельно-редкометалльно-титановой палеороссыпью Ичетью, расположенной в 10 км к востоку-юго-востоку от участка работ. Это близость стратиграфического положения, характер отложений, минеральный состав тяжелой фракции, характеризующийся преобладанием титановых и редкоземельных минералов (Дудар, 1996; Макеев и др., 2020). Самородное золото также имеет большое сходство с золотом палеороссыпи Ичетью: мелкие размеры (0.25—1.0 мм), рудный облик, низкая степень окатанности, разнообразие форм и высокая пробность (Макеев, Дудар, 2003). В настоящее время коренные источники золота палеороссыпи Ичетью не установлены, но предполагается, что оно имеет связь с кварцевыми жилами и сульфидным оруденением рифейских черносланцевых толщ (Дудар, 1996). Наличие относительно высоких золотых концентраций в кварцевых конгломератах указывает на возможное присутствие здесь золоторудных объектов. Можно предполагать наличие в палеорельефе значительных понижений, выполненных подобными отложениями с высокими концентрациями золота. Выявление таких объектов возможно только в рамках поисковых работ. В ассоциации с золотом можно ожидать и проявление алмазов. Тем более что в пределах Цилемского поднятия известно о находке 2 кристаллов алмаза в русловых отложениях реки Цильмы и шлиховых ореолов минералов-спутников алмазов — пирропов в рыхлых и палеозойских отложениях (Тиманский..., 2009).

Выводы

В минеральном составе тяжелой фракции золото-содержащих шлиховых и протоочных проб из межформационной зоны девонских и рифейских отложений преобладают титановые и редкоземельные минералы. Самородное золото характеризуется преимущественно весьма мелким классом крупности

(0.25–1.0 мм), рудным обликом, низкой степенью окатанности и разнообразием форм. В составе золота присутствует только примесь Ag (до 10.3 мас. %). Пробность варьирует от 899 до 1000 ‰. Внутреннее строение золота неоднородное, характеризуется зернистой, блочно-мозаичной структурой. В нём установлены включения пирротина, пирита, галенита и арсенопирита. Включения пирита с примесями Co, Ni и As в золоте аналогичны включениям пирита в кварце. Примечательно, что в пирротине и арсенопирите также присутствуют примеси Co и/или Ni. Следовательно, можно предполагать, что золото и сульфидная минерализация имеют одну природу. Также эта связь подтверждается положительной корреляцией содержаний Au с Co, Ni, Zn, Cu, As, Pb во вскрытом разрезе.

Довольно часто наблюдаются сростания золота с кварцем, реже мусковитом. Впервые на Среднем Тимане установлено сростание золота с рутилом. В составе рутила присутствуют примеси V (0.4–0.5 мас. %), Fe (0.3–0.7 мас. %), Nb (0.4–1.2 мас. %). Подобный рутил встречается на Тимане в алмазосодержащих среднедевонских отложениях пижемской свиты палеороссыпи Ичетью (Средний Тиман), а также в ассывожской толще Южного Тимана (Гракова, 2014; Красоткина и др., 2017).

Присутствие на поверхности золотин нанозолота и микронного золота червеобразных, округлых и других форм разных генераций совместно со скульптурами растворения является результатом перераспределения дисперсного золота при формировании профиля выветривания.

Можно предполагать, что коренными источниками изученного золота являются зоны развития золото-кварц-сульфидной вкрапленной минерализации, локализованные в рифейских сланцевых толщах, и секущие их кварцевые жилы.

Таким образом, характер отложений, их минеральный состав, морфология и состав золота имеют схожесть с отложениями комплексной алмаз-золото-редкоземельно-редкометалльно-титановой палеороссыпи Ичетью, что позволяет прогнозировать присутствие аналогичных рудных объектов не только в пределах Цилемского поднятия, но и всего Тимана.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 1220406 00009-2.

Литература / References

- Атлас самородного золота рудных и россыпных месторождений России / Л. А. Николаева, А. М. Гаврилов, А. Н. Некрасова и др. М.: Акварель, 2015. 200 с.
Atlas of native gold of ore and placer deposits in Russia. L. A. Nikolaeva, A. M. Gavrilov, A. N. Nekrasova et al. Moscow: Akvarel, 2015, 200 p. (in Russian)
- Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1: 200 000. Издание второе. Серия Тиманская. Лист Q-39-XXVII, XXVIII (Замежная). Объяснительная записка / Н. М. Пармузин; Минприроды России, Роснедра, Коминедра, ЗАО ГТК «МИРЕКО». Электрон. текстовые дан. М.: Московский филиал ВСЕГЕИ, 2021. State geological map of the Russian Federation, scale 1: 200,000. Second edition. Timanskaya series. Sheet Q-39-XXVII, XXVIII (Zamezhnaya). Explanatory note [Electronic resource]. N. M. Parmuzin; Ministry of Natural Resources of Russia, Rosnedra, Kominedra, MIRECO. Electron. text data Moscow: VSEGEI, 2021. (in Russian)
- Гракова О. В. Видовой состав, химические и типоморфные особенности акцессорных минералов девонских алмазосодержащих отложений Южного и Среднего Тимана // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2014. № 3 (231). С. 3–9.
Grakova O. V. Species composition, chemical and typomorphic features of accessory minerals of Devonian diamond-bearing deposits of Southern and Middle Timan. Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS, 2014, No. 3 (231), pp. 3–9. (in Russian)
- Дудар В. А. Россыпи Среднего Тимана // Руды и металлы. 1996. № 4. С. 80–90.
Dudar V. A. Placers of Middle Timan. Ores and metals, 1996, No. 4, pp. 80–90. (in Russian)
- Жмодик С. М., Калинин Ю. А., Росляков Н. А., Миронов А. Г., Михлин Ю. Л., Белянин Д. К., Немировская Н. А., Спиридонов А. М., Нестеренко Г. В., Айриянец Е. В., Мороз Т. Н., Бульбак Т. А. Наночастицы благородных металлов в зоне гипергенеза // Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54. № 2. С. 168–183.
Zhmodik S. M., Kalinin Yu. A., Roslyakov N. A., Mironov A. G., Mikhlin Yu. L., Belyanin D. K., Nemirovskaya N. A., Spiridonov A. M., Nesterenko G. V., Airiyants E. V., Moroz T. N., Bulbak T. A. Nanoparticles of noble metals in the hypergenesis zone. Geology of ore deposits, 2012, V. 54, No. 2, pp. 168–183. (in Russian)
- Жмодик С. М., Белянин Д. К., Миронов А. Г., Пархоменко В. С., Титов А. Т., Тепляков Т. В., Цимбалист В. Г., Татаринцов А. В. Роль биогенного фактора в накоплении платины океаническими железомарганцевыми конкрециями // ДАН. 2009. Т. 426. № 5. С. 658–663.
Zhmodik S. M., Belyanin D. K., Mironov A. G., Parkhomenko V. S., Titov A. T., Teplyakov T. V., Tsimbalist V. G., Tatarinov A. V. Role biogenic factor in the accumulation of platinum by oceanic ferromanganese nodules. Doklady Earth Sciences, 2009, V. 426, No. 5, pp. 658–663. (in Russian)
- Калинин Ю. А., Кузугет Р. В., Хусаинова А. Ш., Гаскова О. Л., Бутанаев Ю. В. Эволюция золота в зоне окисления месторождения Копто (Республика Тыва, Россия) // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 7. С. 956–970. DOI: 10.15372/GiG2021162
Kalinin Yu. A., Kuzhuget R. V., Khusainova A. Sh., Gaskova O. L., Butanaev Yu. V. Evolution of gold in the oxidation zone of the Kopto deposit (Tuva Republic, Russia). Geology and Geophysics, 2022, V. 63, No. 7, pp. 956–970. DOI: 10.15372/GiG2021162 (in Russian)
- Калинин Ю. А., Пальянова Г. А., Бортников Н. С., Наумов Е. А., Ковалев К. Р. Механизмы агрегации и дифференциации золота и серебра при формировании золотоносных кор выветривания (на примере месторождений Казахстана) // Доклады РАН. 2018. Т. 482. № 2. С. 190–195.
Kalinin Yu. A., Palyanova G. A., Bortnikov N. S., Naumov E. A., Kovalev K. R. Mechanisms of aggregation and differentiation of gold and silver during the formation of gold-bearing weathering crusts (example of deposits in Kazakhstan). Doklady Earth Sciences, 2018, V. 482, No. 2, pp. 190–195. (in Russian)
- Королев Н. М., Марин Ю. Б., Никитина Л. П., Зинченко В. Н., Шисупа У. М. Высококиобиевый рутил из верхнемантийных эклогитовых ксенолитов алмазоносной ким-



- берлитовой трубки Катока, Ангола // Доклады РАН. 2014. Т. 454. №2. С. 207—210.
- Korolev N. M., Marin Yu. B., Nikitina L. P., Zinchenko V. N., Shisupa U. M. High-niobium rutile from upper mantle eclogite xenoliths of the diamond-bearing kimberlite pipe of Catoca, Angola. *Doklady Earth Sciences*, 2014, V. 454, No. 2, pp. 207—210. (in Russian)
- Красоткина А. О., Мачевариани М. М., Королев Н. М., Макеев А. Б., Скублов С. Г. Типоморфные особенности ниобиевого рутила из рудопрооявления Ичетью (Средний Тиман) // ЗРМО. 2017. № 2 С. 88—100.
- Krasotkina A. O., Machevariani M. M., Korolev N. M., Makeev A. B., Skublov S. G. Typomorphic features of niobium rutile from the Ichetyu ore occurrence (Middle Timan). *Proc. RMS*, 2017, No. 2, pp. 88—100. (in Russian)
- Макеев А. Б., Дудар В. А. Самородки золота россыпных проявлений Приполярного Урала и Среднего Тимана // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО. 2003. № 11. С. 15—18.
- Makeev A. B., Dudar V. A. Gold nuggets of placer occurrences of the Subpolar Urals and Middle Timan. *Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS*, 2003, No. 11, pp. 15—18. (in Russian)
- Макеев А. Б., Борисовский С. Е., Красоткина А. О. Химический состав и возраст монацита и куларита из титановых руд Пижемского и Ярегского месторождений (Средний и Южный Тиман) // Георесурсы. 2020. Т. 22. № 1. С. 22—31. DOI: 10.18599/grs.2020.1.22-31.
- Makeev A. B., Borisovsky S. E., Krasotkina A. O. Chemical composition and age of monazite and kularite from titanium ores of the Pizhemskoye and Yaregskoye deposits (Middle and South Timan). *Georesursy*. 2020, V. 22, No. 1, pp. 22—31. DOI: 10.18599/grs.2020.1.22-31. (in Russian)
- Маракушев С. А., Ковалевская А. Н., Сафронов П. П., Бородавкина О. Н., Моисеенко В. Г. Бактериальная перекристаллизация золота // Доклады АН СССР. 1989. 308 (2). С. 482—485.
- Marakushev S. A., Kovalevskaya A. N., Safronov P. P., Borodavkina O. N., Moiseenko V. G. Bacterial recrystallization of gold. *Doklady Earth Sciences*, 1989, 308(2), pp. 482—485. (in Russian)
- Николаева Л. А., Яблокова С. В. Типоморфные особенности самородного золота и их использование при геолого-разведочных работах // Руды и металлы. 2007. № 6. С. 41—57.
- Nikolaeva L. A., Yablokova S. V. Typomorphic features of native gold and their use in geological exploration. *Ores and Metals*, 2007, No. 6, pp. 41—57. (in Russian)
- Осовецкий Б. М. «Новое» золото: монография. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2016. 116 с.
- Osovetsky B. M. "New" gold: monograph. Perm: Perm. state national research univ., 2016, 116 p. (in Russian)
- Петровская Н. В. Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса). М.: Наука, 1973. 348 с.
- Petrovskaya N. V. Native gold (general characteristics, typomorphism, problems of genesis). Moscow: Nauka, 1973, 348 p. (in Russian)
- Попенко Г. С. Минералогия золота четвертичных россыпей Узбекистана. Ташкент: Фан, 1982. 144 с.
- Popenko G. S. Mineralogy of gold from Quaternary placers in Uzbekistan. Tashkent: Fan, 1982, 144 p. (in Russian)
- Соболев Н. В., Логвинова А. М., Лаврентьев Ю. Г., Карманов Н. С., Усова Л. В., Козменко О. А., Рогозин А. Л. Nb-рутил из микросенолита эклогита кимберлитовой трубки Загадочная, Якутия // Доклады РАН. 2011. Т. 439. № 1. С. 102—05.
- Sobolev N. V., Logvinova A. M., Lavrentyev Yu. G., Karmanov N. S., Usova L. V., Kozmenko O. A., Rogozin A. L. Nb-rutile from microxenolite eclogite kimberlite Zagadochnaya pipes, Yakutia. *Doklady Earth Sciences*, 2011, V. 439, No. 1, pp. 102—105. (in Russian)
- Тиманский кряж: В 2 т. Т. 2. Литология и стратиграфия, геофизическая характеристика земной коры, тектоника, минерально-сырьевые ресурсы: Монография. Ухта: УГТУ, 2009. 460 с.
- Timan Ridge. In 2 volumes T. 2. Lithology and stratigraphy, geophysical characteristics of the Earth crust, tectonics, mineral resources: Monograph. Ukhta: USTU, 2009, 460 p.
- Shuster J., Reith F. Reflecting on gold geomicrobiology research: thoughts and considerations for future endeavors // *Minerals*. 2018. 8(9). V. 401. 12 p.
- Luvizotto G. L., Zack T. Nb and Zr behavior in rutile during high-grade metamorphism and retrogression: An example from Ivrea-Verbano Zone // *Chem. Geol.* 2009. V. 261. P. 303—317.
- Luvizotto G. L., Zack T., Triebold S., von Eynatten H. Rutile occurrence and trace element behavior in medium-grade metasedimentary rocks: example from the Erzgebirge, Germany // *Miner. Petrol.* 2009. V. 97. P. 233—249
- Reith F., Fairbrother L., Nolze G., Wilhelm O., Clode P. L., Gregg A. Parsons J. E., Wakelin S. A., Pring A., Hough R., Southam G., Brugger J. Nanoparticle factories: Biofilms hold the key to gold dispersion and nugget formation. // *Geology*. 2010. V. 38. P. 843—846.
- Rea M. A., Zammit C. M., Reith F. Bacterial biofilms on gold grains-implications for geomicrobial transformations of gold // *FEMS Microbiol. Ecology*. 2016. 92(6). P. 1—12.
- Zack T., von Eynatten H., Kronz A. Rutile geochemistry and its potential use in quantitative provenance studies // *Sediment. Geol.* 2004. V. 171. P. 37—58.

Поступила в редакцию / Received 28.05.2024