



Геологическое строение и золотоносность Шаманского рудного узла Алтае-Саянской складчатой области (Республика Хакасия)

Geological structure and gold prospectivity of the Shamansky ore cluster of the Altai-Sayan folded region (Republic of Khakassia)

Черных А. И., Окулов А. В.,
Кряжев С. Г., Арсентьева И. В.

Chernykh A. I., Okulov A. V.,
Kryazhev S. G., Arsentieva I. V.

Рассмотрены геологическое строение, минералогический состав и возраст пород и руд, закономерности формирования золотого оруденения Шаманского рудного узла – одного из наиболее перспективных в Алтае-Саянской минерагенической провинции. Показано, что узел имеет сложное складчато-блоковое строение. Для пород характерны интенсивные складчатые и разрывные дислокации. Выделен участок наибольших деформаций, на котором сконцентрированы известные поисковые признаки золотого оруденения. Выделены два морфологических типа золото-сульфидно-кварцевых руд – в жилах и в пирит-кварц-серицит-анкеритовых метасоматитах. Охарактеризован состав золота и его морфологические особенности. Изучение изотопии серы сульфидов из золотоносных кварцевых жил показало преобладание значений на уровне $\delta^{34}\text{S}$ от +3,7 до +6,5 ‰, что указывает на их гидротермально-осадочное происхождение. Изотопно-геохронологические $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ данные по серициту из золотоносного кварца ($359,5 \pm 5,5$ млн лет) свидетельствуют о проявленности позднедевонско-раннекарбонного этапа формирования золото-сульфидно-кварцевых жил. Сопоставление геологических, металлогенических, минералого-геохимических и изотопно-геохронологических данных позволило обосновать вывод о принадлежности золотого оруденения Шаманского узла к орогенному типу. По разработанной модели формирование оруденения предполагается в три этапа – рудоподготовительный островодужный (540–520 млн лет), основной рудный орогенный-1 аккреционно-коллизийный (510–450 млн лет), дополнительный рудный орогенный-2 транспрессионно-коллизийный (380–345 млн лет).

Ключевые слова: золото, оруденение, рудный узел, геологическое строение, изотопия серы, Ar-Ar изотопное датирование, орогенные месторождения, Алтае-Саянская складчатая область.

In this work, we consider the geological settings, mineralogical composition and age of rocks and ores, as well as regularities in the formation of gold mineralization of the Shamansky ore cluster, which is one of the most prospective ore clusters in the Altai-Sayan mineragenic province. It is shown that the cluster has a complex fold-block structure. The rocks are characterized by intense folded and discontinuous dislocations. We identified the area of the reatest deformations, where the known prospective signs of gold mineralization are concentrated. Two morphological types of gold-sulfide-quartz ores have been distinguished: veins and pyrite-quartz-sericite-ankerite metasomatite. We characterized the composition of gold and its morphological features. Sulfur isotope data of sulfides from gold-bearing quartz veins predominantly have values of $\delta^{34}\text{S}$ from +3.7 to +6.5 ‰ that indicate their hydrothermal-sedimentary origin. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope-geochronological data on sericite from gold-bearing quartz shows the age of 359.5 ± 5.5 Ma testifying to the Late Devonian-Early Carboniferous stage of the formation of gold-sulfide-quartz veins. A comparison of geological, metallogenic, mineralogical-geochemical and isotope-geochronological data allowed us to conclude that the gold mineralization of the Shamansky cluster belongs to the orogenic type. According to the model of formation, gold mineralization occurred in three stages: ore-preparation islandarc (540–520 Ma), main ore orogenic-1 accretion-collisional (510–450 Ma), and additional ore orogenic-2 transpressional-collisional (380–345 Ma).

Keywords: gold, mineralization, ore cluster, geological structure, sulfur isotope, Ar-Ar isotope dating, orogenic deposits, Altai-Sayan folded region.

Для цитирования: 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

For citation: Chernykh A. I., Okulov A. V., Kryazhev S. G., Arsentieva I. V. Geological structure and gold prospectivity of the Shamansky ore cluster of the Altai-Sayan folded region (Republic of Khakassia). Ores and metals, 2022, № 4, pp. 54–77. DOI: 10.47765/0869-5997-2022-10022



Введение. Шаманский золоторудно-россыпной узел находится в южной части Республики Хакасия в междуречье рек Абакан и Большой Анзас на северном склоне западной части Западного Саяна (рис. 1). Территория узла характеризуется одной из самых высоких в Алтае-Саянской металлогенической провинции россыпной золотоносностью. Здесь известны богатые россыпи золота, большая часть которых уже отработана. Суммарная учтённая добыча золота из россыпей оценивается на уровне 24–30 т, а линейная продуктивность на отдельных участках достигала 3200 кг/км.

Первые сведения о золотоносности рудного узла появились в 40-х годах XIX века и были связаны с изучением россыпей и добычей из них золота. В 1886–1888 гг. на юго-западном склоне горы Троицкой ортой из отвода прииска Троицкого были вскрыты четыре кварцевые жилы мощностью 0,2–0,65 м с содержанием золота от 2,6 до 7,8 г/т. Затем на протяжении более чем 110 лет изучение коренной золотоносности было связано с кварцевожилным типом оруденения. Геологами и старателями были выявлены многочисленные, как правило маломощные, кварцевые жилы и прожилки, иногда с пиритовой, халькопиритовой и золотой минерализацией в бассейнах рек Безымянка, Весёлый, Левый Кизас, Бол. и Мал. Анзас и др. Поисковые работы на коренное золото концентрировались в районе горы Троицкой и в верховье р. Мал. Анзас, в меньшей степени на других участках.

Геолого-съёмочные работы м-ба 1 : 50 000 и специализированные поиски коренного золота в 1960–1990 гг., проведённые В. Н. Шишловым (1964), Н. Г. Дубининым (1974), А. Д. Кирилловым (1977), Е. С. Единцевым (1996, 1999, 2002) и другими исследователями, были направлены преимущественно на оценку золотоносности кварцевых жил на небольших участках. В результате создана геологическая основа и выявлены многочисленные проявления и пункты минерализации золота. Однако золоторудных объектов с промышленным значением установлено не было.

Современный этап поисков коренного золота связан с работами, инициированными

ФГБУ «ЦНИГРИ» и ориентированными на изучение золотоносности не только кварцевых жил, но и пирит-кварц-серицит-анкеритовых метасоматитов [6, 13, 14]. Впервые предположение о потенциальной золотоносности не только кварцевых жил, но и «...пачек глинистых сланцев в приустьевой части руч. Безымянки и Весёлого» высказал Л. Ячевский в 1909 г. [15]. К сожалению, чтобы вернуться к этой мысли на практике, ушло почти 100 лет. В 2006–2008 гг. на нескольких участках геологами ОАО «Берег» были проведены работы, в результате которых выяснено, что большими перспективами на золото обладают зоны метасоматитов с золото-сульфидно-кварцевыми прожилками. По отдельным участкам Шаманского узла были оценены и апробированы прогнозные ресурсы золота: Успенско-Троицкий участок (P_3 40 т; среднее содержание Au 9,9 г/т), Весельский (P_2 19,8 т; Au 10,9 г/т), Безымянный (P_2 3,3 т; Au 6,3 г/т), Покосный (P_1 16,5 т; Au 1 г/т).

Таким образом, выполненные исследования показали высокие перспективы выявления коренного золотого оруденения и наличие многочисленных золотоносных кварцевых жил, но не позволили локализовать золоторудные объекты, сопоставимые по масштабам с известной россыпной золотоносностью. Это связано с рядом причин – преобладанием поисковых работ на кварцевожилный тип, крайне неравномерной изученностью рудного узла, малым объёмом горных и буровых работ, сложными ландшафтно-геоморфологическими условиями поисков и др. Одной из важных причин отсутствия значимых результатов в поисках золота является неразработанность модели формирования золотого оруденения Шаманского узла и недостаточное понимание закономерностей его локализации. Большинство исследователей ориентировались здесь на поиски кварцевых жил по аналогии с более изученными рудными районами Алтае-Саянской металлогенической провинции – Мартайгинским, Ольховско-Чибихевским, Коммунарским. Однако при этом не учитывалась разница в геологическом строении – отсутствие средне-позднекембрийско-ордовикских

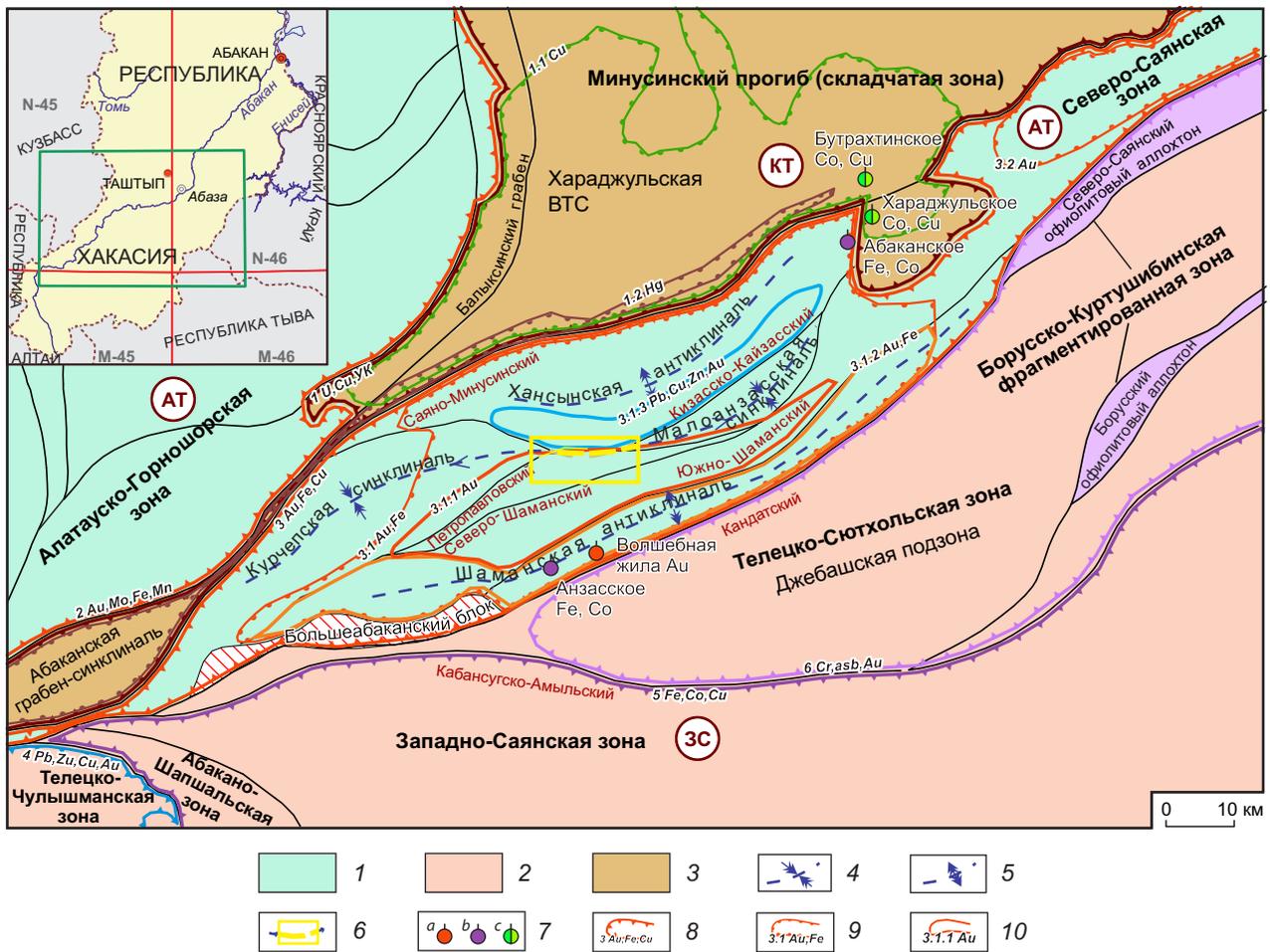


Рис. 1. Обзорная схема геолого-структурного строения и металлогенического районирования Кизасско-Анзасского полиметаллически-железо-золоторудно-россыпного района:

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, 9 – рудных районов, 10 – рудных узлов. Металлогенические зоны (МЗ), рудные районы и узлы (в скобках их номера на рисунке): Минусинская угленосная-медно-урановорудная минерагеническая область (1 U, Cu, УК), 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 полиметаллически-железо-золоторудно-россыпной (3.1 Au, Fe) с рудными узлами (Шаманский золоторудно-россыпной (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 район (3.2 Au); Телецко-Башкауская золото-полиметаллическая МЗ (4 Pb, Zn, 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 of the geological settings and metallogenic zonation of the Kizas-Ansas polymetallic-iron-gold-ore-placer area:

mineragenic subprovinces: Caledonian-Epicaledonian (1 – Alatau-Tuva (AT), 2 – Western Sayan (ЗС)), Hercynian-Epihercynian (3 – Kuznetsk-Tuva (КТ)); 4 – axes of the largest synclines; 5 – axes of the largest anticlines; 6 – the area of maximum folded-discontinuous deformations; 7 – deposits: *a* – gold, *b* – iron, *c* – copper-cobalt; boundaries of metallogenic taxa: 8 – metallogenic zones, 9 – ore districts, 10 – ore clusters. Metallogenic zones (MZ), ore districts and clusters (in brackets their numbers in the figure): Minusinsk coal-bearing-copper-uranium ore mineragenic area (1 U, Cu, UK), including the following ore districts: Kharadzhu copper ore (1.1 Cu), Abakan mercury ore (1.2 Hg); Alatau-Gornoshorskaya manganese-molybdenum-gold MZ (2 Au, Mo, Fe, Mn); The North Sayan copper-iron-gold MZ (3 Au, Fe, Cu), including the ore regions of the Kizas-Ansas polymetallic-iron-gold-ore placer (3.1 Au, Fe) with ore clusters (Shamansky gold-ore placer (3.1.1 Au), Anzas gold-iron ore (3.1.2 Au, Fe), Dzargan prospective gold-polymetallic (3.1.3 Pb, Cu, Zn, Au)) and Main gold ore region (3.2 Au); Teletsko-Bashkausskaya gold-polymetallic MZ (4 Pb, Zn, Cu, Au); Central West Sayan copper-cobalt-iron MZ (5 Fe, Co, Cu); Borussko-Kurtushiba gold-asbestos-chromite MZ (6 Cr, asb, Au)

гранитоидных массивов, значение герцинской орогении, важность складчато-разрывных дислокаций для локализации руд и т. д.

Металлогеническое районирование и металлогеническая специализация. Шаманский золоторудно-россыпной узел (около 490 км²) расположен в центральной и юго-западной частях Кизасско-Анзасского полиметаллически-железо-золоторудно-россыпного района. Он характеризуется типичной для всей Северо-Саянской МЗ Алатауско-Тувинской субпровинции (см. рис. 1) металлогенической специализацией на золото, железо, свинец, цинк, медь. Закономерности пространственного распределения, специфика локализации золота и золотосодержащего оруденения и сочетание различных металлогенических факторов определяют выделение в пределах рудного района трёх рудных узлов – Шаманского золоторудно-россыпного, Анзасского золото-железорудного (Анзасское железорудное и Кировское золоторудное месторождения) и Джарганского золото-полиметаллического (Тигримское проявление).

Шаманский золоторудно-россыпной узел выделяется высокой россыпной золотоносностью, концентрацией многочисленных проявлений и пунктов минерализации золота, кварцевых жил и прожилков с сульфидной минерализацией и золотом, зон сульфидизации, бурошпатизации и окварцевания.

Геолого-структурное положение и геологическое строение. Шаманский золоторудно-россыпной узел расположен в центральной части линзообразного тектонического блока (Кизасско-Анзасского рудного района) в юго-западной части Северо-Саянской покровно-складчатой зоны (см. рис. 1). Территория района отделена Саяно-Минусинским региональным разломом от кембрийско-ордовикских пород Алатауско-Горношорской складчатой зоны и от девонских пород Минусинской складчатой зоны в северной части. С юго-востока породы Северо-Саянской зоны по Кандатскому региональному разлому граничат с венд-раннекембрийскими зеленосланцевыми метаморфическими комплексами Телецко-Сютхольской складчатой зоны. Кизасско-Анзасский рудный район сложен преимущественно островодужными кембрийскими вулканогенно-осадочными толщами, смятыми в линейные складки регионального сжатия, с осями складок вытянутыми в северо-восточном направлении.

В геолого-структурном плане Шаманский узел приурочен к зоне максимальных складчато-разрывных деформаций пород шаманской свиты и имеет сложное складчато-блоковое строение (см. рис. 1). Наиболее крупные разломы северо-восточного простирания – Южно-Шаманский, Петропавловский, Северо-Шаманский – трассируются мощными (100–700 м) зонами рассланцевания, трещинова-

тости, милонитизации, катаклаза и брекчий. По Южно-Шаманскому разлому проведена южная граница Шаманского рудного узла. Северо-Шаманский разлом проходит в центральной части рудного узла и также имеет северо-восточное простирание. Петропавловский разлом прослеживается у северо-западной и северо-восточной границы рудного узла. С севера на породы Шаманского узла по Кизасско-Анзасскому надвигу надвинуты породы Хансынского блока, сложенные преимущественно раннекембрийскими эффузивами и туфами основного и кислого составов. Наряду с вышеописанными крупными дизъюнктивами имеются многочисленные более мелкие оперяющие разрывные нарушения и зоны трещиноватости, ориентированные в субширотном, северо-восточном и северо-западном направлениях. Вдоль всех крупных разломов северо-восточного простирания установлены линейные участки окварцевания, карбонатизации, сульфидизации и лимонитизации. К зонам разломов и трещиноватости приурочены линейные зоны метасоматитов и многочисленные кварцевые жилы и прожилки.

Характерной особенностью Петропавловского разлома является искривление его плоскости в районе пересечения долин рек Весёлый, Безымянка и Поперечный Кизас. Здесь простирание разлома меняется от северо-восточного на западе на субширотное, а затем юго-восточное на востоке. Линия Кизасско-Анзасского надвига проходит по отрогам хребта Хансын и в плане имеет форму дуги, своей фронтальной частью выгнутой в южном направлении, плоскость его сместителя погружена на север и северо-запад под углами 50–70°. В верховье рек Мал. Анзас и Весёлый наблюдается изгиб поверхности надвига и изменение его простирания с северо-западного на северо-восточное. На местности зона разлома выражена мощной (100–250 м) зоной брекчирования.

Важную роль в создании современного структурного плана территории Шаманского узла играют более молодые, вероятно позднедевонско-раннекарбоновые, разрывные нарушения северо-северо-западного простирания.

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 незначительная мощность зон трещиноватости и дробления (1–30 м), вдоль которых часто развиты карбонатные, карбонатно-кварцевые и кварцевые жилы. Наиболее крупная такая зона разломов прослеживается через Кизасский участок из долины рек Берёзовая и Чебалсуг (левые притоки р. Бол. Анзас) в долину р. Левый Кизас через весь хребет Шаман.

Северная граница Шаманского узла сопряжена с крупной Курчепско-Малоанзасской складчатой структурой. Малоанзасская и Курчепская синклинали образуют единую вытянутую в северо-восточном направлении структуру с продольным и поперечным перегибом шарнира в районе нижнего течения рек Левый Кизас, Безымянка и Поперечный Кизас. Крылья синклиналей сложены породами верхнемонокской, шаманской, кизасской и чеханской свит. Ось Курчепской синклинали имеет восточно-северо-восточное простирание, шарнир под углом ~ 20° погружается на юго-запад. Ось Малоанзасской синклинали имеет северо-восточное простирание, шарнир её погружается в этом же направлении под углом 10–15°. Южное крыло Курчепско-Малоанзасской синклинальной структуры смято в складки второго порядка (Кизасско-Татьянинская антиклиналь, Самлатская синклиналь и др.) с размахом крыльев 2–4 км. В свою очередь эти складки осложнены более мелкими складками третьего порядка, размах крыльев которых составляет десятки и сотни метров (рис. 2).

Большая часть Шаманского узла сложена отложениями шаманской свиты. Наиболее широко среди них распространены рассланцованные переслаивающиеся серо-зелёные песчаники, алевропесчаники и алевролиты, иногда с примесью туфового материала (рис. 3, а–с). Кроме того, известны углеродисто-глинистые и углеродисто-кремнистые сланцы с прослоями, линзами и пачками гравелитов, конгломератов, туфопесчаников, туфоалевролитов,

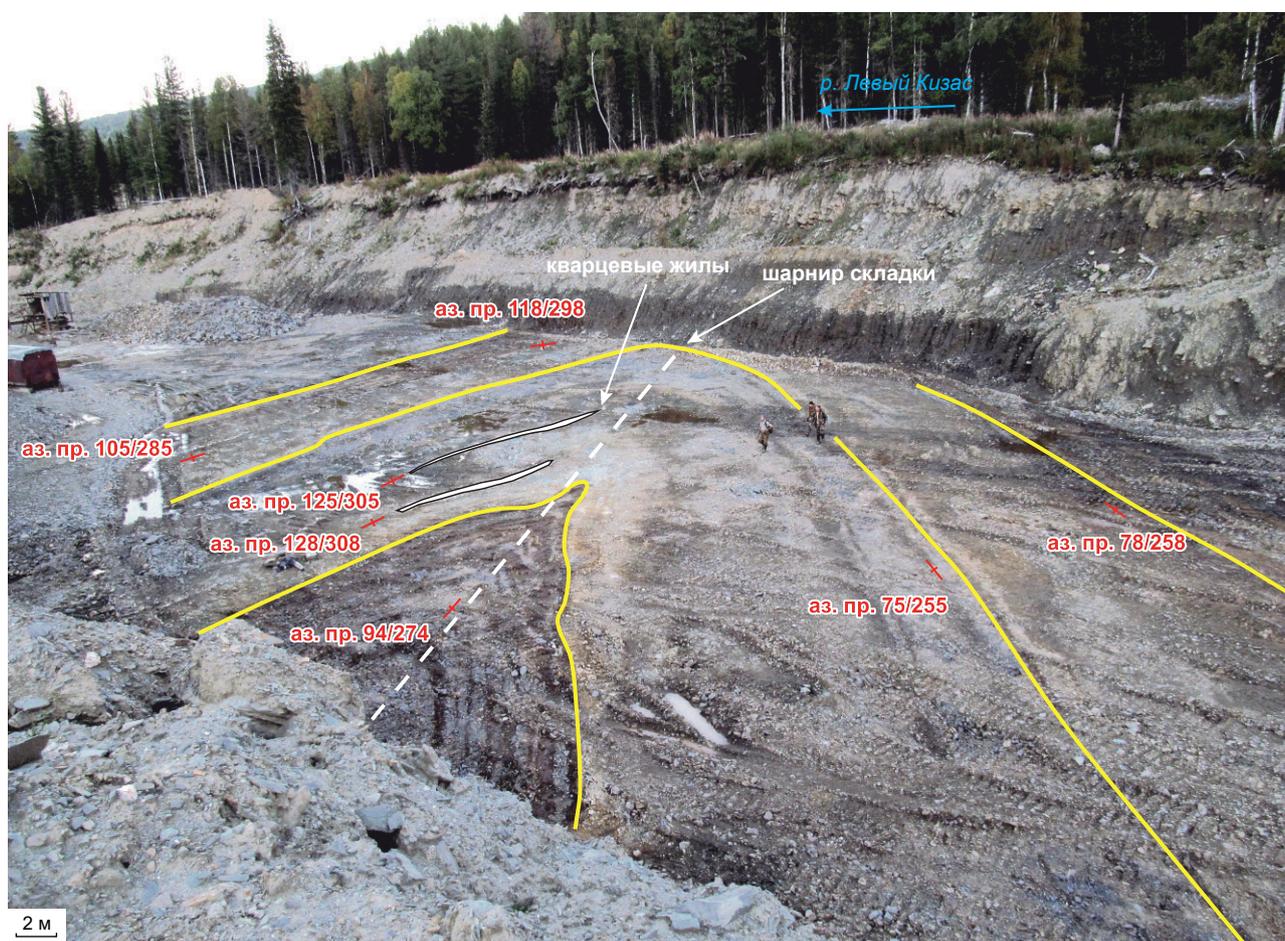


Рис. 2. Складка 3-го порядка терригенных пород шаманской свиты с маломощными кварцевыми жилами в днище карьера старательской отработки россыпи р. Левый Кизас

Fig. 2. A 3rd-order fold in the terrigenous rocks of the Shaman Formation with thin quartz veins from the bottom of a quarry of artisanal mining of the placer from the Left Kizas river

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. В пределах рудного узла шаманская свита подразделяется на три подсвиты общей мощностью более 3000 м. Среди пород нижней подсвиты преобладают углеродисто-кремнистые, углеродисто-глинистые сланцы, туфогенно-терригенные и терригенные породы. В средней подсвите – терригенные породы зелёного, реже серого цвета. Для верхней подсвиты среди терригенных по-

род характерны прослои глинистых известняков и туффитов. Часто среди терригенных пород наблюдаются прожилки кварц-хлоритового, кварц-эпидот-хлоритового, карбонат-эпидот-хлоритового составов (см. рис. 3, *b–d*).

Для Шаманского узла характерно слабое развитие субвулканических и интрузивных пород, они встречаются преимущественно за его пределами и приурочены к наиболее крупным региональным разломам – Кандатскому и Саяно-Минусинскому. Здесь они представлены дайками и небольшими массивами раннекембрийских перидотит-пироксенит-габброноритового лысогорского и плагиогранитов

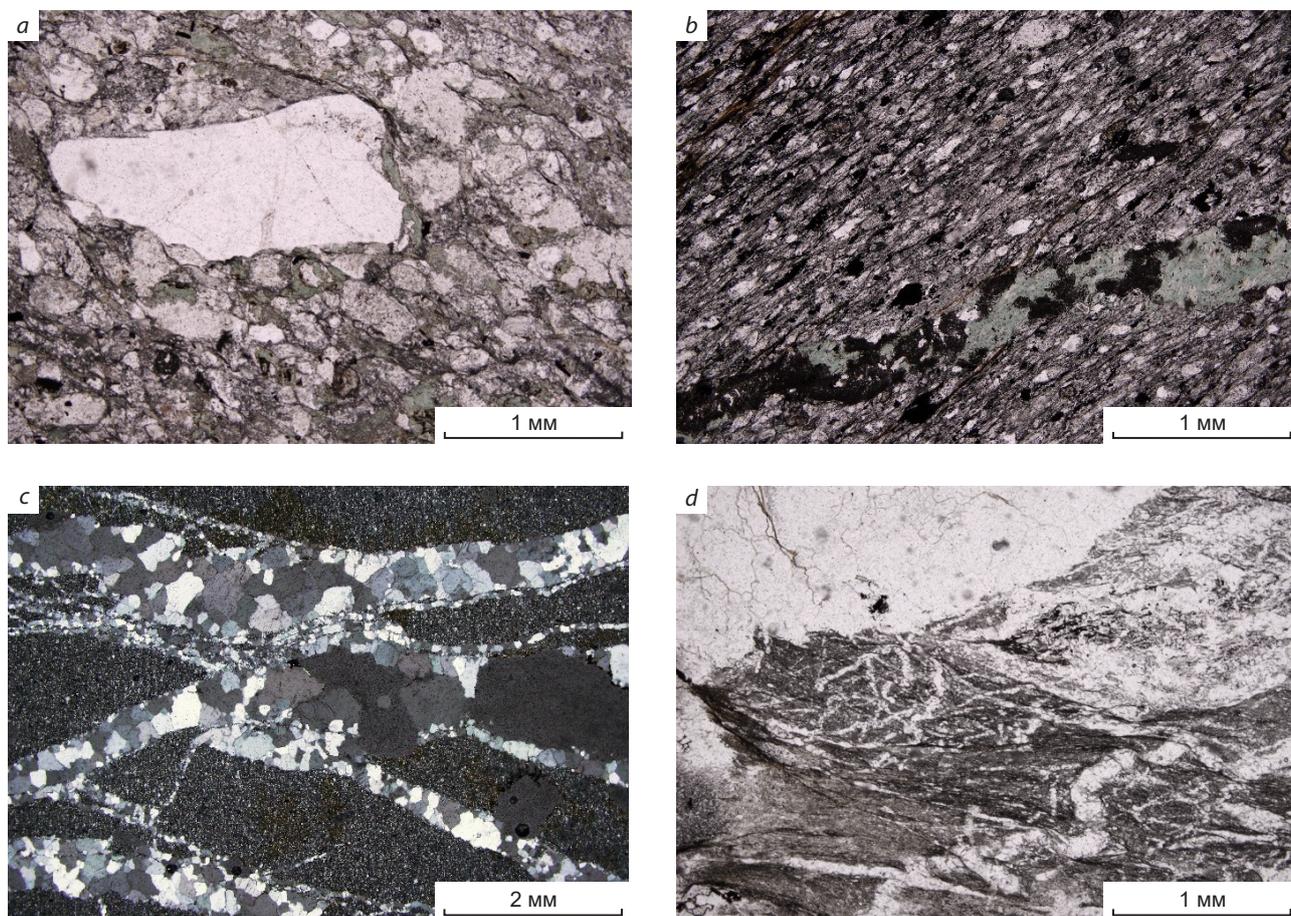


Рис. 3. Петрографические особенности терригенных пород шаманской свиты:

a – шлиф 21346/1, рассланцованный метатуфоалевропесчаник (без анализатора); *b* – шлиф 21447-1, рассланцованный метаалевропесчаник с примесью туфогенного материала с кварц-хлорит-эпидотовыми прожилками (с анализатором); *c* – шлиф 21352-1, рассланцованный метаалевропесчаник с примесью туфогенного материала с кварцевыми прожилками (с анализатором); *d* – шлиф 21425-2, кварцевый прожилок на контакте с кварц-серицит-хлоритовым сланцем (без анализатора)

Fig. 3. Petrographic features of terrigenous rocks of the Shaman Formation:

a – thin section 21346/1, sheared metatuffaleurosandstone (without analyzer); *b* – thin section 21447-1, sheared metaaleurosandstone with a mixture of tuffaceous material with quartz-chlorite-epidote veinlets (with analyzer); *c* – thin section 21352-1, sheared metasilty sandstone with a mixture of tuffaceous material crosscut by quartz veins (with analyzer); *d* – thin section 21425-2, quartz vein at contact with quartz-sericite-chlorite schist (without analyzer)

майнского комплексов, а также дайками и небольшими телами ранне-среднедевонского габбро-гранитоидного козёрского комплекса.

Особенности геологического строения Шаманского узла, данные о литолого-петрографическом составе пород и сопоставление данных

по соседним территориям дают основание предполагать, что формирование пород шаманской свиты происходило в пределах небольшого осадочного бассейна в нижней части склона островной дуги, либо в межостровной депрессии.



Золотоносность Шаманского узла. Поисковые признаки золотого оруденения Шаманского узла концентрируются на нескольких участках – Татьянинском, Кизасском, Успенском, Покосном и др., которые характеризуются наибольшей изученностью и выявлены либо при отработке россыпей, либо при заверке литогеохимических аномалий. Анализ материалов предшественников и вновь полученные данные по золотоносности узла свидетельствуют о выделении здесь двух типов золото-сульфидно-кварцевого оруденения – жильного и в пирит-кварц-серицит-анкеритовых метасоматитах. Оруденение жильного типа установлено на участках Татьянинском, Успенском, Кизасском, а в метасоматитах – на Кизасском, Покосном, Успенском.

Кизасский участок расположен в междуречье рек Левый Кизас и Даниловский (рис. 4). В структурном плане приурочен к зоне сопряжения нескольких крупных пликативных и региональных дизъюнктивных структур и характеризуется интенсивными складчато-разрывными деформациями. Участок находится в области перегиба шарнира Курчепско-Малоанзасской синклинали (1-й порядок) на северо-западном крыле Кизасской антиклинали (2-й порядок), осложнённой складками более мелкого порядка (3-й и 4-й порядок). На породы участка с севера надвинуты преимущественно вулканогенные породы нижне- и верхнемонокской свит по Кизасско-Анзасскому надвигу. В пределах участка проходит рудоконтролирующий Петропавловский разлом с серией оперяющих более мелких нарушений. На участке широко развиты разрывные нарушения северо-западного направления.

Рудовмещающими породами на Кизасском участке являются породы шаманской свиты – зелёные, зеленовато-серые до тёмно-серых углеродсодержащие песчаники и алевролиты, часто с примесью туфового материала. Породы характеризуются текстурами от массивных до сланцеватых, вплоть до формирования тонких (1–2 мм) плиток. Направление расланцевания совпадает с северо-восточной ориентировкой главных геологических структур участка. Северо-западное направление

разрывных нарушений подчёркивается прежде всего кварцевыми жилами и прожилками соответствующей ориентировки, в меньшей степени направлением трещиноватости в породах, а в рельефе выражено направлением долин рек. Породы в зонах дробления обохрены и окварцованы, выделяются многочисленные разноориентированные жилы и прожилки мощностью от 1 мм до 1 м. Широко распространены метасоматически изменённые терригенные породы – хлоритизированные, анкеритизированные, пиритизированные, с преобладанием пирита кубического габитуса размером первые миллиметры, иногда до 1,5 см (рис. 5, а).

Золотое оруденение наиболее детально изучено на проявлениях Весельское, Надежда и Безымянное. Проявление Весельское приурочено к участку пересечения Петропавловского разлома и тектонической зоны северо-западного простирания. На проявлении установлены золотоносные зоны метасоматитов мощностью до 70–80 м на контакте карбонатно-терригенных пород верхнешаманской подсвиты с пачкой чёрных углеродистых пиритизированных известняков. Здесь в окварцованных и лимонитизированных песчаниках и гравелитах выявлены пять рудных интервалов мощностью от 1,2 до 3,0 м с содержаниями золота от 2,3 до 17,0 г/т. Подобные условия локализации отмечены и для проявления Безымянное. Здесь с поверхности вскрыты два рудных интервала мощностью 2,4 и 1,2 м с содержаниями золота 1,85 и 6,3 г/т соответственно.

Проявление Надежда представлено двумя золотоносными зонами – северо-восточного и северо-западного простирания в отложениях нижней пачки верхнешаманской подсвиты. В пределах зон среди пирит-кварц-серицит-карбонатных метасоматитов установлены участки интенсивного прожилкового окварцевания с золотом (см. рис. 5, б). В северо-восточной зоне содержания золота в шестиметровом интервале варьируют от 0,6 до 9,3 г/т, в среднем 4,4 г/т. Вторая зона представлена прокварцованными, брекчированными и пиритизированными метасоматитами и милонитами мощностью 20–30 м. При шлиховом опробовании

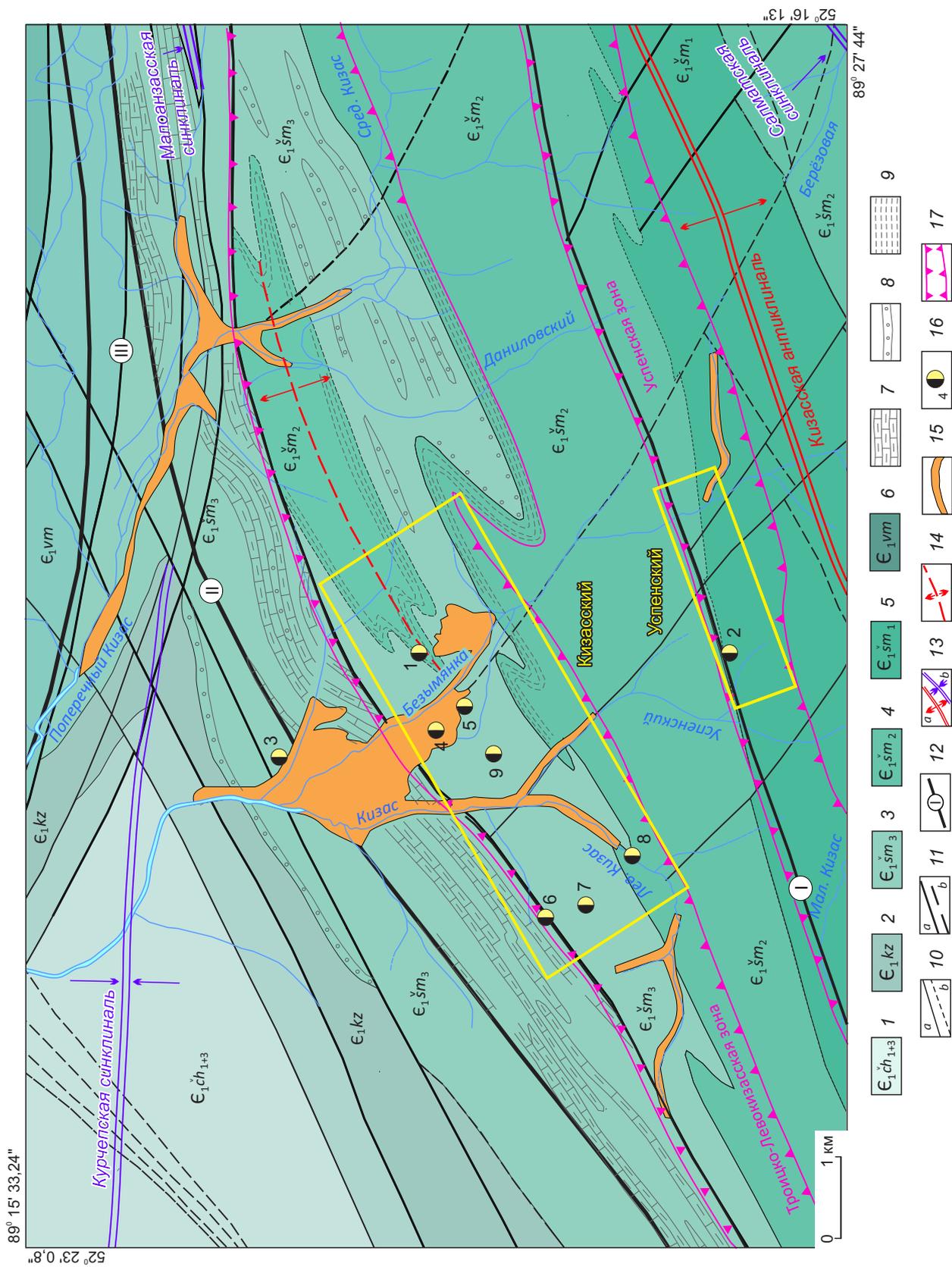




Рис. 4. Схема геологического строения и золотоносности Кизасского участка (составлена по материалам Н. Г. Дубинина, 1974ф; А. Д. Кириллова, 1977ф; Е. С. Единцева, 1998ф, Ю. М. Михалева, 1998ф и АО «Сибирское ПГО» 2020–2022 гг.):

1 – чеханская свита объединённая (туфоконгломераты, туфы, туфопесчаники, андезитовые порфириты, песчаники, алевролиты); 2 – кайзасская свита (ритмичное переслаивание песчаников, алевролитов, сланцев, гравелитов, конгломератов существенно зеленоцветных, редкие прослой туффитов и туфов); 3 – верхнешаманская подсвета (песчаники, алевролиты, сланцы, гравелиты, туфы, туффиты, глинистые известняки); 4 – среднешаманская подсвета (ритмичное переслаивание песчаников, алевролитов сланцев, серых и зелёных тонов, реже конгломераты, гравелиты, известняки, порфириты, их туфы); 5 – нижнешаманская подсвета (сланцы кремнистые, глинисто-кремнистые, углисто-глинистые, песчаники, алевролиты, туфоконгломераты, гравелиты, линзы известняков, редко эффузивы основного состава); 6 – верхнемонокская свита (конгломераты, туфоконгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, известняки, реже туфы, туффиты, эффузивы основного и среднего состава); литологические границы: а – достоверные, 7 – известняки глинистые, мергели, 8 – конгломераты, 9 – сланцы углисто-глинистые; 10 – геологические границы: а – достоверные, б – предполагаемые; 11 – разрывные нарушения: а – достоверные, б – предполагаемые; 12 – региональные разрывные нарушения, разломы (1 – Северо-Шаманский, II – Петропавловский, III – Кизасско-Анзасский); 13 – складки 1-го, 2-го порядков (а – антиклинальные, б – синклиналиные); 14 – антиклинальные складки 3-го порядка; 15 – промышленные россыпи золота; 16 – рудопроявления и пункты минерализации золота (1 – Троицкое, 2 – Успенское, 3 – Весёльское, 4 – Безымянное, 5 – Надежда, 6 – Спиридоновское, 7 – Плоское, 8 – Карьерное, 9 – Водораздельное); 17 – минерализованные зоны жильного и прожилкового окварцевания, серицитизации, анкеритизации, вкрапленности пирита

Fig. 4. Scheme of the geological structure and gold mineralization of the Kizassky area (compiled based on the materials of N. G. Dubinin, 1974f; A. D. Kirillov, 1977f; E. S. Edintseva, 1998f, Yu. M. Mikhalev, 1998f and JSC "Siberian PGO" 2020–2022):

1 – combined Chekhan Formation (tuff conglomerate, tuff, tuff sandstone, andesitic porphyrite, sandstone, siltstone); 2 – Kaizas Formation (rhythmic interbedding of sandstone, siltstone, shale, gravelstone, green conglomerate, rare interlayers of tuffite and tuff); 3 – Upper Shaman subformation (sandstone, siltstone, shale, gravelstone, tuff, tuffite, argillaceous limestone); 4 – Middle Shaman subformation (rhythmic interbedding of sandstone, siltstone, gray and green shale, rarely conglomerate, gravelstone, limestone, porphyrite, their tuff); 5 – Lower Shaman Subformation (siliceous, argillaceous-siliceous, carbonaceous-argillaceous shale, sandstone, tuff sandstone, tuff-conglomerate, gravelstone, limestone lenses, rarely mafic effusive rocks); 6 – Upper Monok Formation (conglomerate, tuff-conglomerate, gravelstone, sandstone, siltstone, limestone, less often tuff, tuffite, effusive of basic and intermediate composition); lithological varieties of rocks: 7 – clayey limestone, marl, conglomerate, 9 – carbonaceous-argillaceous shale; 10 – geological boundaries: а – reliable, б – assumed; 11 – discontinuous deformations: а – reliable, б – assumed; 12 – regional discontinuities, faults (1 – North Shamansky, II – Petropavlovsky, III – Kizassko-Anzassky); 13 – folds of the 1st and 2nd order (а – anticlinal, б – synclinal); 14 – anticlinal folds of the 3rd order; 15 – industrial placers of gold; 16 – ore occurrences and gold mineralization sites (1 – Troitskoye, 2 – Uspenskoye, 3 – Veselskoye, 4 – Bezymyannoye, 5 – Nadezhda, 6 – Spiridonovskoye, 7 – Ploskoye, 8 – Karernoye, 9 – Vodorazdelnoye); 17 – mineralized zones of vein and vein silicification, sericitization, ankeritization and pyrite dissemination

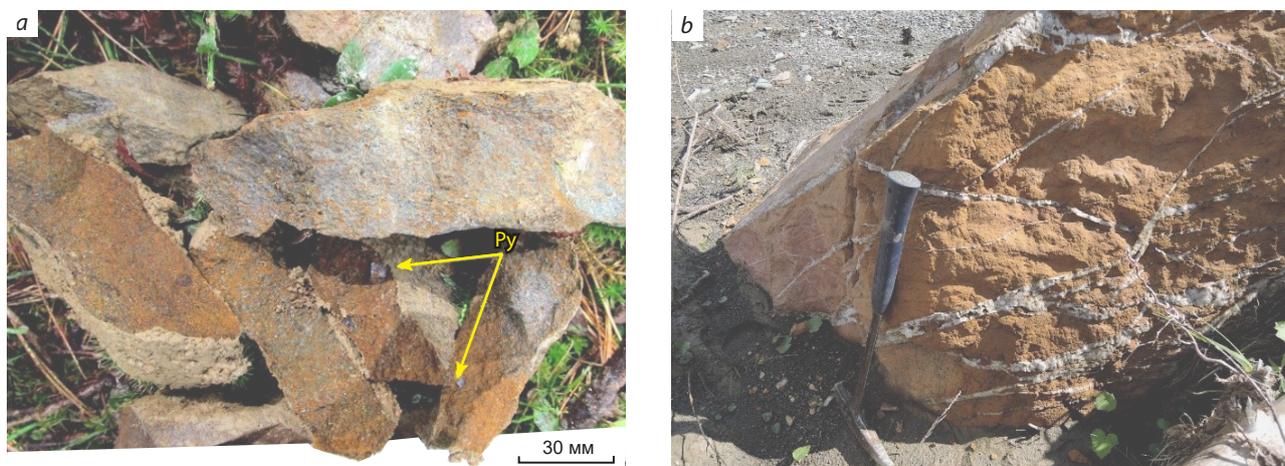


Рис. 5. Лимонитизированные анкеритизированные, хлоритизированные зелёные мелкозернистые туфопесчаники шаманской свиты с единичными метакристаллами окисленного кубического пирита (Py) (a); потенциально рудные интенсивно лимонитизированные бурошпатизированные песчаники с кварцевыми прожилками (b)

Fig. 5. Limonitized ankeritized, chloritized green fine-grained tuff sandstone of the Shamansky Formation with single metacrystals of oxidized cubic pyrite (py) (a); Potentially ore-bearing intensely limonitized brown spar sandstone with quartz veins (b)

дезинтегрированных коренных пород отмечено крупное свободное весовое золото класса +0,5...-6 мм. Содержание свободного (шлихового) золота по интервалу в 28 м составило не менее 4 г/т или 9,3 г/м³. Пробирным анализом в бороздовых пробах из канав в четырёх интервалах, каждый по 1,5 м мощностью, установлены содержания золота 5,7; 3,0; 0,9; 3,0 г/т. На глубину до 80 м зона интенсивной минерализации перебурана наклонной скважиной.

За пределами Кизасского участка в восточной части Шаманского узла выявлен ряд проявлений золото-сульфидно-кварцевого типа в жилах (участки Татьянинский и Успенский) и в пирит-кварц-серицит-анкеритовых метасоматитах (участок Покосный). Участок Татьянинский находится на правом берегу среднего течения р. Малый Анзас. Здесь среди рассланцованных и интенсивно пиритизированных изменённых песчаников, алевролитов и гравелитов шаманской свиты выявлены два проявления золота, расположенные в 1,5 км друг от друга – Татьянинское (западный фланг) и Жилы Жёлтые (восточный фланг). В структурном плане рудопроявления приурочены

к ядру антиклинальной складки, осложнённой дополнительной складчатостью, сложенной пиритизированными кварц-полевошпатовыми песчаниками, переслаивающимися с глинистыми и кварц-серицитовыми сланцами. На Татьянинском проявлении в нескольких кварцевых жилах и линзах с пиритом, халькопиритом и лимонитом мощностью 0,1–1,2 м, прослеженных по простиранию на 320 м установлены содержания золота 0,6–42,4 г/т, среднее 7,3 г/т. Рудопроявление Жилы Жёлтые включает две кварцевые жилы с пиритом, гематитом и лимонитом мощностью от 0,02 до 1,15 м, прослеженные по простиранию на 60 м среди пиритизированных песчаников. Содержание золота – от следов до 166 г/т. Между рудопроявлениями известны золотоносные кварцевые прожилки северо-западного и северо-восточного простирания. Западнее и восточнее Татьянинского участка выявлены отдельные сульфидно-кварцевые жилы с содержанием золота 1,2–28,8 г/т.

Участок Успенский расположен в междуречье рек Левый Кизас, Малый Кизас и Безымянка, в бассейне руч. Успенский (см. рис. 4).



Участок сложен породами шаманской свиты, с преобладанием в составе алевролитов и кварц-плагиоклаз-серицитовых сланцев. Через участок проходит одноимённая зона дробления и гидротермального изменения (минерализованная зона) восточно-северо-восточного простирания шириной до 250 м. Внутри зоны установлены участки штокверкового окварцевания шириной на дневной поверхности 70–100 м. Падение зоны на восточном фланге южное (угол 40–80°), на западном – северное (55–87°). Зона пересекается субмеридиональной системой субпараллельных разломов, разбивающих её на отдельные блоки. В штучных пробах из Успенской зоны максимальные содержания золота достигали 63,2 г/т в кварце и 17,8 г/т в изменённых кварц-плагиоклаз-серицитовых сланцах. Зона изучена слабо и вскрыта единичными шурфами и канавами.

Участок Покосный находится на южном фланге Шаманского рудного узла. В структурном плане он приурочен к ядру Салматской синклинали в месте пересечения Южно-Шаманского разлома и более позднего разлома северо-западного простирания. Участок сложен рассланцованными терригенными породами шаманской свиты с прослоями туфов основного состава, насыщенными габбродиабазовыми дайками лысогорского комплекса. Породы в зоне разлома, в полосе 80–150 м интенсивно передроблены и милонитизированы. В результате работ ОАО «Минусинская ГРЭ» выявлены рудоносные зоны метасоматитов шириной до 50–65 м и протяжённостью до первых сотен метров. В метасоматитах пирит-кварц-серицит-анкеритового состава установлена вкрапленность магнетита, халькопирита, реже галенита и сфалерита. Лабораторно-технологическое изучение проб Покосного участка показало неравномерное содержание золота в золотоносных метасоматитах в среднем на уровне 0,1–0,4 г/т, а на участках концентрации сульфидно-кварцевых прожилков на уровне 0,5–4 г/т. По результатам опробования среди метасоматитов с сульфидно-кварцевыми прожилками выделены многочисленные интервалы мощностью 20–50 м с содержанием золота 0,6–1,5 г/т.

Таким образом, изучение Шаманского узла позволило выделить золотое прожилково-жильное оруденение, локализованное в линейных зонах пирит-кварц-серицит-анкеритовых метасоматитов и в окварцованных лимонитизированных карбонатно-терригенных породах шаманской свиты. Жилы и прожилки приурочены к зонам рассланцевания и трещиноватости северо-восточного и северо-западного направлений. Наличие разноориентированных, пересекающих друг друга жил свидетельствуют о многоэтапности их формирования.

Изотопно-геохимические исследования сульфидных минералов. Изотопные анализы серы сульфидных минералов выполнены в ФГБУ «ЦНИГРИ» С. Г. Кряжевым по методике [11]. Сера сульфидов переводили в SO₂ посредством реакции с CuO при 800 °C в вакууме с последующей криогенной очисткой газа и анализом изотопного состава серы на масс-спектрометре МИ-1201. Результаты пересчитаны по отношению к метеоритному стандарту CDT. В качестве эталонов использовали лабораторный стандартный образец ЦНИГРИ «Пирит Гайского месторождения» с $\delta^{34}\text{S} = +0,7 \text{ ‰}$ и стандартный образец сфалерита NBS 123 с $\delta^{34}\text{S} = +17,3 \text{ ‰}$. Точность измерений составляет $\pm 0,2 \text{ ‰}$. Результаты определений приведены в таблице.

Общий разброс значений $\delta^{34}\text{S}$ в проанализированных образцах составил диапазон от +3,7 до +10,1 ‰. При этом относительно низкие значения $\delta^{34}\text{S}$ (+3,7...+6,5 ‰) установлены в пирите и халькопирите из золотоносных зон в пирит-кварц-серицит(парагонит)-анкеритовых метасоматитах по рассланцованным терригенным породам шаманской свиты и из кварцевых жил с золотом. Во вмещающих околорудных породах сера пирита в большей мере обогащена тяжёлым изотопом ($\delta^{34}\text{S}$ от +7 до +10 ‰).

Результаты изотопных исследований свидетельствуют о гидротермально-осадочной природе серы проанализированных сульфидов Кизасского участка. По абсолютным значениям $\delta^{34}\text{S}$ и по параметрам изотопно-геохимической зональности изученная минерализация в полной мере соответствует золото-сульфидному

Изотопный состав серы сульфидов Кизасского участка Шаманского узла

Sulfur isotope composition of sulfides from the Kizas area of the Shamansky ore cluster

№ образца	Описание	$\delta^{34}\text{SCDT}$, ‰
<i>Золотоносные зоны</i>		
309-1	Пирит из кварцевой жилы с видимым золотом	+3,7
21260	Пирит из кварцевой жилы с видимым золотом	+3,7
21112	Кубические кристаллы пирита в сланцах	+5,2
21267	Кубооктаэдрические кристаллы пирита в сланцах	+5,4
21650	Кубические метакристаллы пирита в бурошпатизированных туфопесчаниках	+5,9
21423	Кубические кристаллы пирита в углеродистых сланцах	+6,1
21249	Халькопирит из кварцевой жилы с видимым золотом	+6,5
ТП-1	Пирит из технологической пробы ТП-1 (кварц-парагонитовые сланцы с кварцевыми прожилками, сульфидами и самородным золотом)	+4,9
<i>Околорудные вмещающие породы</i>		
К4-1	Кубические кристаллы пирита в сланцах	+7,1
К204-122.5	Кубические кристаллы пирита в песчаниках	+8,3
20101/1(2)	Крупный кристалл пирита в сланцах (грани)	+9,6
20101/1(1)	Тот же кристалл (центр)	+10,1

оруденению суходожского типа, формирование которого связано с функционированием конседиментационных эксгалационно-осадочных систем и последующим метаморфизмом металлоносных отложений [7, 9]. В подобных системах области максимальной золотоносности располагаются вблизи рудоподводящих каналов и характеризуются минимальными значениями $\delta^{34}\text{S}$ (в рассматриваемом случае от +3,7 до +6,5 ‰). На удалении от подводящих нарушений (а также вверх по разрезу) сера сульфидов в большей степени обогащается тяжёлым изотопом (в рассматриваемом случае до +10 ‰).

Последующий динамотермальный метаморфизм сопровождался локальным (десятки метров) переотложением сульфидов, высвобождением связанного в них золота и его переносом в зоны пониженного давления в ядрах складок. Кварцевые жилы и прожилки, пересекающие обогащённые сульфидами и золотом литолого-стратиграфические уровни, несут ещё более концентрированное золотое оруденение. При этом все эпигенетические

процессы не сопровождались существенным изменением изотопного состава серы сульфидов, что является характерным признаком метаморфогенно-гидротермальных систем.

В единичных зёрнах пирита, находящегося в ассоциации с золотом, микрорентгено-спектральным анализом установлено повышенное содержание мышьяка – до 0,25 %. Кубический пирит из незолотоносных (с содержанием золота на уровне 0,00n г/т) бурошпатизированных зелёных хлоритовых сланцев характеризуется содержанием мышьяка на порядок ниже – 0,02 %. Химический состав сульфидных минералов требует дальнейшего более детального изучения.

Морфология и состав золота. Изучение образцов кварца, отобранных на Кизасском участке, свидетельствует о том, что чаще всего видимое золото фиксируется в зальбандовых частях жил, где хорошо просматриваются реликты вмещающих кварц-хлорит-серицитовых сланцев с лимонитизированным железистым карбонатом (рис. 6). Обычно частицы видимого золота имеют размеры от 0,05 до 1 мм и об-



Рис. 6. Фрагмент золотоносной анкерит-кварцевой жилы, на поверхности зальбандов которой зафиксированы многочисленные частицы золота (Au), а также выделения окисленного пирита (Py) и железистого карбоната

Fig. 6. A fragment of a gold-bearing ankerite-quartz vein, numerous particles of gold (Au), as well as segregations of oxidized pyrite (Py) and ferruginous carbonate, are confined to the selvage of the vein

разуют включения непосредственно в кварце в тесной ассоциации с гидроокислами железа, развитыми как по железистому карбонату, так и по пириту (рис. 7). Иногда в окисленном пирите фиксируются частицы самородного золота размером 0,05–0,2 мм, образующие эмульсионную вкрапленность (рис. 8; см. рис. 7).

Детализация и дополнение ранее проведённых работ [1, 14] свидетельствуют, что золото протолок, рыхлых делювиальных и аллювиальных отложений Шаманского узла характеризуется схожим химическим составом и морфологией. Пробность золота варьирует в широких пределах, преимущественно от 847 до 977 ‰. По единичным определениям пробность опускается до 700 ‰. В коррозионных оболочках пробность золота увеличивается до 986–1000 ‰. Наблюдаются два пика пробности золота: на уровне 935–950 ‰ и менее выраженный, на уровне 910–880 ‰. Главная примесь – серебро, количество которого варьирует от 3 до 8 ‰. Наиболее стабильной примесью золота является Cu в количестве от 0,01 до 1 ‰, а также Te (0,02–0,11 ‰) и Bi (0,01–0,15 ‰). Кроме того, в отдельных зёрнах определены

примеси Sb, Pt, Pd. Часто золото встречается в виде правильных форм, что может указывать на условия свободного роста, наличие которых может зависеть от различных факторов. К ним относятся, например, высокая степень деформации вмещающих пород и жильного кварца, разгрузка рудоносных растворов при заполнении трещин отрыва, отложение золота в пустотах выщелачивания.

Детальное исследование представительной коллекции самородного золота Кизасского участка позволило сделать вывод о наличии золота двух генераций. Мельчайшие частицы золота размером 0,05–0,15 мм образуют эмульсионную вкрапленность в пирите (золото-I). Золото более поздней генерации (золото-II) формирует более крупные частицы в трещинках в пирите и на его поверхности, в составе серицит-кварцевого агрегата с гидроокислами железа по анкериту и в кварце.

Пробность изученного золота-I варьирует в диапазоне от 936,9 до 949,0 ‰, в среднем 942,3 ‰. Главная примесь – Ag, в меньшей степени – Cu (среднее содержание 0,07 ‰). Более редкие и спорадические примеси, макси-

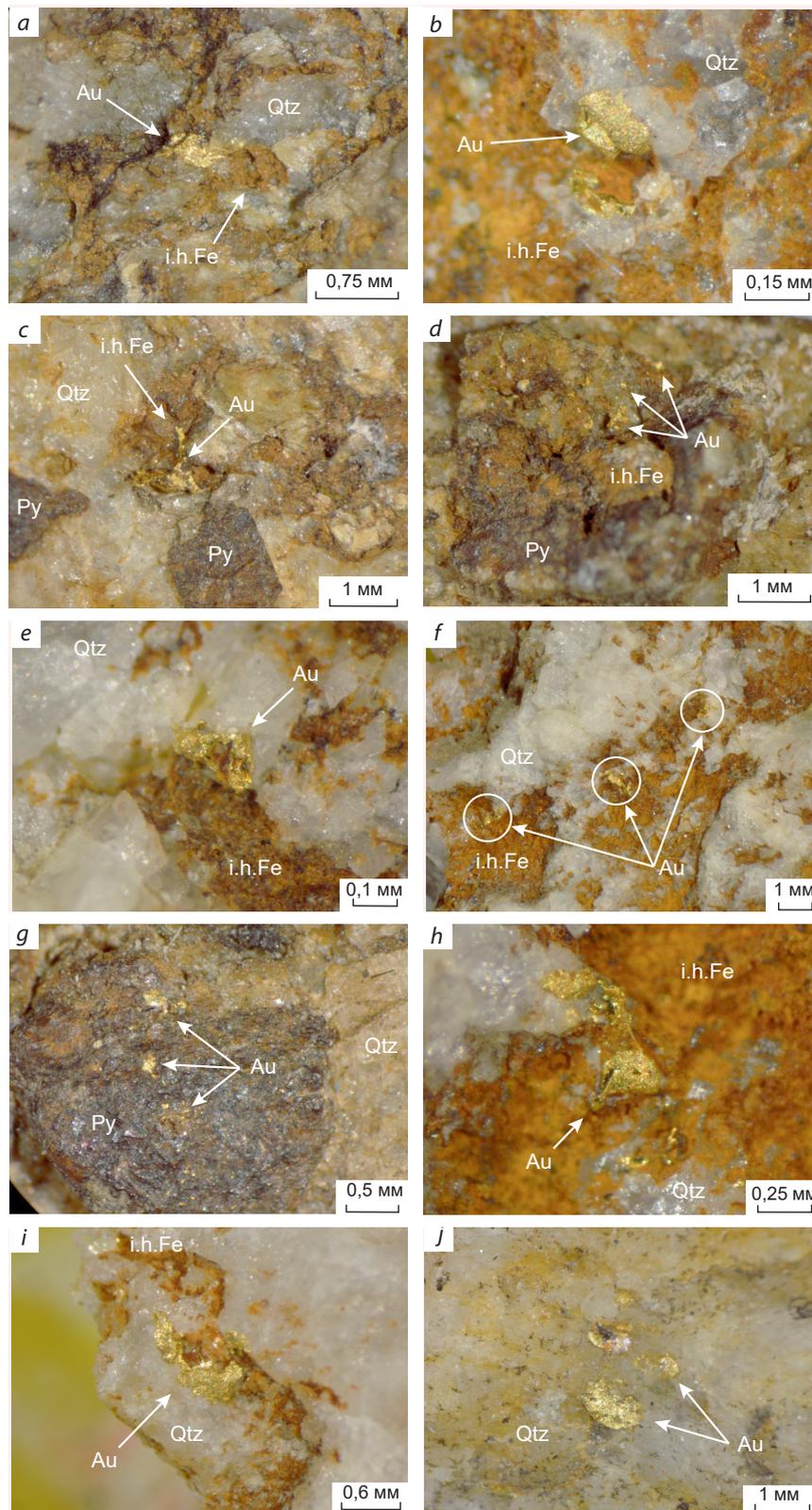




Рис. 7. Морфология самородного золота:

a – комковидно-удлиненная частица самородного золота в кварце в тесной ассоциации с гидроокислами железа по Fe-карбонату; *b* – комковидная (?) частица самородного золота с матовой, мелкоямчатой поверхностью и частица с отпечатками граней выщелоченного Fe-карбоната; *c* – интерстициальная частица самородного золота в кварце в тесной ассоциации с гидроокислами железа по Fe-карбонату; *d* – частицы самородного золота размером до 0,1 мм в серицит-кварцевом агрегате с гидроокислами железа по Fe-карбонату в поверхности трещины в окисленном кубическом пирите; *e* – комковидно-ячеистая удлиненная частица золота; *f* – интерстициальные частицы золота; *g* – эмульсионная вкрапленность золота в окисленном пирите; *h* – комковидно-ячеистая удлиненная частица золота с отпечатком граней выщелоченного Fe-карбоната; *i* – золото трещинно-прожилковой формы в кварце; *j* – частицы золота уплощенной, трещинной формы в кварце на поверхности зальбанда жилы; Qtz – кварц, i.h.Fe – гидроокислы железа; остальные усл. обозн. см. рис 6

Fig. 7. Morphology of native gold:

a – a lumpy-elongated particle of native gold in quartz in spatial association with iron hydroxides after Fe-carbonate; *b* – lumpy (?) particle of native gold with a matte finely pitted surface and a particle with imprints of faces of leached Fe-carbonate; *c* – an interstitial particle of native gold in quartz in association with iron hydroxides after Fe-carbonate; *d* – particles of native gold up to 0.1 mm in size in a sericite-quartz aggregate with iron hydroxides on Fe-carbonate inside the crack in oxidized cubic pyrite; *e* – lumpy-cellular elongated gold particle; *f* – interstitial gold particles; *g* – emulsion dissemination of gold in oxidized pyrite; *h* – a lumpy-cellular elongated gold particle with an imprint of faces of leached Fe-carbonate; *i* – a fissure-veinlet gold in quartz; *j* – flattened fractured gold particles in quartz on the surface of the vein selvage; Qtz - quartz, i.h.Fe, iron hydroxides; other conv. designation see fig. 6

мальные содержания которых обычно не превышают первых 0,0n %, – Bi, Te, Sb, Zn, Pt, As. Суммарная доля примесей в среднем составляет 0,15 %.

Чаще встречается золото более поздней генерации (золото-II), представленное преимущественно частицами неправильной формы – комковидные, комковидно-ячеистые, комковидно-интерстициальные и др. (см. рис. 7). Характер поверхности разнообразный – от мелкоямчатой («матовой», «шагреновой») до мелкобугорчатой, ячеистой, довольно часто фиксируются гладкие ровные поверхности, углубления правильной формы с ярким блеском (см. рис. 7). Иногда на поверхности золота отмечаются отпечатки граней или поверхностей вмещающих минералов (см. рис. 7). Пробность золота-II варьирует в более широком диапазоне – от 925,6 до 968,4 ‰, в среднем 945,3 ‰. Главная примесь – Ag, основные примеси: Cu (среднее содержание 0,04 %); Bi (0,05 %); Te (0,04 %). Суммарная доля примесей в среднем составляет 0,19 %.

Таким образом, характерной особенностью золота Шаманского узла является стабильное присутствие среди микропримесей Te, Bi, Sb. Это подтверждается и данными электронного микронного анализа (в золоте фиксируются низкие, но стабильные по частоте встречаемости примеси Bi и Te), и высокими коэффициентами корреляции Au с Sb, Te, Bi в кварце по данным пробирно-атомно-абсорбционного анализа.

Изотопно-геохронологические исследования. Работы по $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датированию выполнялись по серициту из пробы-протоочки № 309, отобранной из кварцевой жилы с видимым золотом, пиритом и порошковатыми гидроокислами железа, вероятно, по железистому карбонату (рис. 9). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ геохронологические исследования методом ступенчатого прогрева проводились по методике, описанной в [16].

Минералы для $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопно-геохронологических исследований выделялись с использованием стандартных методик магнит-

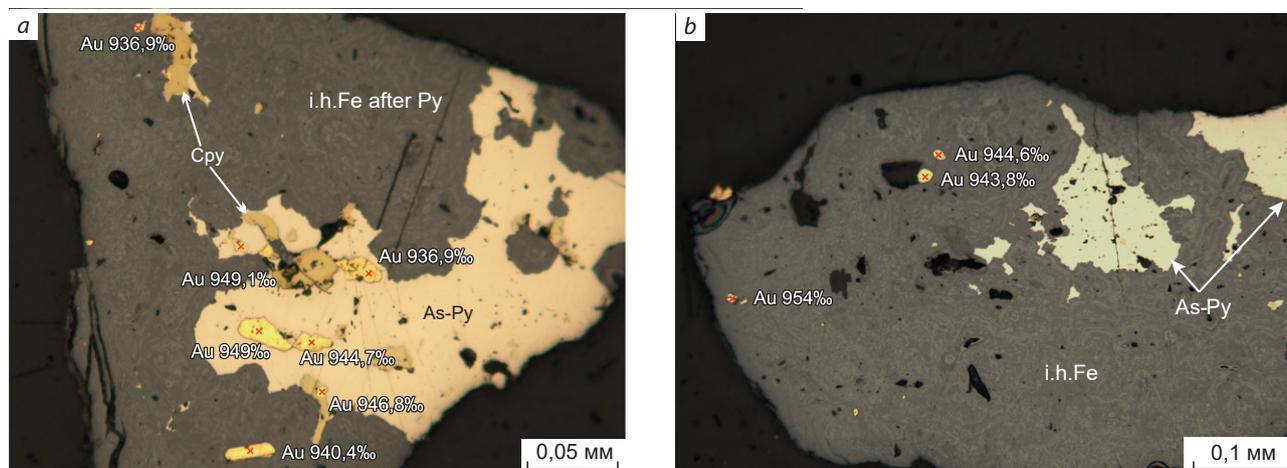


Рис. 8. Характер выделения золота: *a* – эмульсионная вкрапленность золота и включения халькопирита в полуокисленном пирите; *b* – эмульсионная вкрапленность золота в полуокисленном пирите:

Cpy – халькопирит; остальные усл. обозн. см. рис. 6, 7

Fig. 8. Nature of gold segregation: *a* – emulsion disseminated gold and inclusions of chalcopyrite in semi-oxidized pyrite; *b* – emulsion disseminated gold in semi-oxidized pyrite:

Cpy – chalcopyrite; other conv. designation see fig. 6, 7

ной 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 калибровки, 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°C . Градиент нейтронного потока не превышал 0,5 % в размере образца. Эксперименты по ступенчатому прогреву проводились в кварцевом реакторе с печью внеш-

него прогрева. Холостой опыт по ^{40}Ar (10 мин при 1200°C) 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 Micromass UK Ltd (Великобритания) и на многоколлекторном масс-спектрометре Argus фирмы GV-Instruments (Великобритания). 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 графика (рис. 10). Несмотря на некоторую неопределённость в интерпретации, можно сделать вывод о раннекарбонном возрасте серицита из золотоносного кварцевого жилка. На этом возрастном этапе в пределах Алтае-Саянской складчатой области и её центральной части проявлен коллизионный позднедевонско-раннекарбонный этап. Наличие орогенных событий этого возраста в пределах Кизасско-Анзасского района подчёркивается широким развитием разломов, секущих кале-

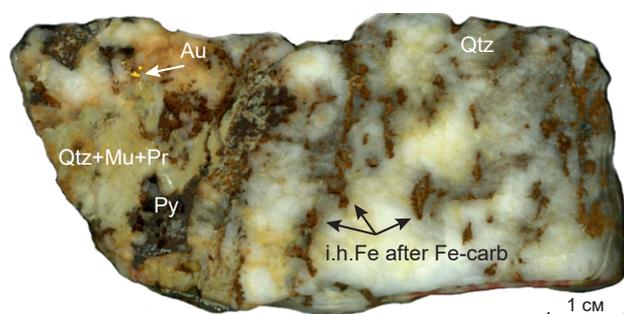


Рис. 9. Самородное золото, окисленный пирит и серицит-парагонитовые обособления в рудном кварце:

Fe-carb – железистый карбонат, Mu – мусковит, Pr – парагонит; остальные усл. обозн. см. рис. 6, 7

Fig. 9. Native gold, oxidized pyrite and sericite-paragonite segregations in ore quartz:

Fe-carb – ferruginous carbonate; Mu – muscovite; Pr – paragonite; other conv. designation see fig. 6, 7

донские складчатые структуры, а также дайками и мелкими массивами козёрского габбро-гранитного комплекса.

Анализ материалов о геологическом строении, россыпной и коренной золотоносности Шаманского узла позволяет выделить два типа золотого оруденения – в золото-сульфидно-кварцевых жилах и пирит-кварц-серицит-анкеритовых метасоматитах, насыщенных золото-сульфидно-кварцевыми жилами и прожилками. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что сами по себе золото-сульфидно-кварцевые жилы, несмотря на широкое распространение и часто высокое содержание золота, не представляют промышленного интереса. Это связано с их небольшой мощностью (обычно 0,1–0,3 м), протяжённостью (обычно первые десятки метров) и их недостаточным для образования месторождений количеством даже на участках интенсивных тектонических деформаций. Распределение золота в жильной массе крайне неравномерное. Концентрация кварцевых жил наблюдается в зонах пересечения тектонических зон различных направлений, преимущественно в песчаниках и туфопесчаниках.

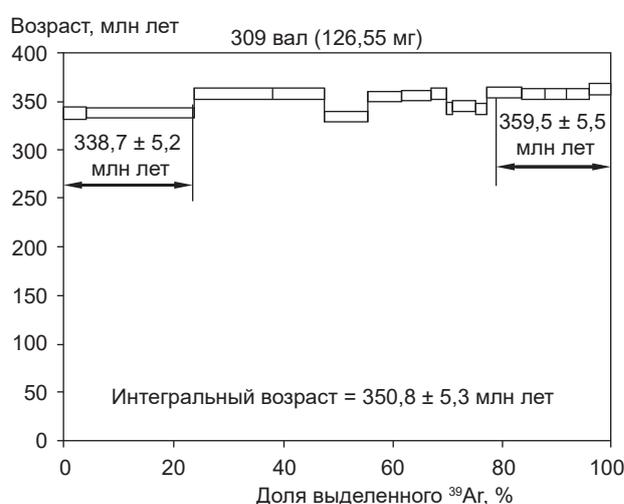


Рис. 10. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопного датирования по серициту из пробы-проточки № 309 (кварцевая жила с видимым золотом, пиритом и лимонитом)

Fig. 10. Results of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic dating of sericite from sample no. 309 (quartz vein with visible gold, pyrite, and limonite)

Основные закономерности локализации и модель формирования золотого и золото-содержащего оруденения Шаманского узла. Минерализованные зоны в метасоматитах пирит-кварц-серицит-анкеритового состава мощностью до 100 м и протяжённостью до 1,5 км, насыщенные прожилками и жилами золото-сульфидно-кварцевого состава представляют собой более перспективный тип золотого оруденения. Содержание золота в метасоматитах составляет, как правило, 0,007–0,1 г/т, иногда до 0,3 г/т. На участках интенсивного окварцевания и сульфидизации метасоматитов содержание золота повышается до 1–5 г/т. В пределах Шаманского узла в метасоматитах установлены рудные зоны мощностью до 20–50 м с содержанием золота 0,5–3 г/т (участки Покосный, Кизасский). В рудных телах такого типа золото находится как в метасоматитах, так и в кварц-сульфидных прожилках.

Закономерности распространения золотого и золотосодержащего оруденения Шаманского узла определяются сочетанием ряда металлогенических факторов. Наиболее важное

значение имеют литолого-стратиграфический и структурно-тектонический факторы. Литолого-стратиграфический фактор выражен отчётливой приуроченностью признаков золотоносности к туфогенно-терригенным породам шаманской свиты, которые, по сути, являлись коллектором для благородных и цветных металлов. Структурно-тектонический фактор выражен локализацией золотой минерализации в зонах складчато-разрывных дислокаций. К линейным зонам расланцевания северо-восточного простирания приурочены протяжённые рудоконтролирующие зоны золотоносных пирит-кварц-серицит-анкеритовых метасоматитов. Концентрация золотого оруденения наблюдается в зонах пересечения разновозрастных разрывных нарушений различных направлений внутри метасоматитов.

На основе имеющихся и вновь полученных геологических, минералогических, изотопно-геохимических и изотопно-геохронологических данных разработана модель, отражающая основные закономерности формирования золотого оруденения Шаманского узла. В развитии золотого оруденения узла выделяются три этапа – раннекембрийский (энсиматический островодужный), позднекембрийско-раннеордовикский (орогенный-1 аккреционно-коллизийный) и девонско-раннекарбонный (орогенный-2 транспрессионно-коллизийный).

Раннекембрийский островодужный этап (541–517 млн лет). Формирование золоторудного потенциала Шаманского узла во многом связано с раннекембрийским энсиматическим островодужным магматизмом. На этом этапе происходило образование вулканогенных комплексов пород с повышенным содержанием рудных элементов Au, Ag, Zn, Pb, Cu, Fe. Об обогащении пород металлами свидетельствуют многочисленные первичные и вторичные геохимические аномалии этих элементов, проявления и пункты минерализации в породах нижне- и верхнемонокской свит. С островодужным магматизмом связано формирование золото-сульфидно-кварцевого типа оруденения в расположенном рядом Анзасском узле и золотосодержащего колчеданно-полиметаллического – в Джарганском (см. рис. 1), сложенных преимущественно раннекембрийскими островодужными вулканогенно-осадочными породами.

Раннекембрийские породы шаманской свиты рассматриваются как рудоматеринский комплекс для последующего развития золотого оруденения Шаманского узла. Предполагается, что их формирование происходило в небольшом осадочном бассейне, в нижних частях склона островной дуги или в межостровной депрессии, сопряжённом с зоной активного вулканизма. Повышенная золотоносность пород связана с близостью к участкам активного примитивного вулканизма, разрушением уже сформированных островодужных вулканитов с повышенным содержанием золота и цветных металлов и гидротермальной деятельностью, связанной с магматизмом. Об этом свидетельствуют повышенное содержание Au в породах шаманской свиты на уровне 0,005–0,02 г/т и площадная приуроченность к ним геохимических аномалий и пунктов минерализации золота. При этом в поле пород шаманской свиты золото распределено неравномерно. Вероятно, на отдельных участках накопления вулканогенно-терригенных осадков, за счёт разрушения высокообогащённых золотом вулканитов, формировались линзы и пласты с содержанием Au на уровне 0,01–0,09 г/т.

Позднекембрийско-раннеордовикский аккреционно-коллизийный (орогенный-1) этап (510–450 млн лет). На орогенном-1 этапе в условиях аккреции островодужной системы с окраиной микроконтинента (континента) произошёл метаморфизм пород шаманской свиты на уровне зеленосланцевой фации и становление линейных складчатых структур в условиях интенсивного сжатия. С поздней стадией данной орогении связано скучивание отдельных блоков, формирование зон расланцевания, кливажа. Именно в этот период образовались наиболее крупные разломы и надвиги северо-восточного простирания. Вероятно, с этим этапом связано возникновение пирит-кварц-серицит-анкеритовых метасоматитов, золотоносных кварцевых жил и прожилков.



Характерно развитие кварцевых жил и прожилков северо-восточного направления и седловидных жил в замках складок внутри зон бурошпатизированных пород. Предполагается, что в это время произошло разрушение пирита, обогащённого золотом, и его высвобождение с перераспределением в метасоматитах и концентрацией в кварцевых прожилках в условиях повышения температуры и давления. Концентрация кварцевых жил в песчаниках и туффитах шаманской свиты связана с их большей хрупкостью по сравнению с алевролитами и сланцами. Содержание золота в кварцевых жилах в значительной степени определяется уровнем золотоносности вмещающих пород шаманской свиты. Максимальная золотоносность наблюдается в тех кварцевых жилах, которые по зонам складчато-разрывных деформаций локализируются в бурошпатизированных метасоматитах среди изначально обогащённых золотом пород.

Девонско-раннекарбонный транспрессионно-коллизийный (орогенный-2) этап (380–345 млн лет). Финальный этап формирования рудной золотоносности Шаманского узла связан с орогенезом на уровне позднего девона – раннего карбона. Тогда происходила коллизия Казахстанско-Байкальского и Сибирского континентов со становлением Чарышско-Теректинско-Улаганско-Саянской сутурно-сдвиговой зоны [3]. Деформации пород Шаманского узла вызваны сдвиговыми движениями вдоль Северо-Саянского регионального разлома. С этим этапом в пределах рудного узла связано образование системы разломов северо-северо-западного простирания, секущих к структурам северо-восточного направления раннеорогенного этапа. На позднедевонско-раннекарбонном этапе происходили повторный локальный метаморфизм с диафторезом и возникновение вдоль крупных сдвигов даек основного состава и мелких тел гранитоидов козёрского комплекса.

В этот период вдоль зон трещиноватости и разломов северо-северо-западного простирания формировались кварцевые жилы, которые также являются золотоносными на тех участках, где пересекают породы ранее обога-

щённые золотом, – золотоносные терригенные породы шаманской свиты, пирит-кварц-серцит-анкеритовые метасоматиты и участки с кварцевыми прожилками, образовавшимися на раннем орогенном этапе.

Таким образом, результаты проведённых исследований указывают на определяющую роль метаморфизма и складчато-разрывных деформаций в возникновении золотого оруденения Шаманского узла и подтверждают отнесение последнего к орогенному типу золотых месторождений. О возможной принадлежности некоторых месторождений восточной части Алтае-Саянской складчатой области к орогенному типу отмечалось ранее в работах Н. А. Горячева [5]. Обоснованные этапы развития золотого оруденения Шаманского узла хорошо коррелируются с основными этапами тектоно-магматической [2, 4, 8] и металлогенической эволюции [12] западной части Алтае-Саянской складчатой области. Вывод о схожести золотого оруденения Шаманского узла с типичными орогенными месторождениями требует пересмотра использованных ранее прогнозно-поисковых моделей и методики поисковых работ для всего Кизасско-Анзасского рудного района. Многие неудачи ранее проводимых поисков золотого оруденения в Шаманском узле объясняются тем, что закономерности его формирования учитывались в недостаточной степени.

Закключение. Шаманский золоторудно-россыпной узел расположен в центральной части Кизасско-Анзасского полиметаллически-железо-золоторудно-россыпного района. В пределах рудного района Шаманский узел приурочен к зоне максимальных складчато-разрывных деформаций пород шаманской свиты и имеет сложное складчато-блоковое строение. Выделяются системы разломов северо-восточного и северо-северо-западного направлений, к которым приурочены зоны метасоматитов и интенсивного жильно-прожилкового окварцевания.

Анализ признаков золотоносности позволил выделить два типа золото-сульфидно-кварцевого оруденения – в разнонаправленных жилах нескольких генераций и в зонах

пирит-кварц-серицит-анкеритовых метасоматитов, насыщенных золото-сульфидно-кварцевыми прожилками.

Изотопно-геохимические данные свидетельствуют о том, что сера сульфидов, ассоциирующих с золотым оруденением Шаманского узла, имеет гидротермально-осадочное происхождение. При этом по параметрам изотопно-геохимической зональности выявленная на площади золото-сульфидная минерализация в полной мере сопоставима с эталонными месторождениями сухоложского типа. Таким образом, полученные данные подтверждают предположение о связи повышенной золотоносности пород шаманской свиты с конседиментационными гидротермальными системами и их принадлежности к орогенному типу.

В пределах узла в кварцевых жилах и в россыпях часто встречается видимое золото в ассоциации с сульфидами (пирит, халькопирит) и анкеритом. Для золота характерна пробность на уровне 880–950 ‰ и примеси Ag, Cu, Bi и Te. Анализ состава и морфологии золота позволяет предполагать наличие двух его генераций. Пирит в ассоциации с золотом характеризуется повышенным содержанием As.

Изотопно-геохронологическое изучение серицита из золотоносной кварцевой жилы Ag-Ag методом показало возраст на уровне 338,7–359,5 млн лет, что отвечает границе позднего девона и раннего карбона.

Закономерности распространения золотого оруденения Шаманского узла определяются, в первую очередь, литолого-стратиграфическим и структурно-тектоническим металло-

геническими факторами. Породы шаманской свиты являются рудоматеринскими для дальнейшего формирования золотого оруденения. Структурно-тектонический фактор выражен локализацией золотой минерализации в зонах складчато-разрывных дислокаций. К линейным зонам расщепления северо-восточного простирания приурочены протяжённые рудоконтролирующие зоны золотоносных пирит-кварц-серицит-анкеритовых метасоматитов. Концентрация золотого оруденения наблюдается в зонах пересечения разновозрастных разрывных нарушений различных направлений внутри метасоматитов.

На основе анализа комплекса геологических, металлогенических, минералогических, изотопно-геохимических и изотопно-геохронологических данных обоснован вывод о трёхэтапном формировании золотого оруденения Шаманского узла. Первый – раннекембрийский – связан с образованием пород шаманской свиты в энсиматических островодужных условиях и первичным обогащением терригенных осадков золотом. Второй – позднекембрийско-раннеордовикский раннеорогенный – сопряжён с метаморфизмом пород шаманской свиты, их интенсивными складчато-разрывными деформациями, образованием зон расщепления и золотоносных пирит-кварц-серицит-анкеритовых метасоматитов, насыщенных золото-сульфидно-кварцевыми прожилками. К третьему – позднеорогенному этапу – относится девонско-раннекарбоневая деформация пород Шаманского узла, развитие секущих северо-северо-западных разломов и сопряжённых с ними кварцевых жил.

Список литературы

1. Арсентьева И. В., Брысин М. П., Черных А. И., Гвоздева И. А. Перспективы золотоносности Анзас-Кизасской площади (Республика Хакасия) // Сборник тезисов докладов VIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М.: ЦНИГРИ, 2018. – С. 40–41.
2. Бабин Г. А., Шокальский С. П. Основные черты геологического строения Алтае-Саянской складчатой области (тектоническое районирование, стратиграфия, магматизм, история геологического развития) // Геология и минераль-



- но-сырьевые ресурсы Сибири. – 2017. – № 6. – С. 19–37.
3. Буслов М. М. Тектоника и геодинамика Центрально-Азиатского складчатого пояса: роль позднепалеозойских крупноамплитудных сдвигов // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 1. – С. 66–90.
 4. Буслов М. М., Джен Х., Травин А. В. [и др.]. Тектоника и геодинамика Горного Алтая и сопредельных структур Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 10. – С. 1600–1627.
 5. Горячев Н. А. благороднометалльный рудогенез и мантийно-коровое взаимодействие // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 2. – С. 323–332.
 6. Коньшев В. О., Горелов А. Г. Информационно-методические аспекты прогноза крупнообъёмных месторождений с бонанцами золота в золотороссыпных районах Алтае-Саянской провинции // Геоинформатика. – 2016. – № 3. – С. 17–28.
 7. Кряжев С. Г. Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. д-ра геол.-минерал. наук / Кряжев Сергей Гаврилович. – М. : ЦНИГРИ, 2017. – 52 с.
 8. Руднев С. Н., Бабин Г. А., Пономарчук В. А., Травин А. В., Левченков О. А., Макеев А. Ф., Телешев А. Е., Шелепаев Р. А., Плоткина Ю. В. Состав и возрастные рубежи формирования гранитоидов Западного Саяна // Литосфера. – 2009. – № 1. – С. 23–46.
 9. Русинов В. Л., Русинова О. В., Кряжев С. Г., Щегольков Ю. В., Альшеева Э. И., Борисовский С. Е. Околорудный метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе // Геология рудных месторождений. – 2008. – Т. 50, № 1. – С. 1–44.
 10. 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.
 11. Устинов В. И., Гриненко В. А. Прецизионный масс-спектральный метод определения изотопного состава серы. – М. : Недра, 1965. – 96 с.
 12. Черных А. И. Металлогенетические эпохи формирования золотого и золотосодержащего оруденения западной части Алтае-Саянской минерагенической провинции // Тезисы XX научной конференции «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса: от океана к континенту». – Иркутск, 2022. – (В печати).
 13. Черных А. И., Арсентьева И. В., Брысин М. П. Минерально-сырьевая база коренного золота Республики Хакасии – состояние и направления её развития // Отечественная геология. – 2018. – № 2. – С. 12–21.
 14. 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) // Сборник тезисов докладов XI Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 243–246.
 15. Ячевский Л. Геологические наблюдения в районе золотых промыслов по р. Большому Кызасу // Геологические исследования в золотоносных областях Сибири. Енисейский золотоносный район. – СПб., 1909. – Вып. VIII. – С. 1–27.
 16. 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.

References

1. Arsent'eva I. V., Brysin M. P., Chernykh A. I., Gvozdeva I. A. Perspektivy zolotonosnosti Anzas-Kizasskoi ploschadi (Respublika Khakasiya) [Prospects of gold bearing of Anzas-Kizasskaya square (Republic of Khakasia)], *Sbornik tezisov dokladov VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov, otsenki mestorozhdenii almazov, bla-*

- gorodnykh i tsvetnykh metallo*” [Collection of abstracts of the VIII International scientific and practical Conference “Scientific and methodological foundations of forecasting, prospecting, evaluation of deposits of diamonds, precious and non-ferrous metals”], Moscow, TsNIGRI Publ., 2018, pp. 40–41.
2. Babin G. A., Shokal'skii S. P. Osnovnye cherty geologicheskogo stroeniya Altae-Sayanskoi skladchatoi oblasti (tektonicheskoe raionirovanie, stratigrafiya, magmatizm, istoriya geologicheskogo razvitiya) [The main features of the geological structure of the Altai-Sayan folded region (tectonic zoning, stratigraphy, magmatism, history of geological development)], *Geologiya i mineral'no-syr'evyye resursy Sibiri* [Geology and mineral resources of Siberia], 2017, No 6, pp. 19–37. (In Russ.).
 3. Buslov M. M. Tektonika i geodinamika Tsentral'no-Aziatskogo skladchatogo poyasa: rol' pozdne-paleozoiskikh krupnoamplitudnykh sdvigo
 4. Buslov M. M., Dzhen Kh., Travin A. V. [et al.]. Tektonika i geodinamika Gornogo Altaya i sopredel'nykh struktur Altae-Sayanskoi skladchatoi oblasti [Tectonics and geodynamics of the Altai Mountains and adjacent structures of the Altai-Sayan folded region], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2013, V. 54, No 10, pp. 1600–1627. (In Russ.).
 5. Goryachev N. A. Blagorodnometall'nyi rudogenez i mantiino-korovoe vzaimodeistvie [Noble-metal ore genesis and mantle-crustal interaction], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2014, V. 55, No 2, pp. 323–332. (In Russ.).
 6. Konyshv 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 bonants in the gold-bearing areas of the Altai-Sayan province], *Geoinformatika* [Geoinformatics], 2016, No 3, pp. 17–28. (In Russ.).
 7. Kryazhev S. G. Geneticheskie modeli i kriterii prognoza zolotorudnykh mestorozhdenii v uglero-disto-terrigenykh kompleksakh [Genetic models and prediction criteria for gold deposits in carbon-terrigenous complexes: Extended abstract of Doctor's thesis], Moscow, TsNIGRI Publ., 2017, 52 p.
 8. Rudnev S. N., Babin G. A., Ponomarchuk V. A., Travin A. V., Levchenkov O. A., Makeev A. F., Teleshev A. E., Shelepaev R. A., Plotkina Yu. V. Sostav i vozrastnye rubezhi formirovaniya granitoidov Zapadnogo Sayana [Composition and age boundaries of the formation of granitoids of the Western Sayan], *Litosfera* [Lithosphere], 2009, No 1, pp. 23–46. (In Russ.).
 9. Rusinov V. L., Rusinova O. V., Kryazhev S. G., Shchegol'kov Yu. V., Alysheva E. I., Borisovskii S. E. Okolorudnyi metasomatizm terrigenykh uglerodistykh porod v Lenskom zolotorudnom raione [Near-ore metasomatism of terrigenous carbonaceous rocks in the Lena gold ore district], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 2008, V. 50, No 1, pp. 1–44. (In Russ.).
 10. Travin A. V., Yudin D. S., Vladimirov A. G., Khromykh S. V., Volkova N. I., Mekhonoshin A. S., Koltilina T. B. Termokhronologiya Chernorudskoi granulitovoi zony (Ol'khonskii region, Zapadnoe Pribaikal'e) [Thermochronology of the Chernorud granulite zone (Olkhon region, Western Baikal region)], *Geokhimiya* [Geochemistry], 2009, No 11, pp. 1181–1199. (In Russ.).
 11. Ustinov V. I., Grinenko V. A. Pretsizionnyi mass-spektral'nyi metod opredeleniya izotopnogo sostava sery [Precision mass-spectral method for determining the isotopic composition of sulfur], Moscow, Nedra Publ., 1965, 96 p.
 12. Chernykh A. I. Metallogenicheskie epokhi formirovaniya zolotogo i zolotosoderzhashchego orudneniya zapadnoi chasti Altae-Sayanskoi mineragenicheskoi provintsii [Metallogenic epochs of the formation of gold and gold-bearing mineralization of the western part of the Altai-Sayan minerogenic province], *Tezisy XX nauchnoi konferentsii “Geodinamicheskaya evolyutsiya litosfery Tsentral'no-Aziatskogo podvizhnogo poyasa: ot okeana k kontinentu”* [Abstracts of the XX scientific conference “Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt: from the ocean to the continent”], Irkutsk, 2022. (In print).
 13. Chernykh A. I., Arsent'eva I. V., Brysin M. P. Mineral'no-syr'evaya baza koren'nogo zolota Respubliki Khakasii – sostoyanie i napravleniya ee razvitiya [Mineral resource base of indigenous gold of the



Republic of Khakassia – state and directions of its development], *Otechestvennaya geologiya [National Geology]*, 2018, No 2, pp. 12–21. (In Russ.).

14. Chernykh A. I., Okulov A. V., Arsent'eva I. V., Kryazhev S. G., Pozdnyakova N. N. Zolotonosnost' Shamanского rudnogo uzla Kizas-Anzasskogo rudnogo raiona (Respublika Khakassiya) [Gold content of the Shaman ore node of the Kizas-Anzassky ore district (Republic of Khakassia)], *Sbornik tezisov dokladov XI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov, otsenki mestorozhdenii almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov"* [Collection of abstracts of the XI International scientific and practical Conference "Scientific and methodological

foundations of forecasting, prospecting, evaluation of diamond deposits, precious and non-ferrous metals"], Moscow, TsNIGRI Publ., 2022, pp. 243–246. (In Russ.).

15. Yachevskii L. Geologicheskie nablyudeniya v raione zolotykh promyslov po r. Bol'shomu Kyzasu [Geological observations in the area of non-gold mines along the Bolshoy Kyzas River], *Geologicheskie issledovaniya v zolotonosnykh oblastyakh Sibiri. Eniseiskii zolotonosnyi raion [Geological research in the gold-bearing regions of Siberia. Yenisei gold-bearing area]*, Saint-Petersburg, 1909, V. VIII, pp. 1–27.
16. Baksi A. K., Archibald D. A., Farrar E. Intercalibration of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating standarts, *Chemical Geology*, 1996, V. 129, pp. 307–324.

Авторы

Черных Александр Иванович

кандидат геолого-минералогических наук
генеральный директор ЦНИГРИ
chernykh@tsnigri.ru

Окулов Алексей Вячеславович

кандидат геолого-минералогических наук
заместитель начальника отдела
okulov@tsnigri.ru

Кряжев Сергей Гаврилович

доктор геолого-минералогических наук
начальник отдела
kryazhev@tsnigri.ru

Арсентьева Ирина Викторовна

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
arsenteva@tsnigri.ru

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт цветных
и благородных металлов»,
г. Москва, Россия

Authors

Alexander I. Chernykh

PhD in Geology and Mineralogy
Director General of TsNIGRI
chernykh@tsnigri.ru

Alexey V. Okulov

PhD in Geology and Mineralogy
Deputy Head of Department
okulov@tsnigri.ru

Кряжев Сергей Гаврилович

D. Sc. in Geology and Mineralogy
Head of Department
kryazhev@tsnigri.ru

Арсентьева Ирина Викторовна

PhD in Geology and Mineralogy
Senior Researcher
arsenteva@tsnigri.ru

FSBI "Central Research Institute
of Geological Prospecting
for Base and Precious Metals",
Moscow, Russia