

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553.411.071:553.07 (571.513)

**Возраст формирования золото-сульфидно-кварцевых жил
Кизасского рудного поля (Шаманский рудный узел,
Западный Саян) по данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования****Окулов А. В.¹, Черных А. И.²**¹ ЦНИГРИ, г. Москва, Россия; ² ООО «УК Полюс», г. Москва, Россия

Аннотация. Кизасское рудное поле, сформированное отложениями шаманской свиты раннего кембрия, характеризуется амагматичным строением и выделяется аномально высокой россыпной золотоносностью: за всё время эксплуатации добыто более 22 т россыпного золота. На территории рудного поля известны многочисленные проявления золота, наиболее крупное из которых – участок Троицкий. Золотоносные разнонаправленные кварцевые жилы и зоны неравномерного жильно-прожилкового окварцевания приурочены к обширной и протяжённой минерализованной зоне метасоматических изменений пирит-кварц-серицит-анкеритового состава. В связи с дискуссионностью возраста формирования золотого оруденения и источника рудного вещества, а также пространственной удалённостью кварцевых жильно-прожилковых зон от интрузивных комплексов актуально датирование руд и гидротермалитов. Выполненное датирование серицита золотоносных кварцевых жил $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом позволило обосновать их среднедевонско-раннекарбоновый возраст (391–359 млн лет). В составе проб-протолок кварца установлена ассоциация золота с пиритом и халькопиритом, реже с борнитом и гематитом. Изучение химического состава кварцевых жил методом ИСП-МС показало повышенное содержание Ag, Cu, Bi, Te, As.

Ключевые слова: Кизасское рудное поле, участок Троицкий, жильный кварц, мусковит, паргонит, рудное золото, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование.

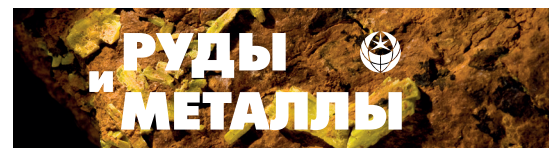
Для цитирования: Окулов А. В., Черных А. И. Возраст формирования золото-сульфидно-кварцевых жил Кизасского рудного поля (Шаманский рудный узел, Западный Саян) по данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования. Руды и металлы. 2026. № 3. С. 58–82. DOI: 10.47765/0869-5997-2026-10014.

**Age of formation of gold-sulfide-quartz veins in the Kizas ore field,
Shamansky ore cluster, Western Sayan, based on $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ data****Okulov A. V.¹, Chernykh A. I.²**¹ Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals (FSBI TsNIGRI), Moscow, Russia; ² Management Company Polyus LLC, Moscow, Russia

Abstract. The Kizas ore field formed by deposits of the Early Cambrian Shaman Formation is characterized by an amagmatic structure and is notable for its anomalously high placer gold potential: over 22 tonnes of placer gold have been extracted throughout its history of exploitation. Numerous gold occurrences are known within the field, the largest being the Troitsky Site. Gold-bearing quartz veins of varying orientations and zones of irregular vein-veinlet silicification are confined to a wide and elongated mineralized zone of pyrite-quartz-sericite-ankerite metasomatic alteration. Given the ongoing debate regarding the age of the gold mineralization and the source of the ore-forming material, as well as the spatial remoteness of the quartz vein-veinlet zones from intrusive complexes, dating of the ores and hydrothermal alteration products is a matter of importance. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of sericite from the gold-bearing quartz veins has confirmed their Middle Devonian to Early Carboniferous age (391–359 Ma). Analysis of the crushed quartz samples revealed an association of gold with pyrite and chalcopyrite, and less frequently with bornite and hematite. ICP-MS analysis of the quartz veins indicated elevated concentrations of Ag, Cu, Bi, Te, and As.

Keywords: Kizas ore field, Troitsky Site, vein quartz, muscovite, paragonite, ore gold, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating.

For citation: Okulov A. V., Chernykh A. I. Age of formation of gold-sulfide-quartz veins in the Kizas ore field, Shamansky ore cluster, Western Sayan, based on $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ data Ores and metals. 2026. No. 3. pp. 58–82. DOI: 10.47765/0869-5997-2026-10014.



Введение

Кизасское рудное поле (87 км²) расположено в Таштыпском районе Республики Хакасия. В географическом плане оно локализовано на северо-западном склоне Шаманского хребта (Западный Саян), в бассейне верхнего течения реки Кизас – правого притока реки Абакан. В металлогеническом отношении рудное поле выделяется в составе Шаманского рудного узла (473 км²), который приходится на центральную часть Кизас-Анзасского рудного района Северо-Саянской минерагенической зоны. В южной части Кизас-Анзасского рудного района выделяется Анзасский золото-железорудный, в северной – Джарганский золото-полиметаллический рудные узлы (рис. 1).

К полю распространения вулканогенно-карбонатно-терригенных отложений шаманской свиты раннего кембрия (*C₁st*) приурочен одноимённый рудный узел. Отложения свиты смяты в линейные складки с северо-восточной ориентировкой шарниров, с этим направлением совпадает ориентировка главных разрывных нарушений и сланцеватости пород. Широко распространены процессы фидитизации пород, в целом метаморфические преобразования не превышают уровня низов зеленосланцевой фации. Гидротермальные процессы выражены в достаточно широком проявлении жил и прожилков кварца, а также вкрапленной пиритовой и Fe-карбонатной минерализации, реже отмечается Fe-карбонат-кварцевая жильная и прожилковая минерализация. При этом Кизасское рудное поле и Шаманский рудный узел имеют амагматичное строение: здесь встречены лишь единичные дайки диорит-порфиров.

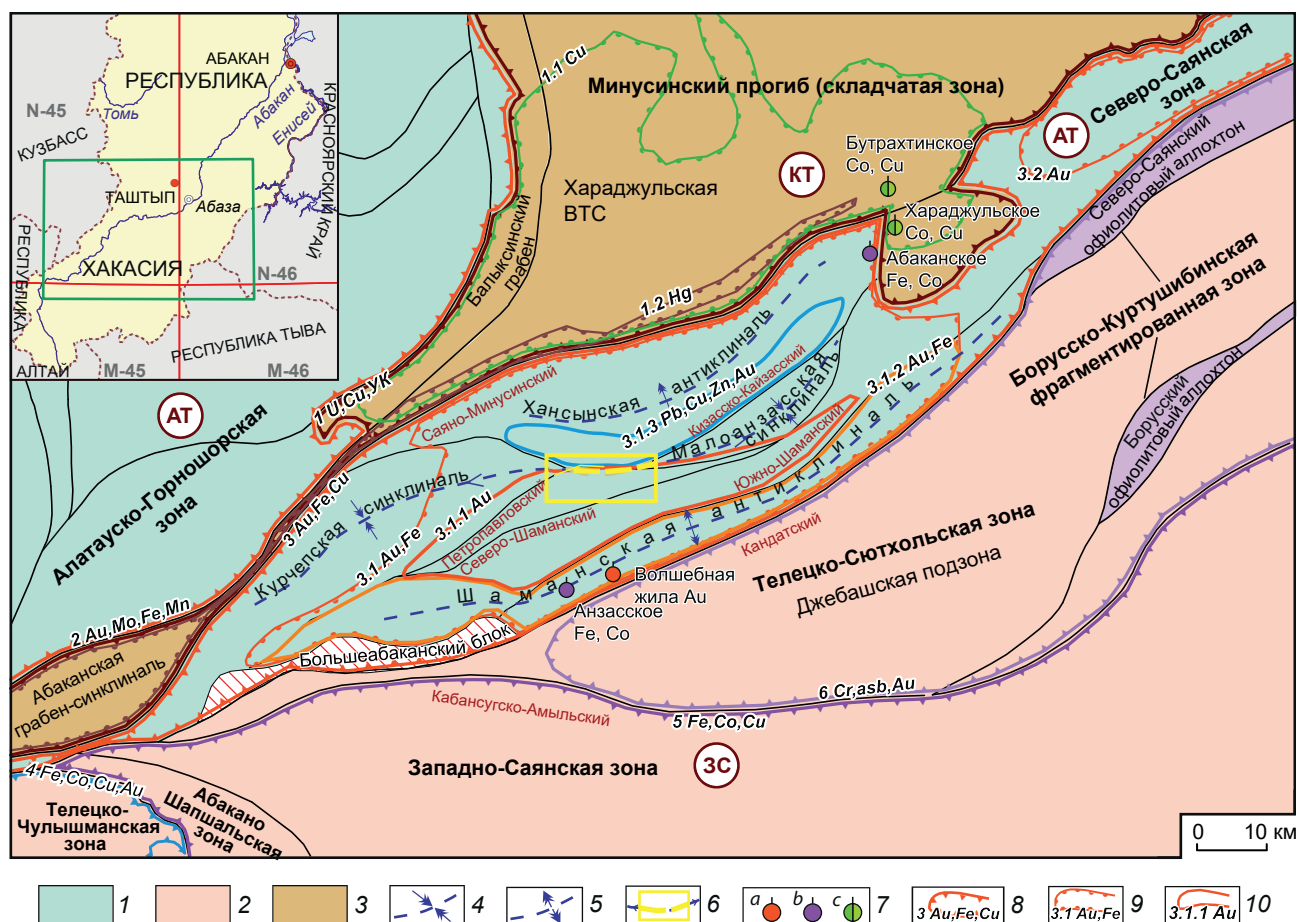
Кизасское рудное поле известно богатством своих россыпей, официальная добыча золота из которых началась в 1864 г. и с перерывами продолжается вплоть до настоящего времени. Согласно имеющимся архивным и фондовым данным И. К. Баженова (1929ф), А. Д. Кириллова (1977ф), А. Я. Вамбольты (1995ф), Государственного баланса запасов за 1992–2024 гг., в период с 1864 по 2024 гг.

из россыпей Кизас-Анзасского рудного района было добыто 29 727 кг золота, в т. ч. из россыпей Шаманского рудного узла – 24 570 кг золота, то есть порядка 83 %. Оставшиеся 5 147 кг, или 17 %, были добыты из россыпей Анзасского рудного узла. Из россыпей Кизасского рудного поля добыто около 22 108 кг золота, то есть 74 % от общего количества добытого металла по рудному району или 90 % от доли металла, добытого из россыпей рудного узла, что определяет его как один из наиболее продуктивных в Алтае-Саянском регионе. В пределах Джарганского рудного узла известна лишь мелкая россыпь, давшая около 9 кг золота.

При наличии в пределах Шаманского узла аномально богатых крупных россыпей золота и повсеместной шлиховой золотоносности аллювиальных и частично делювиальных отложений, на данный момент здесь не известно крупных по запасам и ресурсам месторождений или проявлений коренного золота. Наличие богатых россыпей золота обусловило перспективность региона в отношении поисков рудного золота, которые предпринимались неоднократно, начиная с 1886–1888 гг. вплоть до 2020–2022 гг.

В истории изучения коренной золотоносности Шаманского рудного узла намечается три основных этапа. Первый этап охватывает период с 1886 г. по 1910 г., в который при активной старательской отработке в плотиках россыпей неоднократно вскрывались кварцевые жилы с золотом. В 1886–1888 гг. на юго-западном склоне горы Троицкой ортой были вскрыты четыре кварцевые жилы, в т. ч. с видимым золотом [9].

Во второй этап условно выделяется период с 1920-х по 1960-е гг. В это время ведётся более масштабное изучение золотоносности территории, выполняется проходка шурфов и канав, копушное опробование и маршрутные наблюдения по склонам и водоразделам. Работы второго этапа были ориентированы на поиски золотоносных кварцевых жил, они завершились созданием комплекта государственной геологической карты масштаба 1 : 200 000.



Третий этап (с начала 1960-х гг. по настоящее время) характеризуется интенсивным изучением территории, включая геолого-съёмочные работы масштаба 1 : 50 000 и ГДП-50. С перерывами выполняются поисковые работы на рудное золото масштаба 1 : 25 000–1 : 10 000. Итогом работ данного этапа стала подготовленная детальная геологическая основа масштаба 1 : 50 000, были намечены главные закономерности распределения золота, установлены основные рудоконтролирующие разломы и определены преобладающие геолого-промышленные типы.

Характерно, что на ранних этапах изучения поиски золота были ориентированы на кварцевые жилы, поэтому вплоть до 1970-х гг. в пределах обширной территории Шаманского рудного узла были известны лишь многочисленные свалы рудного кварца и относи-

тельно мелкие проявления золота жильного типа. Позднее, с конца 2000-х гг., производственными (М. И. Курочкин, 2008ф, 2011ф) и научно-исследовательскими работами [1–3, 6–8] было показано, что кроме кварцевых жил в пределах Шаманского рудного узла выделяются линейные золотоносные зоны весьма неравномерного жильно-прожилкового окварцевания, в т. ч. в метасоматитах пирит-кварц-серицит-анкеритового состава. В результате последних проведённых поисковых работ АО «Сибирское ПГО» (М. А. Прохорова с коллегами, 2022ф) в центральной части Кизасского рудного поля удалось прирастить по рудопроявлению Троицкому прогнозные ресурсы золота категории P_1 и P_2 .

Необходимо отметить, что не последнюю роль в успешности работ 2020-х гг. сыграло изменение методических подходов: примене-

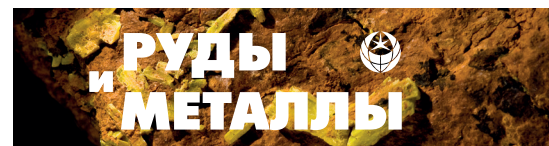


Рис. 1. Обзорная схема геолого-структурного строения и металлогенического районирования Кизас-Анзасского золоторудно-россыпного района [8]:

1–3 – комплексы складчатости и соответствующие им минерагенические субпровинции: каледонско-эпикаледонские (1 – Алатауско-Тувинская (АТ), 2 – Западно-Саянская (ЗС)), герцинско-эпигерцинская (3 – Кузнецко-Тувинская (КТ)); 4 – оси наиболее крупных синклиналей; 5 – оси наиболее крупных антиклиналей; 6 – участок максимальных складчато-разрывных деформаций; 7 – месторождения: *a* – золота, *b* – железа, *c* – медно-кобальтовые; границы металлогенических таксонов: 8 – металлогенических зон (МЗ), 9 – рудных районов, 10 – рудных узлов (в скобках их номера на схеме). Минусинская угленосная-медно-урановорудная минерагеническая область (1 *U*, *Cu*, *UK*), включая рудные районы: Хараджувский меднорудный (1.1 *Cu*), Абаканский ртутный (1.2 *Hg*); Алатауско-Горношорская марганцево-молибден-золоторудная МЗ (2 *Au*, *Mo*, *Fe*, *Mn*); Северо-Саянская медно-железо-золоторудная МЗ (3 *Au*, *Fe*, *Cu*), включая рудные районы: Кизасско-Анзасский железо-золоторудный (3.1 *Au*, *Fe*) с рудными узлами (Шаманский золоторудный (3.1.1 *Au*), Анзасский золото-железорудный (3.1.2 *Au*, *Fe*), Джарганский прогнозируемый золото-полиметаллический (3.1.3 *Pb*, *Cu*, *Zn*, *Au*)) и Майнский золоторудный (3.2 *Au*); Телецко-Башкауская золото-медь-кобальт-железорудная МЗ (4 *Fe*, *Co*, *Cu*, *Au*); Центрально-Западно-Саянская медно-кобальтово-железорудная МЗ (5 *Fe*, *Co*, *Cu*); Борусско-Куртушибинская золото-асбест-хромитоворудная МЗ (6 *Cr*, *asb*, *Au*)

Fig. 1. Overview scheme showing the geological structure and metallogenic regionalization of the Kizas-Anzas gold ore and placer region [8]:

1–3 – folded complexes and their corresponding minerogenic subprovinces: Caledonian to epi-Caledonian (1 – Alatau-Tuva (AT), 2 – West Sayan (3C)), Hercynian to epi-Hercynian (3 – Kuznetsk-Tuva (KT)); 4 – axes of the largest synclines; 5 – axes of the largest anticlines; 6 – area of the maximum fold-fault deformations; 7 – ore deposits: *a* – gold, *b* – iron, *c* – copper-cobalt; boundaries of metallogenic taxa: 8 – metallogenic zones, 9 – ore regions, 10 – ore clusters (the numbers are in brackets). Minusinsk coal-bearing copper-uranium minerogenic region (1 *U*, *Cu*, *UK*), including the following ore regions: Kharajul copper-bearing (1.1 *Cu*) and Abakan mercury (1.2 *Hg*); Alatau-Gornoshor manganese-molybdenum-gold ore metallogenic zone (2 *Au*, *Mo*, *Fe*, *Mn*); North Sayan copper-iron-gold ore metallogenic zone (3 *Au*, *Fe*, *Cu*), including the following ore regions: Kizas-Anzas iron-gold ore (3.1 *Au*, *Fe*) with ore clusters (Shaman gold ore (3.1.1 *Au*), Anzas gold-iron ore (3.1.2 *Au*, *Fe*), Dzhangar predicted gold-polymetallic (3.1.3 *Pb*, *Cu*, *Zn*, *Au*)) and Mainsky gold ore (3.2 *Au*); Teletsko-Bashkaus gold-copper-cobalt-iron ore metallogenic zone (4 *Fe*, *Co*, *Cu*, *Au*); Central-West Sayan copper-cobalt-iron ore metallogenic zone (5 *Fe*, *Co*, *Cu*); and Borussko-Kurtushibinsky gold-asbestos-chromite ore metallogenic zone (6 *Cr*, *asb*, *Au*)

ние более значительного объема канав механической проходки, поискового колонкового бурения, сплошного бороздового и кернового опробования небольшими секциями длиной до 1,5 м, применение более достоверного для крупного и неравномерного золота сечения борозды 5×10 см.

Одной из важных причин отсутствия значимых результатов в поисках коренного золота является недостаточная проработанность геолого-генетической модели образования золотого оруденения Кизасского рудного поля, последовательности его формирования и связи с геологическими обстановками. Отсутствие магматических тел существенно ограничива-

ет возможности использования изотопно-геохронологических методов датирования геологических и рудных процессов. Дефицит изотопно-геохронологических данных о возрасте золотого оруденения Кизас-Анзасского рудного района в целом во многом определяет неоднозначность имеющихся геолого-генетических моделей образования золота и снижает эффективность применяемого прогнозно-поискового комплекса. В этой связи нами было проведено $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопное датирование серицита из сульфидно-кварцевых жил с золотом, результаты которого могут использоваться для решения металлогенических задач для всего Алтае-Саянского региона [4].

Геологическое строение и особенности золотоносности

Геологическое строение и золотоносность Кизасского рудного поля ранее уже рассматривались в публикациях, в т. ч. в работах авторов [1, 3, 6–8], поэтому в настоящей статье мы дадим характеристику только основных отличительных особенностей.

Кизасское золоторудно-россыпное поле расположено в центральной части линзообразного тектонического блока, сложенного островодужными породами раннего–позднего кембрия. Границы этого блока определяют положение Кизасско-Анзасского рудного района в юго-западной части Северо-Саянской покровно-складчатой зоны (рис. 1). В центральной части выделяется Шаманский золоторудно-россыпной узел, сложенный карбонатно-вулканогенно-терригенными толщами раннего–позднего кембрия (шаманская, кайзасская, чеханская и кинская свиты), смятыми в линейные складки (Курчепско-Малоанзасская и Салматская синклинали, Кизасская и Татьянинская антиклинали) [8] (рис. 2).

К северо-западному крылу Кизасской антиклинали приурочено одноимённое рудное поле. Антиклиналь образована отложениями шаманской свиты, её северо-западное крыло характеризуется максимальным для пород шаманской свиты проявлением складчато-разрывных деформаций [8] (рис. 2). Через рудное поле проходят одни из наиболее крупных разломов – Петропавловский на севере и Северо-Шаманский на юге, которые трассируются мощными (100–700 м) зонами трещиноватости, рассланцевания, кливажа, милонитизации и катаклаза.

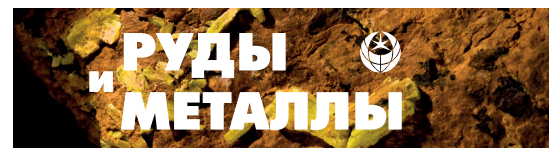
Важную роль в создании современного структурного плана Кизасского рудного поля играют более молодые, вероятно среднедевонско-раннекарбоновые разрывные нарушения север-северо-западного простирания (рис. 2). Каледонские породы разбиты ими на многочисленные блоки. Простирание разломов колеблется от 310 до 360°, падение – от северо-восточного до юго-западного, углы падения 75–90°. Нарушения носят сбросо-сдвиговый характер. Для этих разломов характерна не-

значительная мощность зон трещиноватости и дробления, вдоль которых часто развиты карбонатные, карбонатно-кварцевые и кварцевые жилы.

В целом в структурном плане Кизасское рудное поле приурочено к области сложного сочетания плекативных структур, а именно к крылу одноимённой антиклинали в месте её сопряжения с Курчепско-Малоанзасской синклинью и Хансынкой антиклинью, где кроме того максимально проявлены дизъюнктивные структуры разного ранга, направлений и возраста.

Примечательно, что наиболее перспективный в отношении золотоносности участок г. Троицкой приурочен к области периклинального замыкания Троицкой складки 3-го порядка (рис. 2).

Кизасское рудное поле сложено раннекембрийскими отложениями шаманской свиты. Наиболее широко среди них распространены рассланцованные переслаивающиеся серо-зелёные песчаники, алевропесчаники и алевролиты, иногда с примесью туфового материала. Кроме того, известны углеродисто-глинистые и углеродисто-кремнистые сланцы и алевролиты с прослоями, линзами и пачками гравелитов, конгломератов, туфопесчаников, туфо-алевролитов, туфоконгломератов, известняков, глинистых известняков, мергелей, известковистых песчаников и алевролитов. На локальных участках среди терригенных пород шаманской свиты встречаются единичные прослои эффузивов и туфов основного состава. Породы шаманской свиты характеризуются текстурами от массивных до сланцеватых, вплоть до формирования тонких (1–2 мм) плиток в зонах кливажа. Направление рассланцевания совпадает с северо-восточной ориентировкой главных геологических структур участка. Характерной чертой отложений шаманской свиты является наличие кристаллов кубического пирита максимальным размером до 5–12 см; наиболее часто пирит встречается в отложениях верхней подсвиты и в поверхностных условиях обычно окислен. Метасоматические изменения терригенных пород выражены в хлоритизации, окварце-



вании, анкеритизации и пиритизации, реже проявлена эпидотизация.

Аномально высокая россыпная золотоносность Кизасского рудного поля определила концентрацию здесь поисковых работ на коренное золото. На основании ранее проведённых исследований установлено, что коренная золотоносность рудного поля связана с двумя типами гидротермально-метасоматических образований – кварцевыми жилами, прожилками и зонами пирит-кварц-серицит-анкеритовых метасоматитов. Жилы и прожилки преимущественно кварцевого состава, иногда с анкеритом, содержат в небольшом количестве рудные минералы и золото.

На основе полученных данных и с учётом результатов работ предшественников в рудном поле оконтуриваются две основные мощные и протяжённые минерализованные зоны, положение которых контролируется региональными разрывами СВ ориентировки и оперяющими их нарушениями (рис. 2):

- Троицко-Левокизасская минерализованная зона Fe-карбонатизации, серицитизации, жильно-прожилкового окварцевания и вкрапленной пиритовой минерализации протягивается от г. Троицкой через водораздел Безымянка – Кизас, далее через бассейн левых притоков Левого Кизаса; протяжённость зоны около 8,5 км, мощность – от 300 м до 1 км (район г. Троицкой). Именно в её пределах локализована подавляющая часть рудопроявлений золота, в т. ч. наиболее значимые (рудопроявление г. Троицкой).

- Успенская минерализованная зона гнездово-прожилкового окварцевания протягивается, по данным предшественников, от верховьев р. Безымянка через верховья р. Успенский, далее в бассейн реки Малый Анзас; протяжённость зоны около 10 км, мощность – 300–700 м.

Рудные тела приурочены к зонам кливажа, дробления и милонитизации, представлены кварцевыми жилами, зонами неравномерного жильно-прожилкового и прожилкового окварцевания, которые нередко сопровождаются метасоматитами. В составе последних отмечается широкое развитие светлых слюд (му-

сковит–парагонит) и карбоната доломит-анкеритового ряда (Fe-карбоната), пирита. Кварцевые жилы и прожилки нередко содержат Fe-карбонат, убогую вкрапленную медно-сульфидную (халькопирит, борнит), пиритовую, гематитовую, редко арсенопирит-пиритовую минерализацию.

Для всего рудного поля характерно практически повсеместное присутствие обломков кварца в аллювии и делювии, размер обломков достигает 0,5–1 м. Кварцевые жилы имеют весьма разнообразную ориентировку и приурочены к основным направлениям разрывных нарушений: северо-восточному, субширотному, субмеридиональному и север-северо-западному. Согласно данным предшественников и собственным замерам авторов, можно выделить три главных направления простирания кварцевых жил и прожилков: север-северо-западное (с крутым падением на северо-восток и восток), восток-северо-восточное и субмеридиональное (с крутым падением на восток). Мощность кварцевых жил от 0,2 до 1 м, протяжённость до 30–40 м, мощность прожилков – от волосовидных до 1–5 см. Распределение жил и прожилков крайне неравномерное – от единичных до 20–30 шт. на пог. м.

Протяжённость рудных зон варьирует от 50–100 до 800–1400 м при мощности рудных сечений 1–13 м с содержаниями золота 0,5–36,1 г/т (до 58–150 г/т по частным пробам). Распределение золота в кварцевых жилах крайне неравномерное: участки с содержанием Au до 10–30 г/т сменяются участками с содержаниями на уровне 0,1 г/т. Отмечаются также мощные (до 80 м) минерализованные зоны с повышенными содержаниями золота на уровне 0,1 г/т, в которых содержания золота не имеют чёткой взаимосвязи ни с интенсивностью или наличием кварцевых прожилков, ни с наличием сульфидной минерализации.

Изучение кварца из жил показало отсутствие газовой-жидких включений, пригодных для термобарогеохимических исследований. Образцы кварца, в которых установлено высокое содержание Au, не имеют каких-либо особых текстурно-структурных характеристик.

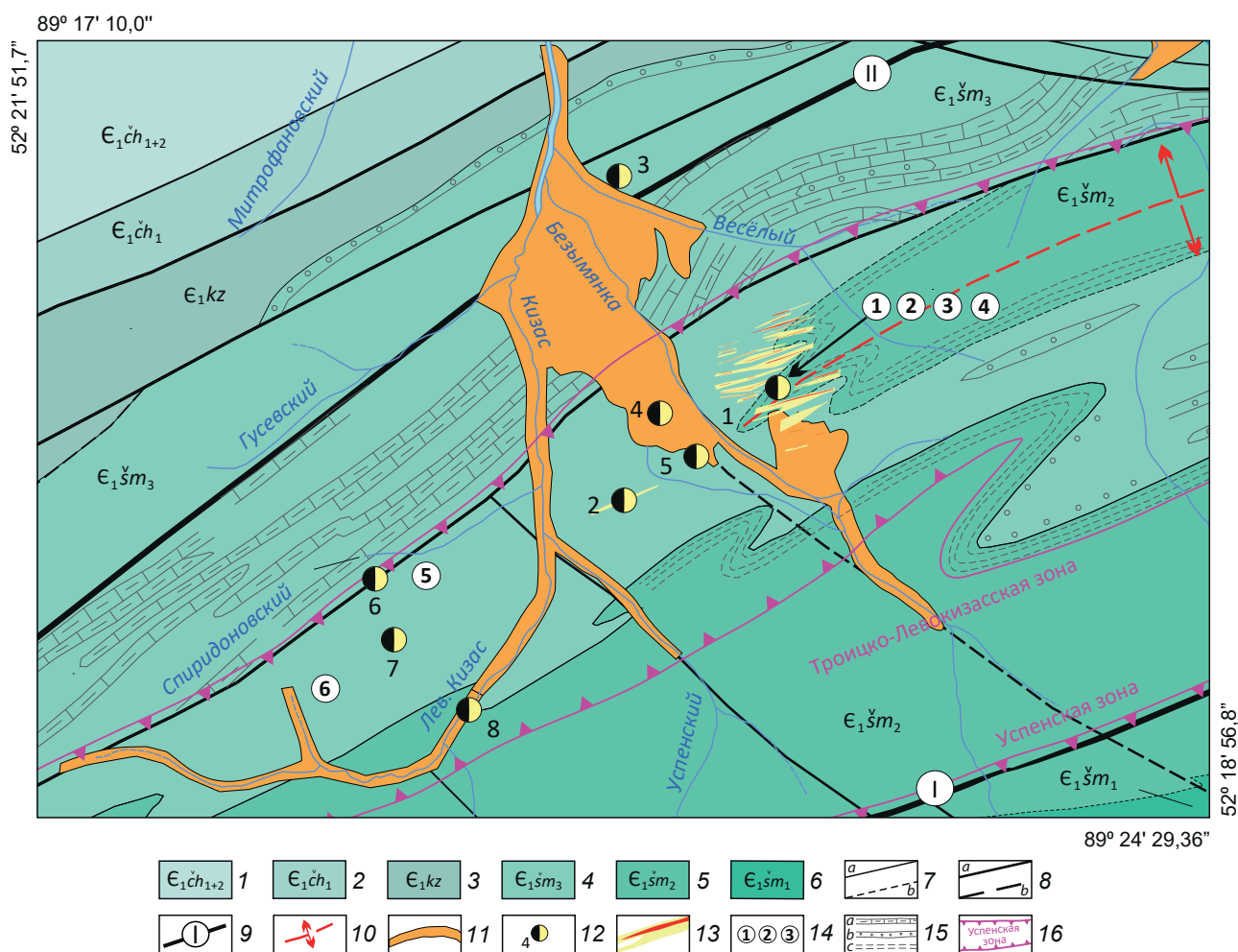


Рис. 2. Схематическая геологическая карта центральной части Кизасского рудного поля с элементами литологии и золотоносности (по материалам Н. Г. Дубинина, 1974ф; А. Д. Кириллова, 1977ф; Е. С. Единцева, 1996ф; Ю. М. Михалева, 1998ф; М. А. Прохоровой, 2022ф; А. В. Окулова, 2022ф; [8]; с дополнениями и уточнениями авторов):

1 – отложения чеханской свиты нерасчленённые (туфопесчаники, туфоконгломераты, туфы, песчаники, алевролиты); 2 – нижнечеханская подсвита (туфоконгломераты, туфы, туфопесчаники, туфобрекчии, туфы, песчаники, алевролиты); 3 – кайзасская свита (ритмичное переслаивание песчаников, алевролитов, сланцев, гравелитов, конгломератов существенно зеленоцветных, редкие прослои туффитов и туфов); 4 – верхнешаманская подсвита нерасчленённая (песчаники, алевролиты, сланцы, гравелиты, туфы, туффиты, глинистые известняки); 5 – среднешаманская подсвита (ритмичное переслаивание песчаников, алевролитов, сланцев, серых и зелёных тонов, реже конгломераты, гравелиты, известняки, порфириды, их туфы); 6 – нижнешаманская подсвита (сланцы кремнистые, глинисто-кремнистые, углесто-глинистые, песчаники, алевролиты, туфопесчаники, туфоконгломераты, гравелиты, линзы известняков, редко эффузивы основного состава); 7 – геологические границы: а – достоверные, б – предполагаемые; 8 – разрывные нарушения: а – достоверные, б – предполагаемые; 9 – региональные разрывные нарушения: I – Северо-Шаманский, II – Петропавловский; 10 – антиклинальные складки 3-го порядка; 11 – разведанные и отработанные россыпи золота; 12 – рудопроявления и пункты минерализации золота: 1 – Троицкое, 2 – Водораздельное, 3 – Весёльское, 4 – Безымянное, 5 – Надежда, 6 – Спиридоновское, 7 – Плоское, 8 – Карьерное; 13 – рудные зоны с содержанием золота > 0,1 г/т и рудные тела внутри рудных зон; 14 – пробы, изученные методом изотопного датирования: 1 – проба 309, 2 – К-206-255-1, 3 – К-206-255-2, 4 – К-205-689, 5 – К-20-04-1, 6 – К-20-70-1; 15 – литологические разности пород: а – известняки глинистые, мергели, б – конгломераты, с – сланцы углисто-глинистые; 16 – минерализованные зоны жильного и прожилкового окварцевания, серицитизации, анкеритизации, вкрапленности пирита

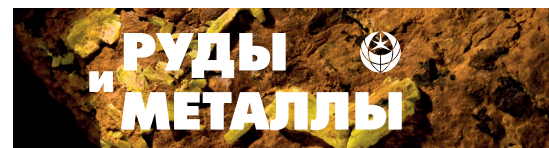


Fig. 2. Schematic geological map of the central part of the Kizas ore field with elements of lithology and gold-bearing potential (based on materials by N. G. Dubinin, 1974f; A. D. Kirillov, 1977f; E. S. Edintsev, 1996f; Yu. M. Mikhaleva, 1998f; M. A. Prokhorova, 2022f; A. V. Okulov, 2022f; [8]; with additions and clarifications of the authors):

1 – undifferentiated deposits of the Chekhan Formation (tuffaceous sandstones, tuffaceous conglomerates, tuffs, sandstones, siltstones); 2 – Lower Chekhan Subformation (tuffaceous conglomerates, tuffs, tuffaceous sandstones, tuffaceous breccias, tuffs, sandstones, siltstones); 3 – Kaizas Formation (rhythmic alternation of sandstones, siltstones, shales, gravelites, conglomerates of essentially green color, rare interlayers of tuffites and tuffs); 4 – undifferentiated Upper Shaman Subformation (sandstones, siltstones, shales, gravelites, tuffs, tuffites, argillaceous limestones); 5 – Middle Shaman Subformation (rhythmic alternation of sandstones, siltstones, shales, gray and green tones, less often conglomerates, gravelites, limestones, porphyrites, their tuffs); 6 – Lower Shaman Subformation (siliceous shales, clayey-siliceous shales, carbonaceous-clayey shales, sandstones, siltstones, tuffaceous sandstones, tuff conglomerates, gravelites, limestone lenses, rare mafic effusive rocks); 7 – geological boundaries: *a* – reliable, *b* – inferred; 8 – faults: *a* – reliable, *b* – inferred; 9 – regional faults: I – Severo-Shamansky, II – Petropavlovsky; 10 – anticline folds of the 3rd order; 11 – explored and exhausted gold placers; 12 – gold ore occurrences and points of mineralization: 1 – Troitskoye, 2 – Vodorazdelnoye, 3 – Veselskoye, 4 – Bezymyannoye, 5 – Nadezhda, 6 – Spiridonovskoye, 7 – Ploskoye, 8 – Karyernoye; 13 – ore zones with gold grades > 0.1 g/t and ore bodies within the ore zones; 14 – samples studied by isotope dating: 1 – Sample 309, 2 – K-206-255-1, 3 – K-206-255-2, 4 – K-205-689, 5 – K-20-04-1, 6 – K-20-70-1; 15 – lithological rock types: *a* – clayey limestones, marls, *b* – conglomerates, *c* – carbonaceous-clayey shales; 16 – mineralized zones of vein and veinlet silicification, sericitization, ankeritization, and pyrite dissemination

Золотоносным чаще всего оказывается кварц, содержащий Fe-карбонат, пирит, сульфиды меди, светлые слюды (мусковит, его тонкоchешуйчатая разновидность – серицит, агрегат серицит+парагонит).

Методика работ

Геохронологические $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ исследования методом ступенчатого прогрева проводились по методике, описанной в [5]. Минералы для изотопно-геохронологических $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ исследований выделялись с использованием стандартных методик магнитной и плотностной сепарации. Навески минеральных фракций совместно с навесками биотита МСА-11 (ОСО № 129-88), используемого в качестве монитора, заворачивались в алюминиевую фольгу, помещались в кварцевую ампулу и после откачки из неё воздуха запаивались. Биотит МСА-11, подготовленный ВИМС в 1988 г. как стандартный K/Ar образец, был аттестован в качестве $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ монитора с помощью международных стандартных образцов мусковита Bern-4M, биотита LP-6 [10].

В качестве интегрального возраста биотита МСА-11 принято среднее результатов кали-

бровки, составившее $311,0 \pm 1,5$ млн лет. Особенностью методики является облучение кварцевых ампул с пробами в охлаждаемом водой канале исследовательского реактора ФТИ ТПУ (г. Томск). При облучении в таких условиях температура ампул с образцами не превышает 100 °С. Градиент нейтронного потока не превышал 0,5 % в размере образца. Эксперименты по ступенчатому прогреву проводились в кварцевом реакторе с печью внешнего прогрева. Холостой опыт по ^{40}Ar (10 минут при 1200 °С) не превышал 5×10^{-10} нсм³. Очистка аргона производилась с помощью Ti- и ZrAl SAES-геттеров. Изотопный состав аргона измерялся на масс-спектрометре Noble Gas 5400 фирмы «Микромасс» (Англия) и на многоколлекторном масс-спектрометре Argus фирмы GV-Instruments (Англия). Ошибки измерений, приведённые в тексте и на рисунках, соответствуют интервалу $\pm 1\sigma$. Графические результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ геохронологических исследований представлены в виде графиков ниже.

Изучение образцов для определения взаимоотношений минералов, выделение монофракций слюд и др., минералогический анализ

тяжёлой фракции проб-протолочек были выполнены на стереомикроскопе Olympus SZ61. Изучение прозрачных шлифов и аншлифов было выполнено на поляризационном микроскопе Olympus BX51 при увеличениях 25×, 100×, 200×, 500×, 1000× (сухие объективы). Микроскоп оснащён фотокамерой Olympus DP-71 с высоким разрешением.

Количественные химические анализы проб и образцов выполнены в аккредитованных лабораториях ХАЦ «Плазма» (г. Томск) и АО «РАЦ» (г. Улан-Удэ). Содержания основных элементов определены методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) по методике МВИ № 001-ХМС-2007 с выщелачиванием 10 г навески в смеси кислот с использованием микроволнового разложения (ХАЦ «Плазма»). Содержания золота определялись пробирным анализом навески 50 г с последующим определением Au методом атомно-абсорбционной спектрометрии. В ряде случаев были использованы полученные ранее данные химико-спектрального анализа на золото (АО «РАЦ»).

Изучение химического состава золота было выполнено по полированным срезам золотин в монтированных полированных шлифах методом электронно-зондового микроанализа. Анализы выполнены в лаборатории ИГЕМ РАН на микроанализаторе JEOL JXA-8200 (аналитик Е. В. Ковальчук). Анализ осуществлялся при ускоряющем напряжении 20 кВ, токе на цилиндре Фарадея 20 нА. Время экспозиции на основные элементы составляло 10 секунд. Для обеспечения электропроводимости образцы напылялись тонким слоем углерода. Расчёт поправок осуществлялся по методу ZAF-коррекции с использованием программы фирмы JEOL.

Анализ флюидных включений кварца выполнен в ЦНИГРИ методом газовой хроматографии. Газы выделяли из кварца путём нагревания навески массой 1 г (фракция -0,5+0,25 мм) до 500 °С и анализировали хроматографом «Кристаллюкс 4000М». Спектры термолюминесценции записывали на приборе «Термолюм-1». Интенсивность термовысвечивания определяли с помощью фотоэлектрон-

ного умножителя в процессе равномерного нагревания навески кварца массой 0,1 г (фракция -0,5+0,25 мм) от 100 до 350 °С со скоростью 15 °С/мин. Определение фазовой принадлежности светлых слюд было выполнено рентгенофазовым методом на дифрактометре ДРОН-2.

Характеристика образцов и результаты работ

Для определения возраста золотого оруденения $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом нами был использован мусковит и агрегат серицит+парагонит кварцевых жил, как золотоносных, так и не золотоносных по данным аналитических исследований (табл. 1, рис. 3–6). Необходимо отметить, что серицит в Кизасском рудном поле встречается довольно часто (в составе кварцевых жил и прожилков, по трещинам пород в зонах кливажа), но в виде весьма незначительных скоплений, тонкочешуйчатых агрегатов и мелких отдельных листочков. Более массивные скопления встречаются гораздо реже, поэтому авторы не всегда имели возможность исследовать возраст наиболее интересных и золотоносных гидротермалитов, жил и прожилков различной направленности. Тем не менее собранная коллекция образцов, по мнению авторов, является достаточно репрезентативной как в отношении золотоносности кварца, так и в плане распределения образцов по площади. Ниже даётся подробная характеристика изученных образцов. Основное внимание при характеристике уделено золотоносному кварцу. Для уточнения последовательности минералообразования были выполнены изучение прозрачных и полированных шлифов, фотодокументация локальных участков образцов под бинокуляром. Данный вид исследований выполнялся не по всем пробам, а только по тем, где отмечался наиболее сложный минеральный состав и, соответственно, взаимоотношение серицита и мусковита с другими минералами менее очевидно.

Проба 309. Свал обломков кварца с видимым золотом был обнаружен М. П. Брысиным в ходе работ ЦНИГРИ 2017 г. в точке наблюдения 309 в привершинной части г. Троицкой.

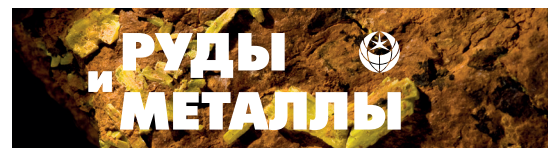


Табл. 1. Минералогический и пробирно-атомно-абсорбционный анализы проб-протолочек кварца, из которого были отобраны навески серицита для Ar-Ar изотопного датирования

Table 1. Mineralogical and fire-assay atomic absorption analyses of crushed quartz samples from which sericite weighed samples were selected for the Ar-Ar isotope dating

Номер пробы	Вес тяжёлой фракции, г	Минералы тяжёлой фракции, %													
		Магнетит	Гидроксиды Fe	Пирит окисл.	Халькопирит	Пирит неокисл.	Малахит	Эпидот, цоизит	Хлорит	Рутил	Кварц	Кальцит	Агрегаты, обломки	Золото, знаки	Золото, г/т
309-1	0,13	Зн.		67		Сл.		Сл.			17		Сл.	>100	56,9**
309-2	0,19	Зн.	3	65		15		Сл.			13		4	50	–
К-205-689-1	0,46			5	25		10				60		Сл.	25	3,24*
К-205-689-2	0,16			15	50		20				15			5	0,11*
К-206-255-1	1,29		25		5	5	Зн.				60		5	1	0,42**
К-206-255-2	0,15			Сл.	Зн.	Зн.	Зн.			40	60	Зн.			0,008*
К-20-04-1	0,02		Сл.	Зн.	Зн.	Зн.					100		Сл.		< 0,005*

Примечание: * – данные пробирно-атомно-абсорбционного анализа; ** – данные ИСП-МС анализа; Зн. – знаки; Сл. – следы.

Обломки кварца представляют собой фрагменты кварцевого прожилка мощностью около 4–5 см. Поверхности зальбандов ровные, мелкоямчатые до кавернозных (предположительно пустоты выщелачивания от Fe-карбоната). Иногда на контакте зальбандов сохраняются реликты вмещающих пород – сланцев, предположительно серицитизированных. Сланцеватость в одном из образцов ориентирована под углом около 30° к поверхности зальбанда, в другом – субсогласно поверхности контакта прожилка. Породы с обильными выделениями окисленного Fe-карбоната размером до 0,2 мм в количестве около 15 %.

Кварц сливной молочно-белый до бледно-серого, характерно наличие рыжих, буро-

ватых гидроксидов железа (по Fe-карбонату) в количестве 10–15 %, локализованных вдоль зальбандов или же в центральных частях в виде прожилковидных скоплений. Эти особенности могут указывать на формирование кварцевых прожилков в условиях заполнения открытых трещин. В гидроксидах железа иногда фиксируются тонкие и мелкие, до 1 мм, чешуйки светлой слюды, предположительно мусковита или парагонита. В кварце, иногда в сланцах отмечаются отдельные неправильные выделения и кристаллы кубического окисленного пирита размером 2–4 мм до 1 см.

В полированном аншлифе с видимым золотом хорошо видно, что тонкий кварц-серицит-парагонитовый агрегат обрастает пирит,

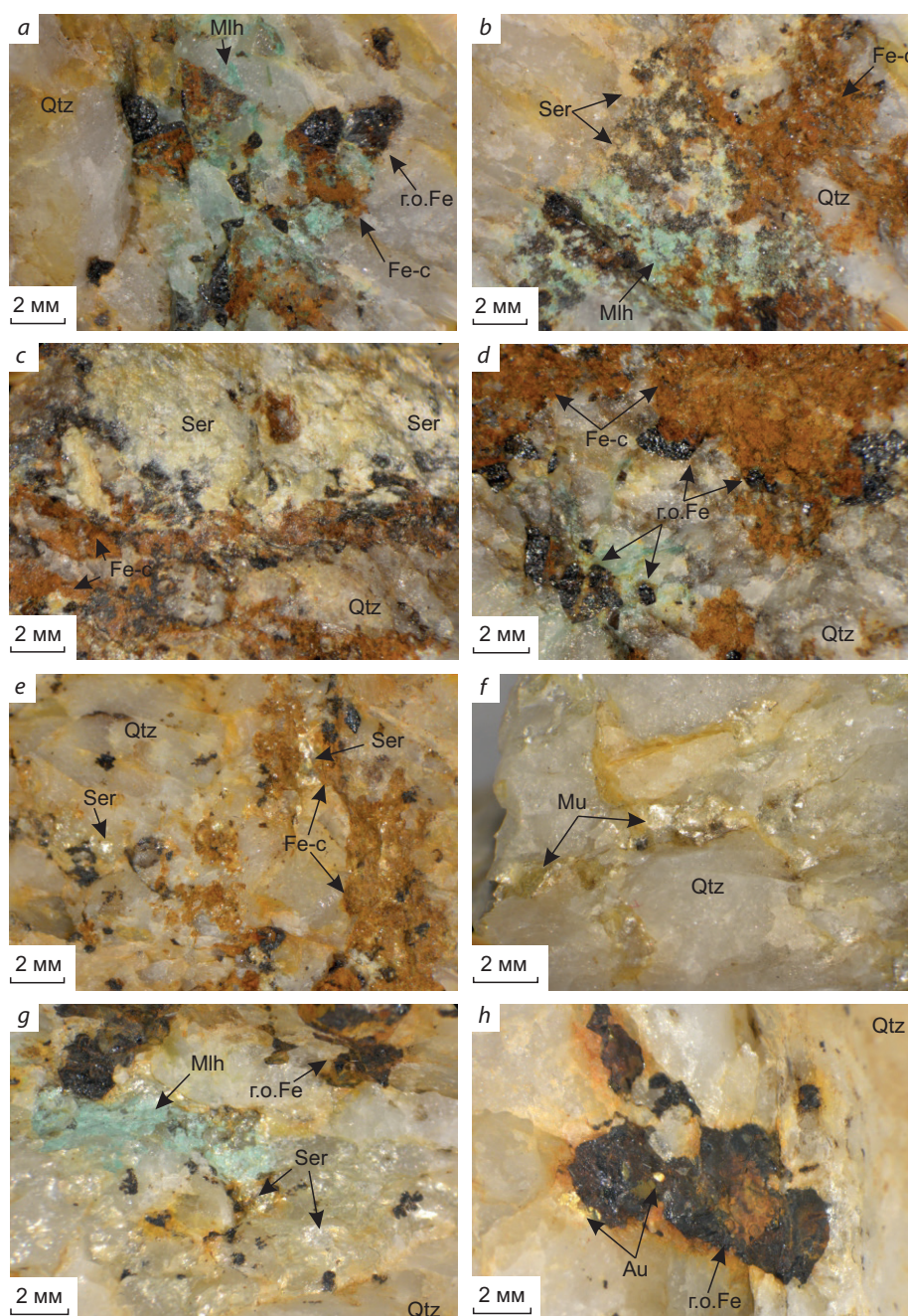


Рис. 3. Взаимоотношения серицита, мусковита, рудных минералов и кварца под бинокляром: проба K-206-255-1 (a–e), проба K-20-04-1 (f), проба K-205-689-1 (g, h):

Qtz – кварц; Ser – серицит; Mu – мусковит; r.o. Fe – гидроксиды железа по пириту; Au – золото; Mlh – гидрокарбонаты меди; Fe-c – порошковые гидроксиды Fe по Fe-карбонату

Fig. 3. Relationships between sericite, muscovite, ore minerals, and quartz under a binocular microscope: Sample K-206-255-1 (a–e), Sample K-20-04-1 (f), Sample K-205-689-1 (g, h):

Qtz – quartz; Ser – sericite; Mu – muscovite; r.o. Fe – iron hydroxides after pyrite; Au – gold; Mlh – copper hydroxocarbonates; Fe-c – powdery Fe hydroxides after Fe-carbonate

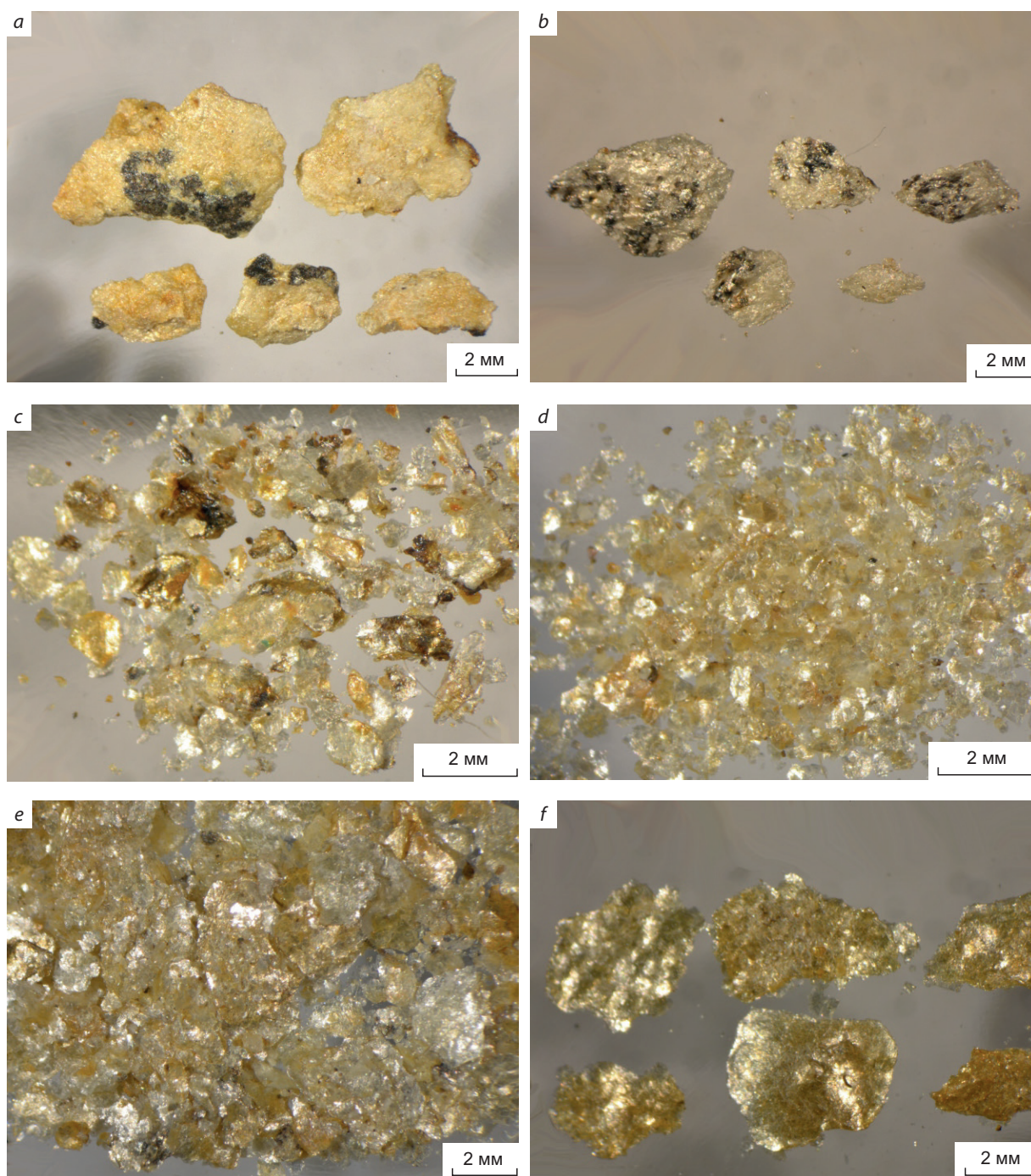


Рис. 4. Материал монофракций мусковита, серицита и агрегата серицит+парагонит для $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопного датирования: проба K-206-255-1 (a), проба K-206-255-2 (b), проба K-205-689 (c), проба K-20-70-1 (d), проба K-20-04-1 (e, f)

Fig. 4. Material of the muscovite and sericite monofractions and sericite+paragonite aggregate for the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope dating: Sample K-206-255-1 (a), Sample K-206-255-2 (b), Sample K-205-689 (c), Sample K-20-70-1 (d), Sample K-20-04-1 (e, f)

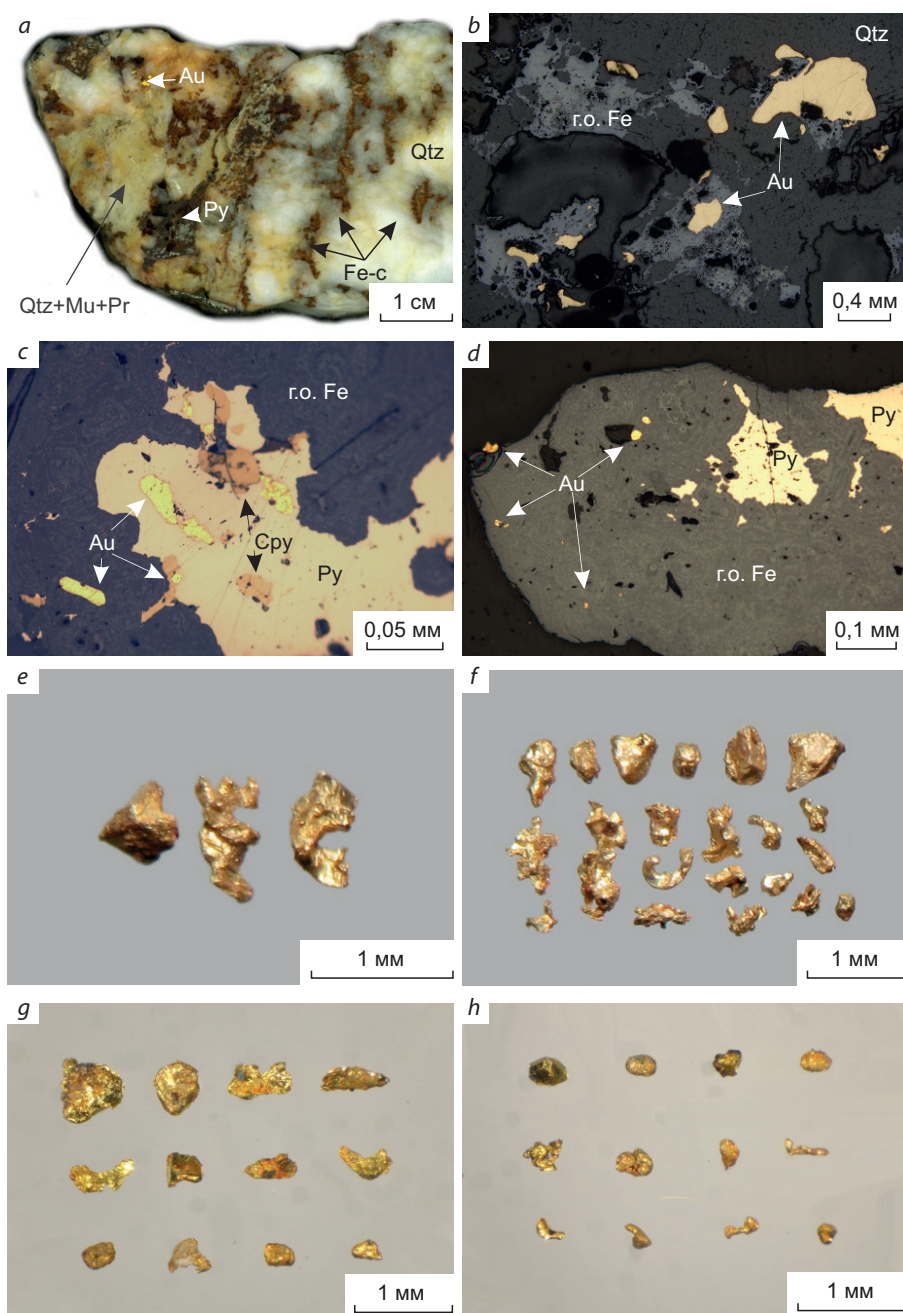


Рис. 5. Рудное золото из проб для $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопного датирования. *a–d* – самородное золото в аншлифах: проба 309 (*a, b*), проба 309-2 (*c, d*); *e–h* – самородное золото из проб-протоочек: проба 309-1 (*e*), проба 309-2 (*f*), проба K-205-689-1 (*g, h*):

Pr – парагонит; Py – пирит; Cpy – халькопирит; остальные усл. обозн. – см. рис. 3

Fig. 5. Ore gold from the samples for $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope dating. *a–d* — native gold in polished sections: Sample 309 (*a, b*), Sample 309-2 (*c, d*); *e–h* — native gold from crushed samples: Sample 309-1 (*e*), Sample 309-2 (*f*), Sample K205-689-1 (*g, h*):

Pr – paragonite; Py – pyrite; Cpy – chalcopyrite; for other legend symbols, see Fig. 3

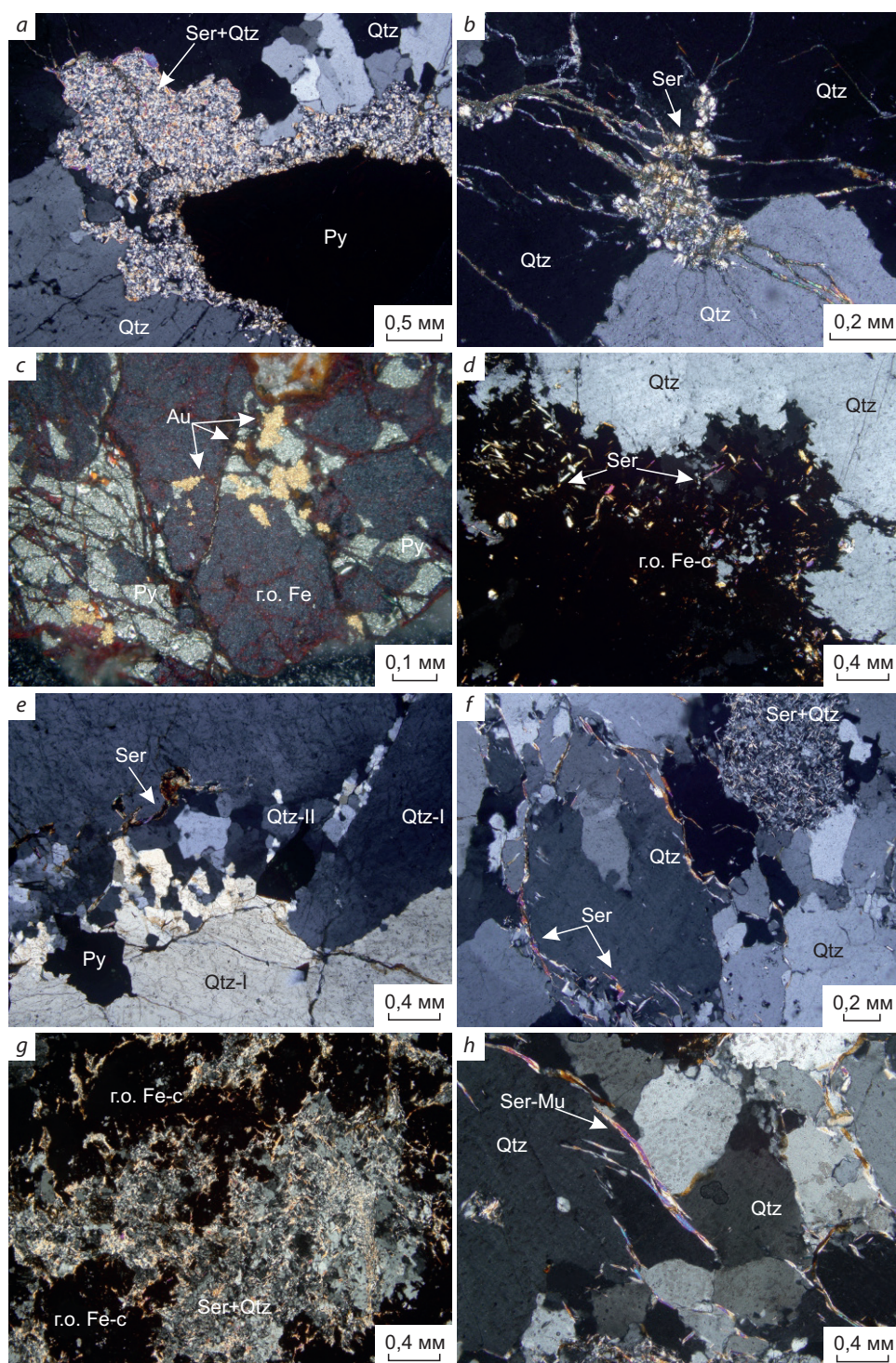


Рис. 6. Взаимоотношения серицита с другими минералами в прозрачных шлифах: проба К-205-689-1 (а–с), проба К-206-255-1 (d, e), проба К-206-255-2 (f–h); с – режим тёмного поля (DF)

Fig. 6. Relationships of sericite with other minerals in thin sections: Sample K-205-689-1 (a–c), Sample K-206-255-1 (d, e), Sample K-206-255-2 (f–h); c – dark field mode (DF)

но при этом содержит мелкие включения гидроксидов Fe, развитых по Fe-карбонату. То есть серицит формировался после пирита, вероятно чуть позднее Fe-карбоната или близодновременно с ним. Самородное золото тяготеет к кварц-серицит-парагонитовому агрегату, Fe-карбонату и пириту (рис. 5).

Минералогический состав пробы был исследован по двум частным минералогическим пробам (309-1, 309-2). Состав тяжёлой фракции проб весьма простой и представлен пиритом в окисленной и неокисленной форме, отмечаются следы эпидота или цоизита, отдельные знаки магнетита, самородное золото присутствует в количестве 50 и более 100 знаков (табл. 1). Для уточнения состава тяжёлой фракции был изготовлен и исследован монтированный полированный шлиф. По данным минераграфических исследований, пирит слагает неправильной формы выделения и угловатые зёрна размером до 1–5 мм, в различной степени замещённые гидроксидами железа (до полных псевдоморфоз). Характерно наличие в пирите выделений халькопирита неправильной формы размером до 0,05 мм. В виде включений в пирите наблюдается золото-I размером от 0,00n мм до 0,05 мм. Форма выделений – каплевидная, удлинённая, неправильная, в отдельном случае наблюдается субпрямоугольное в сечении выделение со скруглёнными углами – возможно, это удлинённый кристалл.

Более позднее самородное золото-II (рис. 5) ярко-жёлтого цвета, по размерам мелкое и очень мелкое, объёмное и среднеуплощённое, размером от 0,5 мм и менее. По форме выделения преобладают объёмные искажённые кристаллы, реже их сростки, при подчинённом развитии смешанных и прожилковидно-интерстициальных частиц. В классе <0,1 мм характерно увеличение количества тонких ксеноморфных золотинок, кристаллы имеют шарообразную форму с едва заметными гранями. Поверхность золотинок ровная и ямчато-ячеистая, в углублениях – ровная зеркальная, у кристаллов чаще ровная шероховатая со следами выщелачивания, редко с отпечатками в виде продольной штриховки трещин спай-

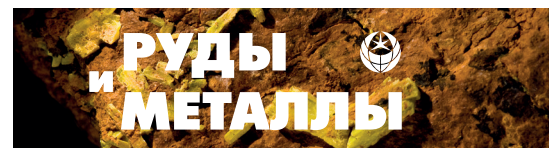
ности вмещающих минералов или слоистых пород. На гранях фрагментарно наблюдаются ступени роста, микробугорчатость, тонкая разноориентированная штриховка. Выступы частиц бывают как острые, так и закруглённые, у правильных форм притуплены рёбра и вершины кристаллов. В очень мелких прожилковидно-интерстициальных золотишках отмечаются включения зёрен кварца, а также заметны плёнки глинистых минералов и скопления кварц-Fe-гидроксидных агрегатов. Преобладание правильных форм указывает на условия свободного роста, которым вполне отвечает кристаллизация в условиях заполнения открытых трещин, о которой говорилось выше.

При изучении образцов кварца под биноклем помимо золота в пирите и кварце отмечены частицы самородного золота размером 0,1 мм и менее в рыжих гидроксидах железа по Fe-карбонату, развитому в зальбандах на контакте со сланцами.

По результатам изучения проб 309-1 и 309-2 методом электронно-зондового микроанализа для самородного золота установлены включения и сростания с пиритом, пирротин, галенитом, тетрадимитом. К сожалению, незначительный размер зёрен и влияние соседних фаз не позволяют выполнить расчёты формульных единиц.

По данным электронно-зондового микроанализа пробность золота-I 936,9–949 ‰, медианное значение 943,8 ‰. Кроме примеси серебра отмечаются спорадические примеси меди (максимально 0,19 ‰), примеси остальных элементов менее значительные. Пробность самородного золота-II составляет 925,6–968,4 ‰, медианное значение 945,6 ‰. Кроме примеси серебра отмечаются спорадические примеси теллура (максимально 0,11 ‰), висмута (максимально 0,15 ‰), меди (максимально 0,13 ‰); примеси остальных элементов образуют следовые концентрации. В целом по пробности золото-I и золото-II конвергентны.

Первым объектом изучения для определения возраста методом $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопного датирования в 2021 г. был описанный выше серицит-парагонитовый агрегат, по которому



получен возраст плато $359,5 \pm 5,5$ лет и интегральный возраст $350,8 \pm 5,3$ млн лет (рис. 7) – граница позднего девона и раннего карбона [8].

Проба К-205-689. Свал обломков кварца размером до 15 см (кварцевая жила) с видимым золотом был обнаружен полевой партией ЦНИГРИ в 2022 г. на участке г. Троицкой в отвалах зачистки канавы К-205 на пикете 689 м. Предположительно, обломки кварца можно соотнести с рудным интервалом 602–612 м в той же канаве, расположенным выше по склону.

Содержания золота здесь составляют до $17,22\text{--}22,83$ г/т по данным пробирно-атомно-абсорбционного анализа бороздовых проб (Прохорова М. А. и др., 2022ф). Минерализованная зона представляет собой чередование метатугогравелитов, метаалевролитов, сланцев с неравномерной вкрапленностью пирита и умеренным жильно-прожилковым окварцеванием. Максимальные содержания золота приурочены к зоне милонитизации с кварцевыми прожилками. Простираение прожилков – субмеридиональное, субширотное.

Кварц пробы молочно-белый, сливной, с отдельными мелкими обособлениями рыжих гидроксидов Fe размером до 5–7 мм (3–5 %) по Fe-карбонату. Отмечаются редкие каверны и пустоты выщелачивания. По трещинам кварца фиксируется тонкочешуйчатый агрегат светлой слюды (серицит-мусковит) размером до 1–2 мм (рис. 3, 4), а также в тесной пространственной связи с ним – выделения полуокисленных сульфидов (пирит, халькопирит) размером до 3 мм (1–3 %) с плёнками медной зелени. Макроскопически отмечено видимое золото до 0,25 мм – четыре-пять золотинок непосредственно в окисленном пирите и около него (рис. 3). Содержания золота в пробе по данным пробирно-атомно-абсорбционного анализа составили 3,24 г/т.

По результатам изучения шлифов было установлено, что основной объём кварцевой жилы (95 % и более) составляет мелко-, среднекристаллический кварц, в котором отмечаются выделения полуокисленного и окисленного пирита (рис. 6). Кварц формирует ксеноморфные зёрна размером от 0,1–0,4 мм до 1–3 мм

(кварц-I). Кроме того, отмечаются нитевидные прожилки кварца (кварц-II) мощностью 0,1 мм с серицитом. В пирите зафиксированы включения раннего золота-I. На долю серицита приходится не более 5 % объёма, он образует:

- тонкочешуйчатые скопления, обрастающие пирит;
- мелкие тонкие чешуйки в составе нитевидных прожилков позднего кварца-II;
- тонкие нитевидные прожилки мощностью 0,1 мм, секущие зёрна раннего крупного кварца, скопления тонких и более крупных чешуек в пространстве между зёрнами кварца.

Очевидно, что серицит формируется в самом конце стадии гидротермального минералообразования, позднее раннего кварца и пирита, но близодновременно с поздним кварцем-II. Предположительно, именно в позднюю стадию формируется свободное золото-II, о котором пойдёт речь ниже. По серициту, слагающему относительно крупные скопления по трещинам в кварце, был получен возраст плато $373,5 \pm 4,0$ млн лет – поздний девон (рис. 7).

Минералогический состав пробы изучен по двум частным минералогическим пробам (689-1, 689-2). Состав тяжёлой фракции проб весьма простой и представлен пиритом в окисленной форме, халькопиритом, медной зеленью по халькопириту (табл. 1). Самородное золото присутствует в количестве 25 и 5 знаков соответственно (рис. 5). Частицы золота размером от 0,05 до 1 мм; отмечаются правильные формы с гладкой поверхностью, гемиидиоморфные частицы, но преобладают выделения золота неправильной формы. По данным электронно-зондового микроанализа пробность самородного золота-II $847,3\text{--}879,4$ ‰, медианное значение 871,6 ‰. Кроме примеси серебра отмечаются спорадические примеси меди (максимально 0,14 %), теллура (максимально 0,09 %); примеси остальных элементов незначительные.

В канаве К-206 на участке Троицкий в интервале 253–257 м была задокументирована кварцевая жила субмеридиональной ориентировки, в данном интервале содержания золота составили от 0,24 г/т до 1,18 г/т по данным

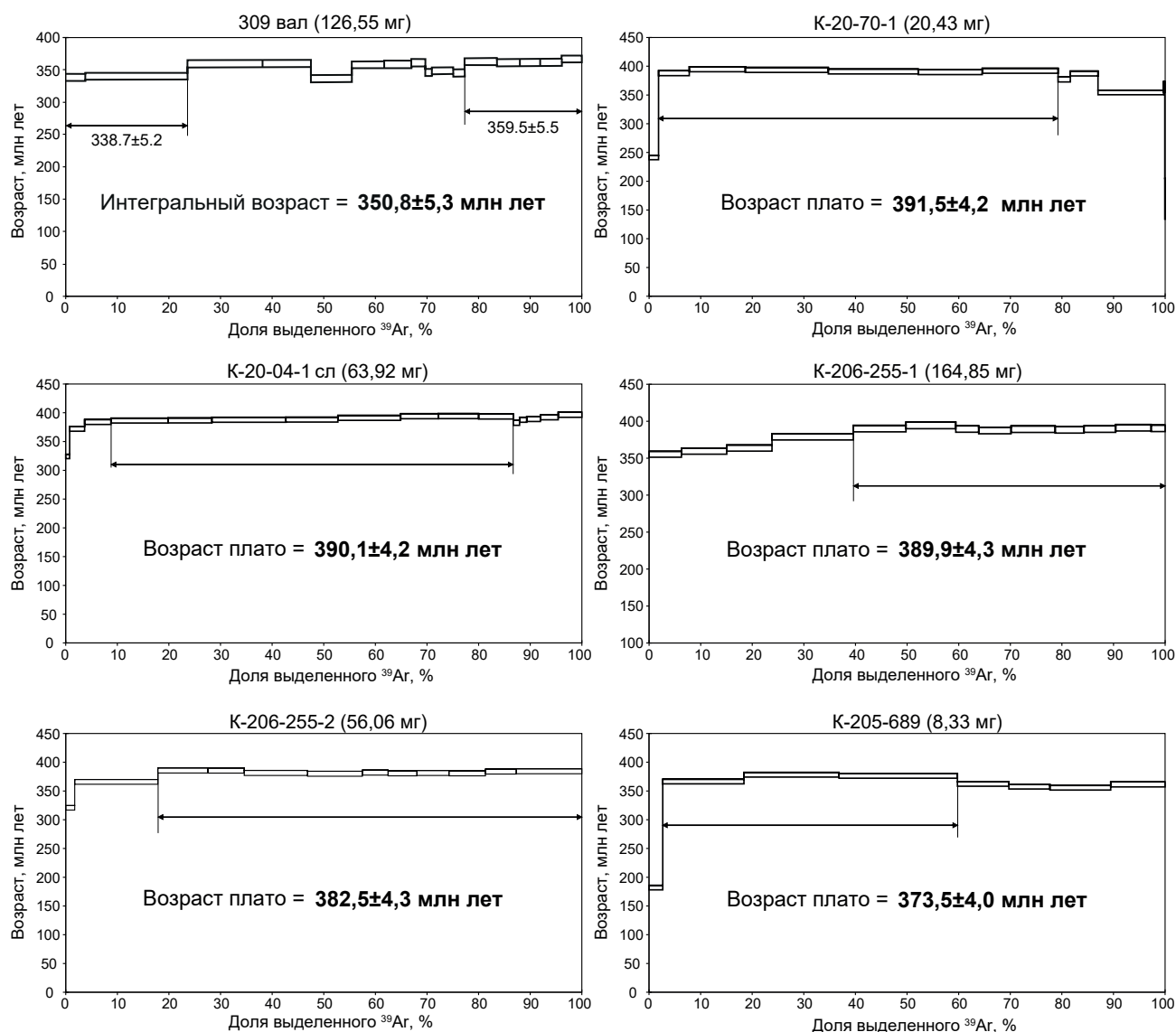


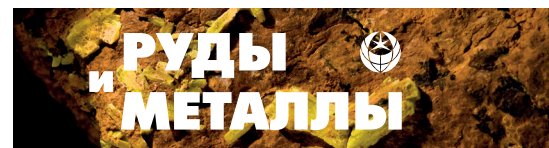
Рис. 7. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопного датирования по мусковиту, серициту-парагониту из проб-протолочек кварца Кизасской площади

Fig. 7. Results of the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope dating of muscovite and sericite-paragonite from crushed quartz samples from the Kizas area

пробирно-атомно-абсорбционного анализа АО «Сибирское ПГО». В ходе изучения канавы специалистами ЦНИГРИ в указанном интервале было установлено два типа кварца.

Проба K-206-255-1. Кварц визуально сливной молочный до бледно-серого, трещиноватый, рудного облика, с обильными гидроксидами Fe (по Fe-карбонату), рыжими, порошковатыми, развитыми по трещинам. В тесной простран-

ственной ассоциации с ними развиты тонко-чешуйчатые агрегаты светлой слюды (серицита) бледно-желтоватой окраски (рис. 3, 4). В ассоциации со слюдой и гидроксидами Fe многочисленные включения полуокисленных сульфидов (халькопирит, пирит). По сульфидам развивается медная зелень (рис. 3). Содержания золота в пробе по данным ИСП-МС анализа составили 0,42 г/т.



В прозрачных шлифах установлено, что основной объём жилы сложен мелко-, среднекристаллическими зёрнами кварца неправильной формы размером до 1–3 мм (рис. 6). Более мелкозернистый кварц (кварц-II?) формирует прожилковидные скопления зёрен размером 0,1–0,4 мм в интерстициях между более крупными зёрнами. С этим же кварцем ассоциирует окисленный пирит (?) и тонкочешуйчатый серицит. Кроме того, отмечаются тонкие прожилки, до 0,1 мм, волосовидные, линейные до извилистых – вероятно, это самый поздний кварц (кварц-III?). Тонкочешуйчатый серицит отмечается также в агрегатах гидроксидов Fe (развитых, вероятно, по Fe-карбонату) с редким кварцем. Это может говорить о близковременных условиях формирования Fe-карбоната и серицита. В целом на долю кварца приходится не менее 95 % объёма породы, на долю серицита – до 5 %.

Минералогический состав тяжёлой фракции также весьма простой: преобладают гидроксиды Fe (вероятно, по пириту и Fe-карбонату), отмечен пирит и халькопирит, единичные знаки медной зелени (по халькопириту), золото – единичный знак (табл. 1).

По серициту, слагающему тонкочешуйчатые агрегаты, был получен возраст плато $389,9 \pm 4,3$ млн лет – средний девон (рис. 7).

Проба К-206-255-2. Кварц макроскопически отчётливого средне-крупнозернистого строения, участками до сливного. Окраска бледно-серая до серой. В кварце обильные обосабливания рыжих, порошковатых гидроксидов Fe, по трещинам тонкочешуйчатые агрегаты бледно-серой слюды (серицит, парагонит) (рис. 4). Предполагается, что серицит и Fe-карбонат формировались близодновременно. Содержания золота в пробе по данным ИСП-МС анализа составили 0,011 г/т.

В шлифах под микроскопом основной объём жилы (около 90 %) сложен зернистым, реже полигональным кварцем размером от 0,2 до 1 мм, отмечаются единичные кристаллы плагиоклаза с двойниками по альбитовому закону. На долю серицита приходится до 5–10 % объёма породы, гидроксиды Fe по Fe-карбонату слагают до 5 % объёма породы. Серицит обра-

зует удлинённые относительно крупные лейсты до 0,5–0,7 мм, приуроченные к интерстициям крупных зёрен кварца (рис. 6). Кроме того, серицит образует мелкие, до 0,1 мм, чешуйки в составе кварц-серицитовых и гидроксид Fe-кварц-серицитовых мелкозернистых агрегатов. Гидроксиды Fe, вероятно, замещают Fe-карбонат. Всё это указывает на близодновременное формирование ассоциаций Fe-карбоната, серицита и мелкозернистого кварца после основной массы раннего более крупнозернистого кварца.

В составе тяжёлой фракции минералогическим анализом установлены единичные знаки пирита, халькопирита и медной зелени, из тяжёлых минералов резко преобладает рутил, который, надо заметить, не отмечался в пробе К-206-255-1 (табл. 1).

По серициту, слагающему тонкочешуйчатые агрегаты, был получен возраст плато $382,5 \pm 4,3$ млн лет – средний–верхний девон (рис. 7).

Проба К-20-04-1. Верховья руч. Спиридоновского, район канавы Т-24, делювий. Кварц пробы обладает довольно простым составом и характеристиками. Это молочно-белый кварц, непрозрачный, сливной, умеренно трещиноватый. По трещинам развита плёночная лимонитизация, а также обильные выделения и крупночешуйчатые агрегаты светло-жёлтого мусковита (рис. 4). Следует отметить, что в верховьях руч. Спиридоновского свалы незолотоносного сливного молочно-белого кварца отмечаются в заметном количестве. Аллювиальные отложения ручья золотоносны лишь в самом нижнем течении и характеризуются невысокими содержаниями.

Минералогический состав пробы также очень простой и в целом сходен с пробой К-206-255-2, но характеризуется полным отсутствием рутила (табл. 1). По данным пробирно-атомно-абсорбционного анализа содержания золота составили $<0,005$ г/т. Возраст мусковита по плато составил $390,1 \pm 4,2$ млн лет – средний девон (рис. 7).

Проба К-20-70-1. Верховья реки Левый Кизас, водораздел рр. Кварцевый – Лев. Кизас, делювий. Как и в предыдущей пробе, кварц

обладает довольно простым составом и характеристиками: сливной, молочный, непрозрачный, по трещинкам развиты лимонит и мелкочешуйчатый серицит-мусковит (рис. 4). Пустоты выщелачивания частично выполнены рыжими землистыми агрегатами с гидроксидами Fe.

В связи с незначительными размерами обломков кварца по данной пробе не было возможности выполнить минералогический, пробирно-атомно-абсорбционный или ИСП-МС анализ. Возраст мусковита по плато составил $391,5 \pm 4,2$ млн лет – средний девон (рис. 7).

Результаты термолюминесцентных и газохроматографических исследований кварца

Химический состав проб изучался методом ИСП-МС из навески 10 г на основные элементы-спутники золота (табл. 2). Целесообразно рассматривать его в сравнении с составом неизменённых вмещающих пород, который был изучен в ходе ранее выполненных работ. В целом для рудных проб относительно неизменённых пород характерны повышенные содержания Cu, Mo, Ag, Te, Bi, As. Необходимо отметить, что повышенные значения Cu, Te, Bi нередко наблюдаются и в самородном золоте. Результаты термолюминесценции и газовой хроматографии кварца с учётом ранее полученных данных по Кизасской площади не позволяют говорить о каких-либо специфических характеристиках рудного и нерудного кварца. В целом по своим параметрам кварц соотносится с так называемым «метаморфогенным» кварцем (табл. 3).

Обсуждение результатов

Пробы для определения возраста представлены кварцевыми жилами, характеризующими как золотоносный, так и незолотоносный кварц Кизасского рудного поля. В дополнение к ранее изученной в 2017 г. пробе золотоносного кварца 309 с участка г. Троицкой Кизасской площади [8] нами было исследовано ещё пять проб кварца. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования показаны в таблице ниже; к сожалению, использование метода ограничи-

валось в целом незначительными объёмами серицита-мусковита на изучаемой площади (при его заметном в целом распространении). По этой причине не удалось, в частности, датировать жилы разной ориентировки.

Состав исследованных фаз – мусковит, мусковит с парагонитом; принадлежность слюд определялась методом рентгенофазового анализа. Мусковит представлен как крупночешуйчатыми выделениями, так и тонкочешуйчатыми агрегатами (серицитом), в ассоциации с парагонитом он также представлен тонкочешуйчатой разновидностью.

По результатам изучения шлифов можно отметить, что процесс кристаллизации гидротерм в кварцевых жилах тоже является как минимум двухстадийным, с отложением основной массы кварца и пирита в начале, тонких прожилков кварца с серицитом, серицит-Fe-карбонат-кварцевых агрегатов на завершающей стадии. В целом серицит более поздний по отношению к пириту и, соответственно, золоту-I в пирите. Предположительно, отложение самородного свободного золота-II связано как раз с более поздней ассоциацией минералов серицита-Fe-карбоната-кварца.

Минеральный состав золотоносного кварца весьма простой: рудные минералы представлены пиритом и халькопиритом, в единичном случае в сростаниях с рудным золотом установлены мелкие выделения пирротина, галенита, тетрадимита (проба 309-1). В двух пробах (К-205-689, 309) золото зафиксировано как в самородном виде (позднее золото-II), так и виде мелких и тонких выделений в пирите (раннее золото-I), то есть очевидно как минимум двухстадийное отложение золота в самих жилах. В пробе 309 пробность золота-I в среднем составляет 943,8 ‰, у самородного золота-II – 945,6 ‰, в качестве примесей установлены серебро, медь, висмут и теллур. Пробность самородного золота-II в пробе К-205-689-1 составляет 871,6 ‰, отмечаются примеси серебра, меди и теллура. Учитывая территориальную близость расположения этих проб, различия в пробности золота и возрасте серицита этих проб, можно предположить их принадлежность к раз-

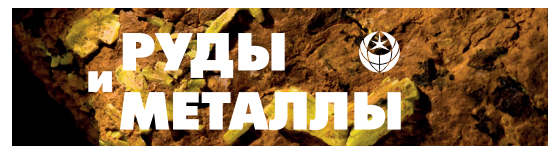


Табл. 2. Результаты ИСП-МС анализа проб кварца с серицитом

Table 2. Results of the ICP-MS analysis of quartz samples with sericite

№	Элемент	Вмещающие неизменённые породы*	№ пробы				
			К-206-255-1	К-206-255-2	К-205-689-1	309	К-20-04-1
1	Be	0,60	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
2	P	665	<100	<100	<100	<100	<100
3	V	241	12,5	36,5	6,44	36,7	3,01
4	Cr	16	115,2	148	234	30,6	184
5	Mn	732	188	455	106	534	93,7
6	Fe	36 384	14 636	15 347	12 099	23 253	12 002
7	Co	13	2,73	5,93	2,42	3,81	1,48
8	Ni	10	15,6	15,7	23,6	4,28	17,7
9	Cu	29	1 008	206	832	130	12,8
10	Zn	69	14,8	15,2	17,1	18,6	2,01
11	As	7	6 167	3,60	2,06	7052	1,16
12	Se	0,45	3,44	<0,1	<0,1	4,05	<0,1
13	Nb	0,38	0,13	0,24	0,40	0,11	0,28
14	Mo	0,21	6,88	14,7	25,1	0,64	14,1
15	Ag	0,05	2,25	0,21	1,64	3,05	0,0103
16	Cd	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
17	Sn	0,68	1,02	0,16	0,35	0,19	0,28
18	Sb	1,43	24,6	1,41	3,05	21,0	0,14
19	Te	0,08	2,67	0,11	2,25	0,58	<0,01
20	Hf	0,88	<0,1	0,14	<0,1	0,16	<0,1
21	W	0,24	1,01	0,50	0,67	0,51	0,55
22	Au	0,001	0,42	0,011	1,50	56,9	0,012
23	Pb	5,71	2,09	1,56	1,95	5,29	0,19
24	Bi	0,05	2,27	0,101	2,30	<0,1	<0,1

Примечание. * – медианные значения приведены для неизменённых пород шаманской свиты (алевролитов, сланцев и песчаников) методом ИСП-МС из навески 10 г. Полужирным выделены элементы, содержания которых в пробах существенно выше по сравнению с неизменёнными породами.

ным хронологическим этапам формирования (поздний девон и ранний карбон). Примечательно, однако, что в обоих пробах, относящихся к разным этапам, золото отлагалось в две стадии: раннее – в пирите, позднее – в свободной форме. Необходимо отметить, что для объекта в целом доля золота в сульфидах весьма незначительная. Так, по данным фазового анализа технологических проб, отобранных АО «Сибирское ПГО», доля золота в сульфидах не превышает 2 %. Поэтому ран-

нее золото-I не вносит большого вклада в золотосодержание руд.

В целом для золотосодержащего кварца по сравнению с относительно неизменёнными вмещающими породами характерны повышенные содержания Cu, Mo, Ag, Te, Bi, As. Необходимо отметить, что повышенные значения Cu, Te, Bi нередко наблюдаются и в самородном золоте. Результаты термолюминесценции и газовой хроматографии кварца с учётом ранее полученных данных по Кизасской площади

Табл. 3. Результаты термолюминесценции и газовой хроматографии проб кварца

Table 3. Results of the thermoluminescence and gas chromatography of quartz samples

№ пробы	$T_1, ^\circ\text{C}$	$I_1, \text{y. e.}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$I_2, \text{y. e.}$	Содержание газов, cm^3/kg		
					H_2O	CO_2	CH_4
309-1	-	0,8	285	8	1880	1,1	1,6
309-2	-	0,7	285	6	3220	1,2	4,0
K-205-689-1	249	10	302	7	520	28,5	0,9
K-205-689-2	249	15	301	7	800	33,1	0,6
K-206-255-1	250	14	-	-	576	10,9	0,1
K-206-255-2	249	15	303	10	230	8,6	0,2
K-20-04-1	-	-	310	14	270	5,2	0,8
K-20-70-1	250	14	-	-	1530	39,7	1,0

не позволяют говорить о каких-либо специфических характеристиках рудного и нерудного кварца.

Выводы

Как уже отмечалось выше, Кизасское рудное поле и Шаманский рудный узел имеют в целом амагматичное строение. За пределами рудного узла магматизм проявлен в ареале распространения пород верхне- и нижнемонской свиты, в юго-восточном направлении от рудного узла, в сторону Джебашской зоны смятия (около 6 км от кромки Кизасского рудного поля). Здесь в значительном количестве фиксируются силлообразные тела метабазо-диабазов субвулканического комплекса раннего кембрия, плагиигранит-порфиры майнского комплекса раннего кембрия, дайки альбитит-порфиры и габброидов лысогогорского комплекса позднего силура.

Проведённое методом $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование доказывает средне-позднедевонский–раннекарбоновый возраст формирования кварцевых жил Кизасского рудного поля, в т. ч. золото-сульфидно-кварцевых жил. С учётом ранее полученных датировок верхняя граница формирования золотоносных кварцевых жил определяется низами нижнего карбона. Таким образом, можно полагать, что формирование обильной кварцево-жильной и прожилковой минерализации происходило в период со среднего девона по ранний карбон, то есть свя-

зано с девонским этапом тектоно-магматической активизации региона и не связано, как это предполагалось ранее, с известными в обрамлении рудного узла интрузивными комплексами. Поскольку в рудном узле и его обрамлении отсутствуют интрузивные комплексы этого возраста, источник кремнезёма имеет, возможно, глубинный характер. Пока сложно говорить, являлся ли он также источником рудного вещества.

Намечается определённая связь между возрастом кварцевых жил и степенью их золотоносности: чем моложе жилы, тем они более золотоносные; самые древние жилы характеризуются более низкими содержаниями золота. Однако это предположение требует дополнительной проверки.

Полученные данные существенно дополняют имеющиеся сведения о последовательности формирования золотого оруденения Кизасского рудного поля, подтверждают его полихронное формирование и указывают на важность среднедевонско-раннекарбонового возрастного этапа для формирования золоторудного потенциала Шаманского рудного узла [1, 3, 4, 6, 8]. Жилы север-северо-западного направления, часто с высоким содержанием золота до первых десятков г/т, даже при небольшой мощности и длине по простиранию и падению могут вносить существенный вклад в ресурсную базу. Значимость этих жил подчёркивается аномальной россыпной золотоносностью

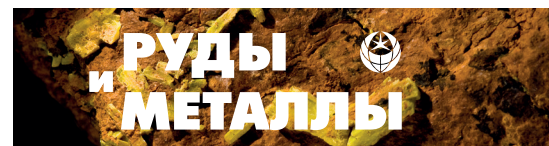


Табл. 4. Обзорная характеристика проб кварца Кизасской площади на $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ изотопное датирование по серициту

Table 4. Overview of quartz samples from the Kizas area for the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope dating on sericite

№ пробы	РФА слюды	Возраст, млн лет	Характеристика точки, интервал отбора	Содержание Au, г/т	Знаки Au, минералогический анализ
309	Мусковит, парагонит	интегр. $350,8 \pm 5,3$; плато $359,5 \pm 5,5$ (C_1)	Участок Троицкий, вершина г. Троицкой, шурф Ш1-068. 2017 г.	56,9***	>100
К-205-689	Мусковит	плато $373,5 \pm 4,0$ (D_3)	Участок Троицкий, канава К-206, пикет 689. Отвалы зачистки канавы (элювиально-делювиальные отложения). 2022 г.	3,24**	25
К-206-255-1	Мусковит	плато $389,9 \pm 4,3$ (D_2)	Участок Троицкий, канава К-206, пикет 255,5. Коренные. 2022 г.	0,42***	1
К-206-255-2	Мусковит, парагонит	плато $382,5 \pm 4,3$ (D_{2-3})	Участок Троицкий, канава К-206, пикет 255,5. Коренные. 2022 г.	0,008* 0,011***	н/о
К-20-04-1	Мусковит	плато $390,1 \pm 4,2$ (D_2)	Пересечение грунтовой дороги с канавой Т-24. Левый борт лога руч. Спиридоновского. Отвалы зачистки траншеи. 2020 г.	<0,005*	н/о
К-20-70-1	Мусковит	плато $391,5 \pm 4,2$ (D_2)	Верховья реки Левый Кизас, склон левого борта крайнего левого ответвления Левого Кизаса. Делювий. 2020 г.	–	–

Примечание: * – химико-спектральный анализ; ** – пробирно-атомно-абсорбционный; *** – ИСП-МС анализ из навески 10 г; н/о – не обнаружено; «–» – проба не анализировалась из-за незначительных размеров.

в долинах рек, ориентированных в таком же север-северо-западном направлении.

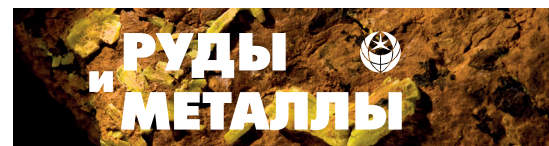
Выполненные исследования способствуют пониманию генетических аспектов формирования золотого оруденения Шаманского рудного узла, их результаты могут быть использованы для целей прогноза и поисков на аналогичных и сходных территориях Алтае-Саянского региона, где рудная золотоносность не имеет очевидной связи с интрузивными

очагами. Полученные данные существенно меняют представления о металлогении и хронологии оруденения не только Кизасско-Анзасского рудного района, но Алтае-Саянского региона в целом.

Авторы глубоко признательны за помощь в работе над публикацией и ценные рекомендации Е. А. Наумову, С. Г. Кряжеву, Н. Н. Поздняковой, Л. В. Шатиловой, Т. П. Zubовой, М. П. Брысину, И. В. Арсентьевой, Д. А. Сорокину.

Список литературы

1. Арсентьева И. В., Брысин М. П., Черных А. И., Гвоздева И. А. Перспективы золотоносности Анзас-Кизасской площади (Республика Хакасия) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов : VIII Международная научно-практическая конференция ... : сборник тезисов докладов. – М. : ЦНИГРИ, 2018. – С. 40–41.
2. Коньшев В. О., Горелов А. Г. Информационно-методические аспекты прогноза крупнообъемных месторождений с бонанцами золота в золотороссыпных районах Алтае-Саянской провинции // Геоинформатика. – 2016. – № 3. – С. 17–28.
3. Окулов А. В., Черных А. И., Сорокин Д. А., Позднякова Н. Н., Кряжев С. Г., Прохорова М. А. Минералого-геохимическая характеристика золотого оруденения Кизасского рудного поля (Республика Хакасия) // XXIX Всероссийская научная конференция «Уральская минералогическая школа – 2023». Сборник статей ... – Екатеринбург : Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого УрО РАН, 2023. – С. 142–144.
4. Окулов А. В., Черных А. И. Возраст формирования руд и кварцевых жил Кизасского рудного поля (Шаманский рудный узел, Западный Саян) по данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопного датирования // Сборник тезисов докладов XIV Международной научно-практической конференции «Геология, прогноз, поиски и оценка месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2025. – С. 317–320.
5. Травин А. В., Юдин Д. С., Владимиров А. Г., Хромых С. В., Волкова Н. И., Мехоношин А. С., Колотилина Т. Б. Термохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье) // Геохимия. – 2009. – № 11. – С. 1181–1199.
6. Черных А. И., Окулов А. В., Арсентьева И. В., Кряжев С. Г., Позднякова Н. Н. Золотоносность Шаманского рудного узла Кизас-Анзасского рудного района (Республика Хакасия) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов : XI Международная научно-практическая конференция ... : сборник тезисов докладов. – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 243–246.
7. Черных А. И., Окулов А. В., Арсентьева И. В., Лейбгам П. Н. Золотосодержащее колчеданно-полиметаллическое оруденение Кизас-Анзасского рудного района (Республика Хакасия) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов : X Международная научно-практическая конференция ... : сборник тезисов докладов. – М. : ЦНИГРИ, 2021. – С. 238–240.
8. Черных А. И., Окулов А. В., Кряжев С. Г., Арсентьева И. В. Геологическое строение и золотоносность Шаманского рудного узла Алтае-Саянской складчатой области (Республика Хакасия) // Руды и металлы. – 2022. – № 4. – С. 54–77. – doi: 10.47765/0869-5997-2022-10022.
9. Ячевский Л. Геологические наблюдения в районе золотых промыслов по р. Большому Кызасу // Геологические исследования в золотоносных областях Сибири. Енисейский золотоносный район. Вып. 8. – СПб., 1909. – С. 1–27.
10. Baksi A. K., Archibald D. A., Farrar E. Intercalibration of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating standards // Chemical Geology. – 1996. – V. 129. – P. 307–324. – doi: 10.1016/0009-2541(95)00154-9.



References

1. Arsent'eva I. V., Brysin M. P., Chernykh A. I., Gvozdeva I. A. Perspektivy zolotonosnosti Anzas-Kizasskoi ploschadi (Respublika Khakasiya) [Gold potential prospects of the Anzas-Kizas area (Republic of Khakassia)]. In: Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov, otsenki mestorozhdenii almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov : VIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya : sbornik tezisov dokladov [Scientific and methodological foundations for forecasting, prospecting, and evaluating deposits of diamonds, precious and non-ferrous metals: VIII International scientific and practical conference, collection of abstracts], Moscow, TSNIGRI, 2018, pp. 40–41.
2. Konyshov V. O., Gorelov A. G. Informatsionno-metodicheskie aspekty prognoza krupnoob'emnykh mestorozhdenii s bonantsami zolota v zolotorosypnykh raionakh Altae-Sayanskoi provintsii [Information and methodological aspects of forecasting large-volume deposits with gold bonanzas in gold placer regions of the Altai-Sayan province], *Geoinformatika* [Geoinformatics], 2016, No 3, pp. 17–28. (In Russ.)
3. Okulov A. V., Chernykh A. I., Sorokin D. A., Pozdnyakova N. N., Kryazhev S. G., Prokhorova M. A. Mineralogo-geokhimicheskaya kharakteristika zolotogo orudneniya Kizasskogo rudnogo polya (Respublika Khakasiya) [Mineralogical and geochemical characteristics of gold mineralization of the Kizas ore field (Republic of Khakassia)]. In: XXIX Vserossiiskaya nauchnaya konferentsiya «Ural'skaya mineralogicheskaya shkola – 2023». Sbornik statei [XXIX All-Russian Scientific Conference “Ural Mineralogical School 2023”. Collection of articles], Ekaterinburg, The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of UB of RAS, 2023, pp. 142–144.
4. Okulov A. V., Chernykh A. I. Vozrast formirovaniya rud i kvartsevykh zhil Kizasskogo rudnogo polya (Shamanskii rudnyi uzel, Zapadnyi Sayan) po dannym $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ izotopnogo datirovaniya [Age of formation of ores and quartz veins of the Kizas ore field (Shamansky ore cluster, Western Sayan) according to $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope dating]. In: Sbornik tezisov dokladov XIV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Geologiya, prognoz, poiski i otsenka mestorozhdenii almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov» [Collection of abstracts of reports of the XIV International scientific and practical conference “Geology, forecast, prospecting and evaluation of deposits of diamonds, precious and non-ferrous metals”], Moscow, TSNIGRI, 2025, pp. 317–320.
5. Travin A. V., Yudin D. S., Vladimirov A. G., Khromykh S. V., Volkova N. I., Mekhonoshin A. S., Kolotilina T. B. Termokhronologiya Chernorudskoi granulitovoi zony (Ol'khonskii region, Zapadnoe Pribaikal'e) [Thermochronology of the Chernorudskaya granulite zone (Olkhon region, Western Baikal region)], *Geokhimiya* [Geochemistry International], 2009, No 11, pp. 1181–1199. (In Russ.)
6. Chernykh A. I., Okulov A. V., Arsent'eva I. V., Kryazhev S. G., Pozdnyakova N. N. Zolotonosnost' Shamanskogo rudnogo uzla Kizas-Anzasskogo rudnogo raiona (Respublika Khakasiya) [Gold potential of the Shaman ore cluster of the Kizas-Anzas ore region (Republic of Khakassia)]. In: Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov, otsenki mestorozhdenii almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov : XI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya : sbornik tezisov dokladov [Scientific and methodological foundations for forecasting, prospecting, and evaluating deposits of diamonds, precious and non-ferrous metals: XI International scientific and practical conference, collection of abstracts], Moscow, TSNIGRI, 2022, pp. 243–246.
7. Chernykh A. I., Okulov A. V., Arsent'eva I. V., Leibgam P. N. Zolotosoderzhashchee kolchedanno-polimetallicheskie orudnenie Kizas-Anzasskogo rudnogo raiona (Respublika Khakasiya) [Gold-bearing pyrite-polymetallic mineralization of the Kizas-Anzas ore region (Republic of Khakassia)]. In: Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov, otsenki mestorozhdenii almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov : X Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya : sbornik tezisov dokladov [Scientific and methodological foundations for forecasting, prospecting, and evaluating deposits of diamonds, precious and non-ferrous metals: X International scientific and practical conference, collection of abstracts], Moscow, TSNIGRI, 2021, pp. 238–240.
8. Chernykh A. I., Okulov A. V., Kryazhev S. G., Arsent'eva I. V. Geologicheskoe stroenie i zolotonosnost' Shamanskogo rudnogo uzla Altae-Sayanskoi skladchatoi oblasti (Respublika Khakasiya) [Geological structure and gold prospectivity of the Shamansky ore cluster of the Altai-Sayan folded

region (Republic of Khakassia)], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2022, No 4, pp. 54–77. (In Russ.) DOI: 10.47765/0869-5997-2022-10022.

9. Yachevskii L. Geologicheskie nablyudeniya v raione zolotykh promyslov po r. Bol'shому Kyzasu [Geological observations in the area of gold mines along the Bolshoi Kyzas River]. In: Geologicheskie issledovaniya v zolotonosnykh oblastyakh Sibiri. Eniseiskii zolotonosnyi raion. Vyp. 8 [Geological studies in the gold-bearing regions of Siberia. Yenisei gold-bearing region. Issue 8], St. Petersburg, 1909, pp. 1–27.
10. Baksi A. K., Archibald D. A., Farrar E. Intercalibration of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating standards, *Chemical Geology*, 1996, Vol. 129, pp. 307–324. DOI: 10.1016/0009-2541(95)00154-9.

Окулов Алексей Вячеславович (okulov@tsnigri.ru)

кандидат геолого-минералогических наук,
начальник отдела благородных металлов ¹

Черных Александр Иванович

кандидат геолого-минералогических наук,
директор департамента региональных работ и перспективного развития ²

¹ Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ), г. Москва, Россия

² ООО «УК Полюс», г. Москва, Россия

Okulov Aleksei Vyacheslavovich (okulov@tsnigri.ru)

PhD in Geological and Mineralogical Sciences,
Head of the Precious Metals Department ¹

Chernykh Aleksandr Ivanovich

PhD in Geological and Mineralogical Sciences,
Director of the Department of Regional Work and Strategic Development ²

¹ Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals (TsNIGRI), Moscow, Russia

² Management Company Polyus LLC, Moscow, Russia