

УДК 553.2:549.283(571.52)

DOI: 10.24930/2500-302X-2025-25-3-619-632

Золотосульфидно-кварцевое рудопроявление Булан Макаровского рудного узла (Западный Саян, Россия): минералого-геохимические особенности, РТ условия образования и источники флюидов

Н. Н. Анкушева¹, Р. В. Кужугет², М. М. Баланай²

¹ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, 456317, г. Миасс, Ильменский заповедник, e-mail: ankusheva@mail.ru

²Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, ул. Интернациональная, 117а, 667007, г. Кызыл, e-mail: rkuzhuget@mail.ru

Поступила в редакцию 07.06.2024 г., принята к печати 06.11.2024 г.

Объект исследований. Минералого-геохимические особенности и термобарогеохимические условия образования золотосульфидно-кварцевого рудопроявления Булан Макаровского рудного узла в отрогах Западного Саяна. **Методы.** С помощью термокамеры Linkam TMS-600 и оптического микроскопа Olympus BX 51 оценены температуры, солевой состав и концентрации солей по включениям минералообразующего флюида в кварце золотосульфидно-кварцевых жил (ЮУрГУ, г. Миасс, аналитик Н.Н. Анкушева). Химический состав золота определен методом сканирующей электронной микроскопии Hitachi TM-1000 (ТувИКОПР СО РАН, г. Кызыл, аналитик Р.В. Кужугет). **Результаты.** Минералого-геохимическими исследованиями установлено, что в золотосульфидно-кварцевых жилах рудопроявления Булан золото и электрум отлагались с пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, пирротинном и редкими выделениями галенита, блеклой руды, золота и электрума. Результаты изучения условий образования золотосульфидно-кварцевых жил показали, что они отлагались в температурном диапазоне 170–230 °С из слабо- и умеренно соленого (3.5–6.8 мас. % NaCl экв.) магматогенного флюида комплексного K-Na-Mg-Fe-хлоридного состава. Устойчивый интервал солёности флюидов, а также узкий диапазон $\delta^{18}\text{O}$ указывают на единый магматогенный источник и незначительное влияние вмещающих пород и метеорных вод. **Выводы.** Рудопроявление Булан по минералого-геохимическим особенностям и условиям образования сходно с малосульфидными месторождениями золотосульфидно-кварцевой березит-лиственитовой формации.

Ключевые слова: флюидные включения, самородное золото, золотосульфидно-кварцевое рудопроявление, кварц, стабильные изотопы, Тува

Источник финансирования

Полевые и минералого-геохимические исследования выполнены в рамках государственного задания ТувИКОПР СО РАН, термобарогеохимические исследования проведены по госзаданию ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН

Bulan gold-sulfide-quartz ore deposit of the Makarovsky ore cluster (Western Sayan, Russia): Mineralogical and geochemical features, formation conditions, and fluid sources

Natalia N. Ankusheva¹, Renat V. Kuzhuget², Mila M. Balanay²

¹SU FRC MG UB RAS, Ilmensky Reserve, Miass, Chelyabinsk Region 456317, Russia, e-mail: ankusheva@mail.ru

²Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources, SB RAS, 117a Internatsionalnaya st., Kyzyl 667007, Russia, e-mail: rkuzhuget@mail.ru

Received 07.06.2024, accepted 06.11.2024

Research subject. Mineralogical and geochemical features and formation conditions of the Bulan gold-sulfide-quartz ore occurrence of the Makarov ore cluster in the Western Sayan. **Methods.** A Linkam TMS-600 thermostage and Olympus BX 51 optical microscope were used to determine temperatures, compositions, and fluid salinities in inclusions of mineral-

Для цитирования: Анкушева Н.Н., Кужугет Р.В., Баланай М.М. (2025) Золотосульфидно-кварцевое рудопроявление Булан Макаровского рудного узла (Западный Саян, Россия): минералого-геохимические особенности, РТ условия образования и источники флюидов. *Литосфера*, 25(3), 619–632. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-3-619-632>. EDN: FORYQE

For citation: Ankusheva N.N., Kuzhuget R.V., Balanay M.M. (2025) Bulan gold-sulfide-quartz ore deposit of the Makarovsky ore cluster (Western Sayan, Russia): Mineralogical and geochemical features, formation conditions, and fluid sources. *Lithosphere (Russia)*, 25(3), 619–632. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-3-619-632>. EDN: FORYQE

forming fluid in quartz of gold-sulfide-quartz veins (SUSU, Miass, analyst Natalia N. Ankusheva). The chemical composition of gold was determined by SEM Hitachi TM-1000 (TuvIENR SB RAS, Kyzyl, analyst Renat V. Kuzhuget). *Results.* The conducted mineralogical and geochemical studies determined that gold formation at the Bulan ore field was single-stage in the form of gold-sulfide-quartz veins and veins with pyrite, chalcopyrite, arsenopyrite, pyrrhotite, as well as rare isolations of galena, fahlore, gold, and electrum. The results of fluid inclusion study from gold-sulfide-quartz veins showed that they were formed in the temperature range 170–230°C due to a weakly to moderately saline (3.5–6.8 wt % NaCl eq.) magmatic fluid of the K-Na-Mg±Fe-chloride composition. The stable range of fluid salinity and the narrow range of $\delta^{18}\text{O}$ indicate a single magmatic source and insignificant influence of host rocks and meteoric waters. *Conclusions.* According to mineralogical and geochemical features and PT parameters, the Bulan ore occurrence is similar to low-sulfide deposits of gold-sulfide-quartz breccite-listvenite formation.

Keywords: fluid inclusions, native gold, gold-sulfide-quartz ore occurrence, quartz, stable isotopes, Tuva

Funding information

Fieldworks and mineralogical vs geochemical study were carried out in accordance with the State Contract of TuvIENIR SB RAS; fluid inclusion study was supported by the State Contract of SU FRC MG UB RAS

ВВЕДЕНИЕ

Макаровский рудный узел расположен в Ермаковском районе Красноярского края в 20 км к ЮВ от с. Верхнеусинское. Рудный узел приурочен к Куртушибинской металлогенической зоне Западного Саяна и находится в юго-восточном крыле Западно-Саянского антиклинория в зоне крупных разломов (Саяно-Тувинского и Усинского), разделяющих Западно-Саянскую и Тувинскую складчатые системы. Системы этих двух долгоживущих глубинных разломов образовали сложную мелкоблоковую тектоническую структуру района. В пределах рудного узла развиты вулканогенно-осадочный и офиолитовый комплексы верхнего рифея, венда и кембрия, прорванные гранитоидными интрузиями силура и раннего девона. В рудном узле наблюдаются точечные аномалии, геохимические ореолы Au и зоны березит-лиственитовой формации с жильно-прожилковой золотосульфидно-кварцевой минерализацией. В результате поисковых работ (2013–2015 и 2017–2019 гг.) на коренное золотосульфидное оруденение на площади Макаровского рудного узла выделено несколько рудопроявлений, наиболее перспективными из которых являются Булан, Узуп и др. Рудопроявление Булан отнесено к промышленно значимой перспективной рудной залежи. Минерализация на этих рудопроявлениях представлена пиритом, халькопиритом, арсенопиритом и золотом. Содержание Au в

рудных интервалах варьируется от 1.18 до 16.67 г/т.

Золоторудная минерализация Макаровского рудного узла парагенетически связана с гранитоидами джойского комплекса раннего девона. В гранитах наблюдаются гидротермально-метасоматические изменения, отвечающие типичным березитам. По данным (Семенов и др., 2019), породы джойского комплекса характеризуются нормально-умеренной щелочностью (6.64–8.96 мас. %), калиевого, редко калиево-натриевого типов, с преобладанием K_2O (3.3–5.5 мас. %) над Na_2O (2.2–3.3 мас. %) и весьма высокой глиноземистостью. U-Pb возраст по цирконам массивов джойского комплекса площади рудного узла находится в интервале от 415.8 ± 4.1 до 418.9 ± 2.2 млн лет (Семенов и др., 2019).

Целью работы является определение условий образования руд и источников флюидов, сформировавших золотосульфидно-кварцевое рудопроявление Булан.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ

Рудопроявление Булан расположено в районе слияния руч. Булан и Бабушкин с р. Узуп, охватывая р. Бабушкин, среднее и нижнее течение р. Булан и верховья правого безымянного притока р. Синтерба на юго-западе рудопроявления (рис. 1). Протяженность участка рудопроявления составляет 7.5 км при ширине 2 км. В геологическом строе-

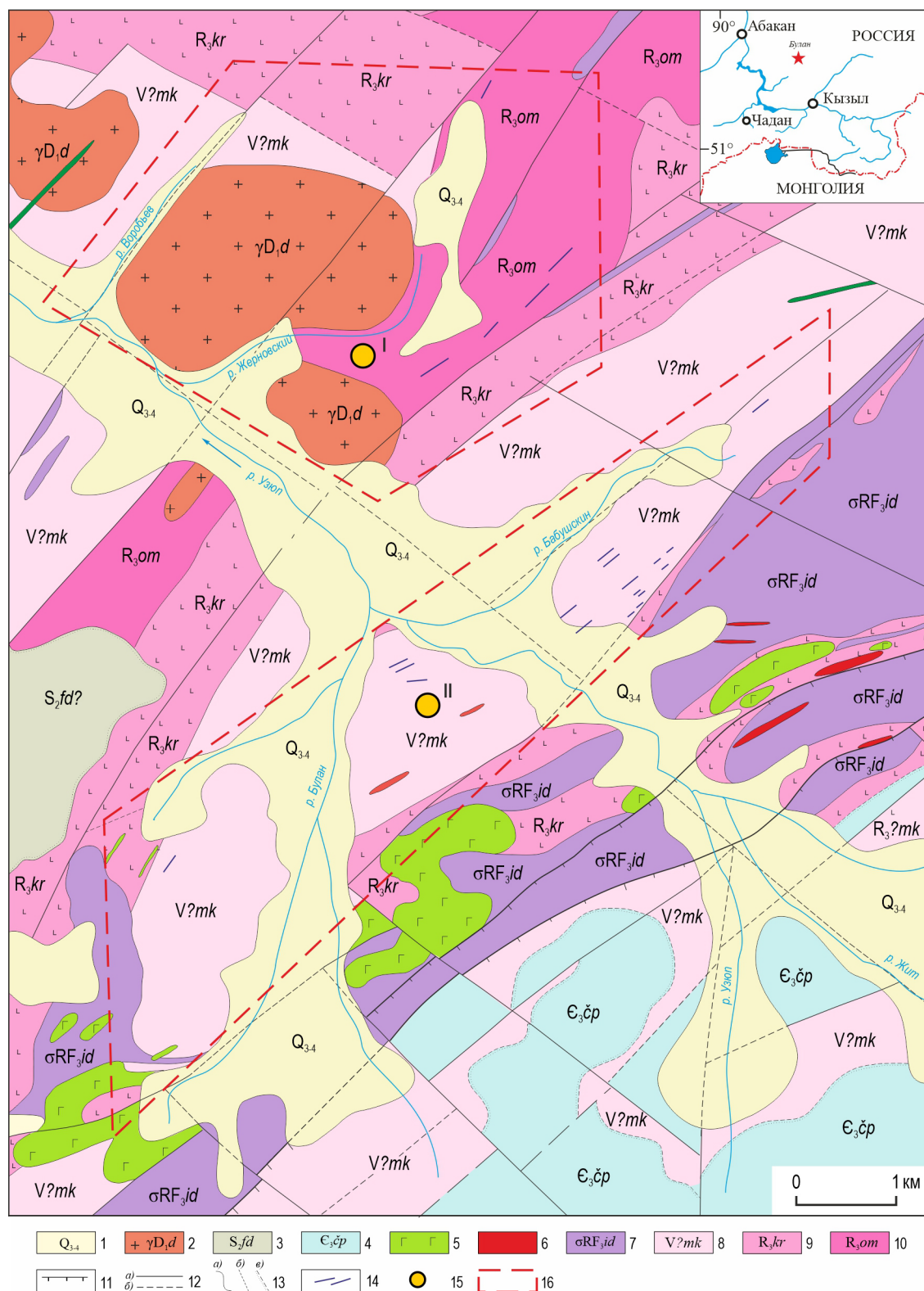


Рис. 1. Схема геологического строения района рудопроявления Булан, по данным (Корнев и др., 2018).

1 – четвертичные отложения (Q_{3.4}); 2 – джойский гранитный комплекс (D_{1d}): граниты, гранит-порфиры, гранодиориты; 3 – федоровская свита (S_{2fd}): песчаники, алевролиты, конгломераты; 4 – чашпинская свита (E_{3čp}): метапесчаники, метаалевролиты с прослоями метаконгломератов и мраморизованных известняков; 5, 6 – орешко-макаровский субвулканический комплекс (V–C_{1or}): 5 – базальтовые порфиры, диорит-порфиры, габбро; 6 – плагиогранит-порфиры;

7 – иджимский габбро-гипербазитовый комплекс (RF₃id): гарцбургиты, дуниты, серпентиниты, габбро и габбро-нориты; 8 – макардовская свита (V[?]mk): metabasalts, metaandesites, metarhyolites, их туфы, серицит-кварцевые сланцы, метапесчаники; 9 – коярдская свита (R₃kr): metasandstones, metatuffs, прослои – потоки рассланцованных metabasalts, пикробазальтов и коматииты; 10 – омульская (орешковская?) свита (R₃om): сероцветные глинисто-кремнистые и углито-глинисто-кремнистые metabasalts, вторичные кварциты; 11 – главные региональные разломы и надвиги; 12 – разрывные нарушения установленные (а), предполагаемые (б); 13 – границы геологические согласные (а), несогласные (б), предполагаемые (в); 14 – рудные жилы; 15 – рудопрооявления и их номера: Узюп (I), Булан (II); 16 – контуры рудопрооявлений.

Fig. 1. Geological scheme of the Bulan ore occurrence according to (Kornev et al., 2018).

1 – Quaternary sediments (Q3-4); 2 – Joya granite complex (D₁d): granites, granite porphyries, and granodiorites; 3 – Fedorov Formation (S₂fd): sandstones, siltstones, and conglomerates; 4 – Chashpin Formation (C₃чр): metasandstones, metasiltsstones with interlayers of metaconglomerates and marbleized limestones; 5, 6 – Oresh-Makarov subvolcanic complex (V-C₁or): 5 – basaltic porphyrites, diorite porphyries, and gabbro; 6 – plagiogranite porphyries; 7 – Ijima gabbro-hyperbasite complex (RF₃id): harzburgites, dunites, serpentinites, gabbro, and gabbro-norites; 8 – Makarov Formation (V[?]mk): metabasalts, metaandesites, metarhyolites, tuffs, sericite-quartz schists, and metasediments; 9 – Koyard Formation (R₃kr): metasandstones, metatuffs, interlayers – flows of stratified metabasalts, picrobasalts and komatiites; 10 – Omulskaya (Oreshkovskaya?) Formation (R₃om): gray-colored clay-siliceous and coal-clay-siliceous schists, and secondary quartzites; 11 – main regional faults and thrusts; 12 – discontinuities: established (a), inferred (b); 13 – geological boundaries: concordant (a), discordant (b), inferred (v); 14 – ore veins; 15 – ore occurrences and their numbers: Uzyup (I), Bulan (II); 16 – contours of ore occurrences.

нии рудопрооявления принимают участие вулканогенно-осадочные породы макардовской (метаморфизованные базальты, сланцы различного состава, кварциты, мраморизованные известняки и доломиты), коярдской (метабазальты, метакоматииты, их туфолавы, кварциты) свит и серпентиниты иджимского габбро-перидотитового комплекса, разбитые разрывными нарушениями северо-восточного и субмеридионального направлений на разновеликие блоки-чешуи. Породы макардовской и коярдской свит и серпентиниты иджимского комплекса прорваны телами габбро, диорит-порфиров и плагиогранит-порфиров орешко-макардовского субвулканического комплекса венда-раннего кембрия (C₃чр) и гранитоидами джойского комплекса раннего девона (см. рис. 1).

Четвертичные отложения широко распространены и представлены элювиально-делювиальными образованиями водоразделов, делювиальными – на склонах, аллювиальными – в долинах рек и ручьев и коллювиальными – у подножий крутых склонов в виде каменных потоков и покровов. Делювиальные отложения развиты по склонам возвышенностей и на водоразделах. Они сложены обломками подстилающих пород, сцементированными песчано-глинистым материалом. Элювиальные отложения покрывают выровненные поверхности водоразделов и представлены дресвяно-щебенистым или грубообломочным и глыбовым материалом. Аллювиальные отложения мощностью до 15–20 м развиты в долине р. Узюп и ее притоков.

Разрывная тектоника северо-восточного направления развита в виде субпараллельных зон. Поперечные разломы северо-западного простирания, по данным геофизических и маршрутных исследований, предопределили блоково-полигональное структурное строение рудопрооявления, кулисообразно сместив отдельные блоки с амплитудой до первых сотен метров (Корнев и др., 2018).

Рудная минерализация прослеживается узкой полосой от устья руч. Булан до его верховий на расстоянии до 4 км при ширине 0.3–0.7 км. Мощность рудных тел составляет от 4 до 14 м при среднем значении 11 м. Прожилковая золотосульфидно-кварцевая минерализация проявлена в метаморфизованных вулканитах среднекислого состава, кварцитовидных породах и переслаивающихся с ними базальтах и коматиитах и их интенсивно метаморфизованных разностях (серицит-кварцевые сланцы и вторичные кварциты). Совместно с золотосульфидно-кварцевой минерализацией и жильно-прожилковыми образованиями наблюдаются зоны лиственизации и березитизации.

Кварц в жилах и прожилках светло-серый, до белого, матовый, редко до полупрозрачного, с гнездами и охрами бурого лимонита (до 1–3 %) и выделениями карбоната (5–15 %) по трещинам. Среднее содержание Au в рудах составляет 5.77 г/т (максимальное – 16.01 г/т) (Семенов и др., 2019).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Образцы для исследований отобраны с поверхности рудопрооявления из естественных горных обнажений и геологоразведочных канав. Для определения минерального состава, текстурно-структурных особенностей руд и гидротермально измененных пород и взаимоотношений минералов полированные шлифы и аншлифы изучены на микроскопах Olympus BX41 и ПОЛАМ П-213М в ТуВИКОПР СО РАН (г. Кызыл).

Химический состав золота определен в ТуВИКОПР СО РАН (г. Кызыл, аналитик Р.В. Кужугет) на сканирующем электронном микроскопе Hitachi TM-1000 с ЭДС Bruker Quantax EDS (Германия). Для характеристики самородного золота использована следующая градация: весьма высокопробное – 1000–950‰, высокопробное –

Минералы	Гидротермальный золотосульфидно-кварцевый этап			Гипергенный этап
	Березитовая стадия	Золотосульфидно-кварцевая стадия	Хлорит-кварцевая стадия	
Кварц				
Анкерит				
Кальцит				
Сидерит				
Альбит				
Серицит				
Пирит				
Халькопирит				
Арсенопирит				
Галенит				
Пирротин				
Блеклая руда				
Золото				
Электрум				
Акантит				
Хлорит				
Ковеллин				
Халькозин				
Церуссит				
Малахит				
Азурит				
Гётит				
Гематит				

Рис. 2. Схема последовательности минералообразования рудопроявления Булан.

Fig. 2. The sequence of mineralization of the Bulan ore occurrence.

950–900‰, среднепробное – 900–800‰, низкопробное – 800–700‰, электрум – 700–300‰. Пробность самородного золота определялась в промилле (‰) по формуле $Au/(Au + Ag + Hg) \times 1000\%$.

Термометрические исследования флюидных включений в кварце проведены в термокамере Linkam TMS-600 с программным пакетом Linkam System 32 DV-NC и оптическим микроскопом Olympus BX51 (г. Миасс, аналитик Н.Н. Анкушева). Температуры эвтектики флюидных включений интерпретированы с использованием (Борисенко, 1982; Davis et al., 1990). Концентрации солей в растворах включений определены по финальным температурам плавления льда во включениях (Bodnar, Vityk, 1994). Температуры гомогенизации включений приняты за минимальные температуры процесса минералообразования (Реддер, 1978). Обработка результатов измерений выполнена в программе Statistica.

Изотопный состав кислорода в кварце определен в АЦ “Геоспектр” ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ, аналитик В.Ф. Посохов) на газовом масс-спектрометре FINNIGAN MAT 253 с использованием двойной

системы напуска в классическом варианте (стандарт-образец). Значения $\delta^{18}O$ приведены в промилле (‰) относительно стандарта SMOW.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД И ЗОЛОТА

Минеральный состав руд рудопроявления Булан относительно простой и представлен кварцем, пиритом, реже пирротин, халькопиритом, арсенопиритом, хлоритом, кальцитом, анкеритом, редко отмечаются золото, электрум, галенит и блеклая руда.

Минералого-геохимическими исследованиями установлены три стадии минерализации: березитовая (кварц, пирит, серицит, альбит, кальцит, анкерит, сидерит); золотосульфидно-кварцевая (кварц, пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, золото, электрум, галенит и блеклая руда) и хлорит-кварцевая. В зоне окисления отмечаются лимонит, малахит, азурит и ковеллин, который образует тонкую кайму (до 1 мкм), облекая зерна халькопирита, расположенные внутри пирита (рис. 2).

На рудопроявлении выделены березиты, кремнисто-кварцевые породы и вторичные кварци-

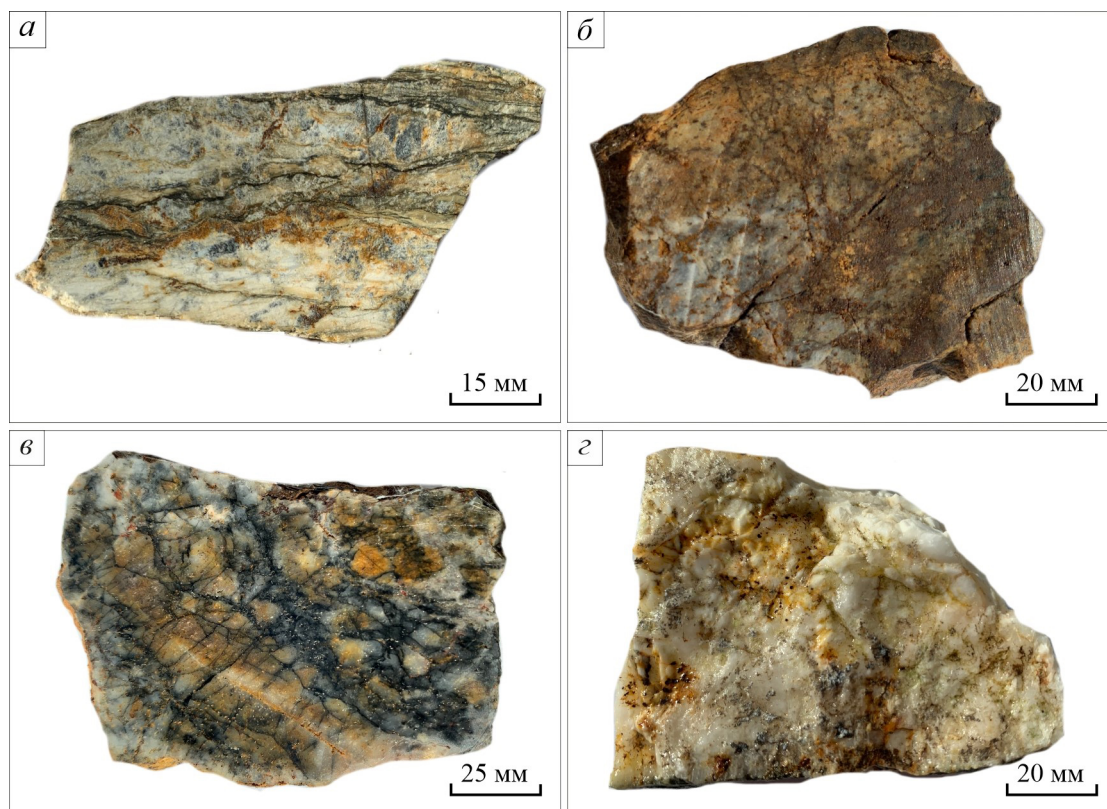


Рис. 3. Руды рудопроявления Булан.

а – березит по серицит-кварцевым сланцам, б – березит по риолиту, в – кремнисто-кварцевая порода с золотосульфидно-кварцевыми прожилками, г – золотосульфидно-кварцевая жила с лимонитом по пириту.

Fig. 3. Ores of the Bulan ore occurrence.

а – berezite after sericite-quartz schists, б – berezite after rhyolite, в – siliceous-quartz rock with gold-sulfide-quartz veins, г – gold-sulfide-quartz vein with limonite on pyrite.

ты с золотосульфидно-кварцевыми штокверковыми прожилками. Березиты на рудопроявлении образованы по риолитам, серицит-кварцевым сланцам и метаморфизованным песчаникам макаровской свиты (*V^{mk}*) и по составу отвечают типичным березитам с пиритом, кварцем, серицитом и железистым карбонатом (рис. 3). Среднее содержание кварца составляет 50%, серицита – 35%, карбоната – 10%, пирита $\leq 5\%$. Содержания рудных минералов в вышеуказанных породах и жилах практически идентичны.

Текстуры руд в прожилках вкрапленные, реже прожилково-вкрапленные, ориентированно-вкрапленные, линзовидные и реже слоистые. Они представлены обогащенными зонами, ориентированными согласно слоистости вмещающих осадочно-вулканогенных пород. Структуры руд разнообразны: аллотриоморфнозернистая, идиоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая, комковатая, реликтовая и катакlastическая. В них нередко устанавливаются реликты структур метавулканитов:

бластопорфировая, литокристаллокластическая, бластофелизитовая, бластоофитовая. Нередко зерна золота в ассоциации с сульфидами концентрируются в цементе туфов и туфобрекчий, представленном тонкой смесью серицит-кварцевого состава.

Пирит образует вкрапленность мелких рассеянных одиночных зерен или их обособлений, вытянутых в виде сплошных цепочек вдоль слоистости пород. Часть зерен идиоморфна и представлена кубическими кристаллами, содержащими включения нерудных минералов, реже халькопирита, галенита, пирротина и самородного золота. Размеры кристаллов пирита достигают 0.30×5.0 мм и больше.

Халькопирит незначительно распространен и встречен в виде редких мелких ксеноморфных зерен. В зоне окисления он замещен малахитом. Халькопирит тесно ассоциирует с пиритом, располагаясь нередко в интерстициях его агрегатов совместно с галенитом. Халькопирит также наблюдается в виде мелких точечных включений в пи-

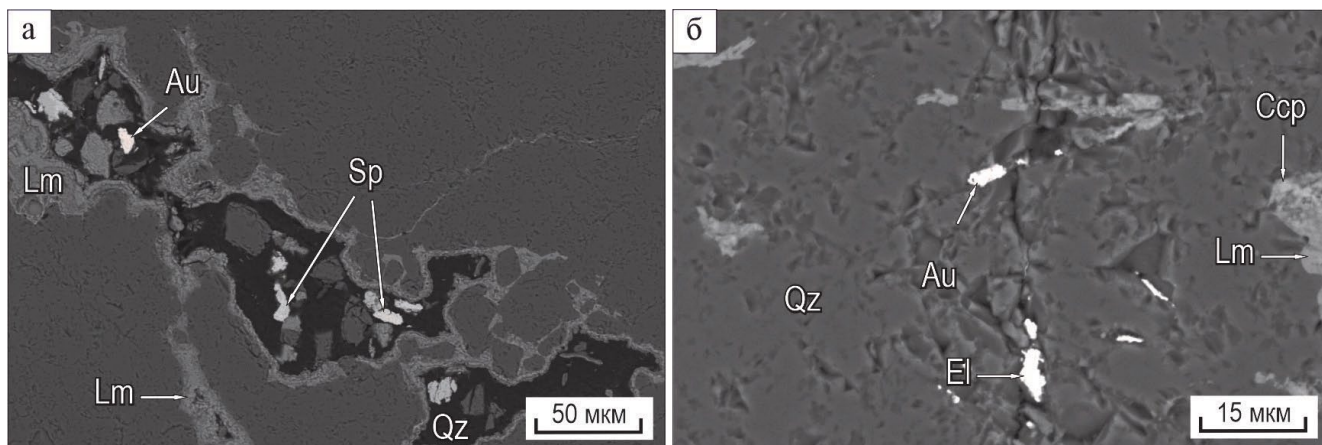


Рис. 4. Взаимоотношение минералов в рудах.

а – кварцевый прожилок (*Qz*) с золотом (*Au*) и сфалеритом (*Sp*) в березите, б – выделения золота (*Au*), электрума (*El*), халькопирита (*Ccp*) и лимонита (*Lm*) в кварце (*Qz*). Снимки в режиме BSE.

Fig. 4. Relationships between minerals in ores.

а – quartz veinlet (*Qz*) with gold (*Au*) and sphalerite (*Sp*) in berezite; б – gold (*Au*), electrum (*El*), chalcopyrite (*Ccp*) and limonite (*Lm*) in quartz (*Qz*). BSE images.

рите. Размеры зерен небольшие: от очень мелких (первые микрометры) до 0.035–0.050 мм, в агрегатах – до 0.2 мм.

Пирротин встречается в виде микронных включений совместно с халькопиритом и в единичных зернах пирита. Реже минерал наблюдается в виде вкрапленности очень мелких зерен во вмещающих породах.

Галенит встречается в виде мелких (до 0.010–0.035 мм) единичных зерен в породе и в составе пирита, совместно с халькопиритом.

Блеклая руда установлена редко, в виде тонких кайм, нарастающих на зерна халькопирита.

Выделения самородного золота представлены мелкими зернами (от первых микрометров до 0.2 мм) трещинно-прожилковых, комковато-ветвистых, идиоморфных форм и слабоограниченных кристаллов золота (рис. 4, 5). Поверхность зерен преимущественно шагреневая, мелкоямчатая, ямчато-бугорчатая, иногда ровная (см. рис. 2). Включения зерен золота в пирите имеют линзовидную или округлую форму. Установлена частая приуроченность зерен самородного золота к зернам и агрегатам пирита кубической формы. Отмечается золото в виде редких и мелких зерен также в кварце и карбонате.

Редкие выделения электрума отмечаются в кварце с золотом и халькопиритом (см. рис. 4б) и представлены мелкими зернами (до 10 мкм) трещинно-прожилковых форм. Минералого-геохимическими исследованиями установлено, что золото в образцах (см. рис. 4) и протолочной пробы (см. рис. 5) представлено:

- 1) весьма высокопробным золотом (*Au* 95.49, *Ag* 4.30),
- 2) высокопробным золотом (*Au* 91.57–92.10, *Ag* 7.54–7.84),
- 3) золотом средней пробы (*Au* 82.65–89.14, *Ag* 10.82–17.01),
- 4) низкопробным золотом (*Au* 73.28–78.17, *Ag* 21.58–25.95),
- 5) электрумом (*Au* 53.36–60.240, *Ag* 39.45–47.61).

Средняя проба золота рудопроявления составляет 809‰ при вариациях от 524 до 957‰. Содержание *Ag* в минералах ряда *Au-Ag* отмечается до 47.61 мас. %, содержания *Hg* и *Cu* ниже пределов обнаружения (табл. 1, см. рис. 2).

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЗОЛОТОСУЛЬФИДНО-КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ

Для определения *PT* параметров минералообразующего флюида золотосульфидно-кварцевых жил методами термометрии проанализированы двухфазные (VL) флюидные включения в кварце рудных жил в микрокварцитах (обр. МК-7), березитизированных риолитах (обр. МК-208) и карбонат-кварцевых жилах (обр. МК-23-1, МК 23-3) в серицит-кварцевых сланцах рудопроявления Булан.

Кварцевые жилы с рудной вкрапленностью состоят из мелко- и среднезернистого кварца с размером зерен от 0.03 до 0.1 мм, редко до 0.2–0.3 мм, единичные зерна достигают 0.7–1.0 мм. Кроме кварца, в жилах встречаются гнезда и фрагменты кристаллов лимонитизированного рудного минерала, судя по сохранившимся граням, кубической

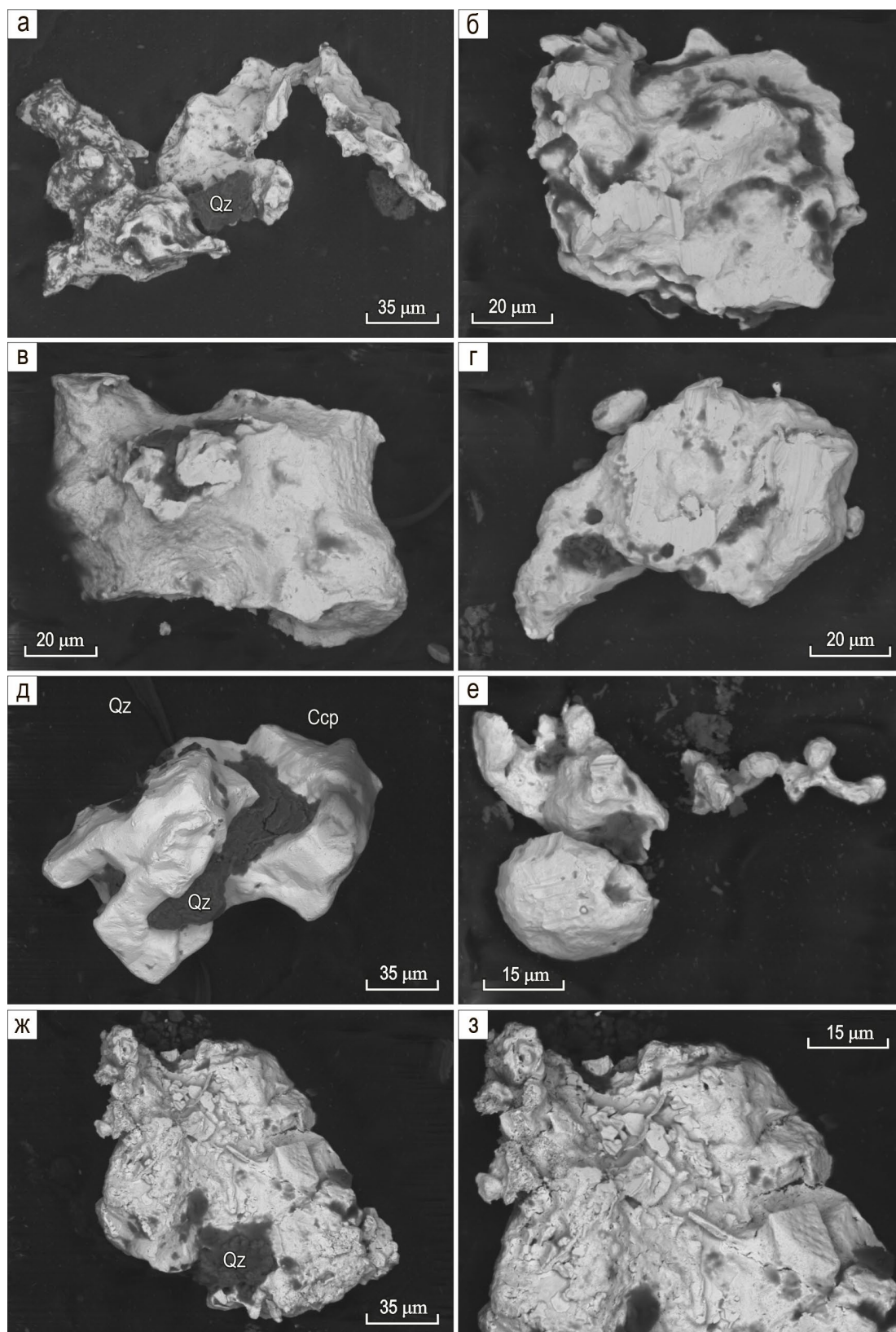


Рис. 5. Формы выделения золота рудопроявления Булан.

а, б – трещинно-прожилковая; в, г – комковато-ветвистая; д, е – слабоограненные кристаллы и их сростки. *Qz* – кварц, *Ccp* – халькопирит. Снимки в режиме BSE.

Fig. 5. Gold of Bulan ore occurrence.

а, б – fracture-veined; в, г – lumpy branched; д, е – weakly faceted crystals and their intergrowths. Qz – quartz, Ccp – chalcopryrite. BSE images.

формы – пирита. По трещинам и границам зерен развиваются гидроксиды Fe, образующие пленки бурого цвета.

В кварце также зафиксированы однофазные газовые и водные включения размером до 2–3 мкм (рис. 6), сингенетичные двухфазным первичным и псевдотрихичным включениям.

Для термометрических исследований использовались одиночные флюидные включения, равномерно распределенные по объему отдельных зерен кварца (см. рис. 6).

Проанализированные включения имеют размеры 10–20 мкм, изометричную форму с элементами кристаллографических граней (типа “отрицательного кристалла”), расположены одиночно, редко группами, в центральных частях зерен кварца.

Согласно работам (Реддер, 1978; Van den Kerkhof, Hein, 2001), такие включения отнесены к первичным и псевдотрихичным. Первичные включения удалены от залеченных трещин и шлейфов вторичных включений. Псевдотрихичные включения тяготеют к трещинам в минерале-хозяине, образовавшемся в процессе его отложения и не выходящем за пределы зерен.

Во флюидных включениях в кварце газовая фаза занимает до 15–20% объема вакуолей. Включения, согласно температурам эвтектики, равным –21...–23 и –33...–37 °С, содержат водно-солевой флюид комплексного Na-K-Mg-Fe хлоридного состава. Соленость флюида, рассчитанная по температурам плавления последних кристаллических фаз, варьируется от 3.4 до 6.8 мас. %, NaCl-экв.

Таблица 1. Химический состав золота рудопроявления Булан, мас. %

Table 1. Chemical composition of Au from Bulan ore occurrence, wt %

№ п.п.	Номер обр.	Au	Ag	Сумма	Кристаллохимическая формула	Пробность
1	МК-7а	95.49	4.30	99.79	(Au _{0.92} Ag _{0.08}) _{1.00}	957
2		92.10	7.54	99.64	(Au _{0.87} Ag _{0.13}) _{1.00}	924
3		91.57	7.84	99.41	(Au _{0.86} Ag _{0.14}) _{1.00}	921
4		89.14	10.82	99.96	(Au _{0.82} Ag _{0.18}) _{1.00}	892
5	МК-208	87.61	11.82	99.43	(Au _{0.80} Ag _{0.20}) _{1.00}	881
6		85.91	13.86	99.77	(Au _{0.77} Ag _{0.23}) _{1.00}	861
7		85.90	14.09	99.99	(Au _{0.77} Ag _{0.23}) _{1.00}	859
8	МК-23-1	84.91	14.96	99.87	(Au _{0.76} Ag _{0.24}) _{1.00}	850
9		82.65	17.01	99.66	(Au _{0.73} Ag _{0.27}) _{1.00}	829
10	МК-7а	82.89	16.92	99.81	(Au _{0.73} Ag _{0.27}) _{1.00}	830
11		78.17	21.58	99.75	(Au _{0.66} Ag _{0.34}) _{1.00}	783
12		76.65	23.17	99.82	(Au _{0.64} Ag _{0.36}) _{1.00}	768
13	МК-7	76.44	23.41	99.85	(Au _{0.64} Ag _{0.36}) _{1.00}	766
14		75.44	24.39	99.83	(Au _{0.63} Ag _{0.37}) _{1.00}	756
15		73.28	25.95	99.23	(Au _{0.61} Ag _{0.39}) _{1.00}	738
16		60.4	39.45	99.85	(Ag _{0.54} Au _{0.45}) _{1.00}	605
17		52.36	47.61	99.97	(Ag _{0.62} Au _{0.38}) _{1.00}	524

Примечание. Содержания Hg и Cu находятся ниже пределов обнаружения прибора. МК-7а – протоочная проба.

Note. The Hg and Cu contents are below the detection limits. МК-7а is a powder sample.

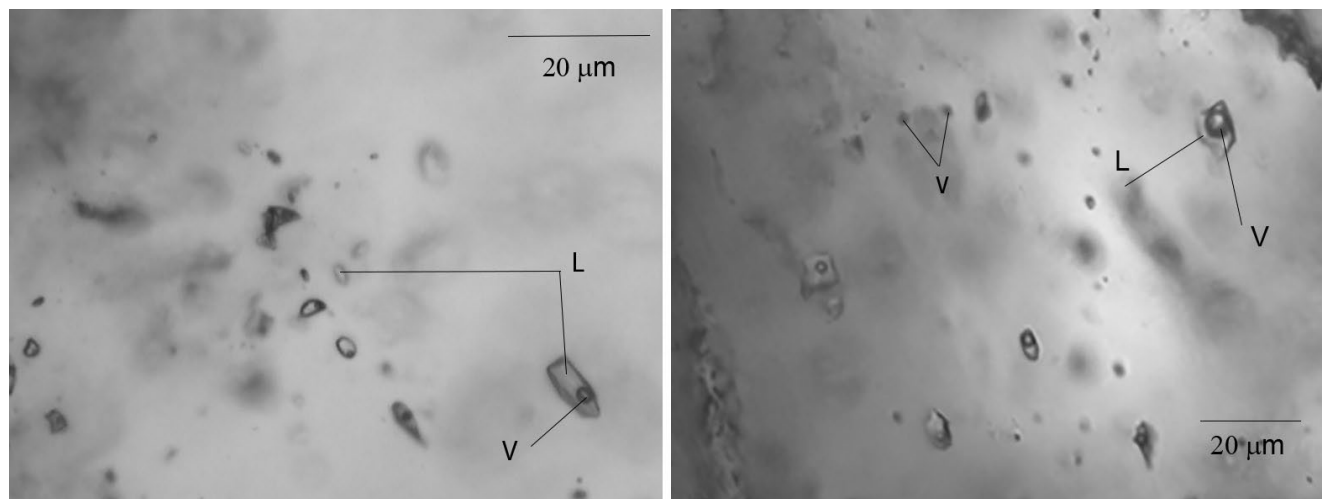


Рис. 6. Флюидные включения в кварце рудопроявления Булан.

V – газовый пузырек, L – жидкость.

Fig. 6. Fluid inclusions in quartz of the Bulan ore occurrence.

V – vapor bubble, L – liquid.

Включения гомогенизировались в жидкую фазу, интервал температур гомогенизации составляет 168–231°C (табл. 2, рис. 7).

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ КИСЛОРОДА

Изотопный состав $\delta^{18}\text{O}$ кварца (обр. МК-23-1, МК 23-3) карбонатно-кварцевых жил, приуроченных к серицит-кварцевым сланцам. Величина $\delta^{18}\text{O}$ кварца изменяется от 17.7 до 19.4‰. Значения $\delta^{18}\text{O}$ флюида, в соответствии с уравнением фракционирования (Zhang et al., 1989; Zheng, 1999) и средними температурами минералообразования, полученными по флюидным включениям, варьирует-

ся от +6.8 до +7.0‰ ($T = 200^\circ\text{C}$), т. е. попадают в область значений, приписываемых флюидам как магматического, так и метаморфического происхождения, но не выходят за пределы поля магматического флюида (табл. 3, рис. 8).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Золотосульфидно-кварцевое оруденение приурочено в основном к метавулканитам среднекислого состава и переслаивающимся с ними эксгалитам, кремнисто-кварцевым породам и вторичным кварцитам и слагает согласные со слоистостью вмещающих отложений пластовые золоти-

Таблица 2. Результаты термометрии флюидных включений в кварце рудопроявления Булан

Table 2. Fluid inclusion data of quartz from Bulan ore occurrence

№ обр.	Тип	Фазовый состав	n	$T_{\text{гом}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{эвт}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пл. льда}}, ^\circ\text{C}$	C, мас. % NaCl-экв.	Солевой состав
МК-7	П, ПВ	VL	35	177–211	–21.2...–23.7	–2...–4	3.4–6.4	NaCl-KCl-H ₂ O
МК-208	П, ПВ	VL	40	168–223	–23...–23.9 –33.5...–37	–1.8...–4	3.1–6.4	NaCl-KCl-MgCl ₂ -H ₂ O
МК-23-1	П, ПВ	VL	31	200–231	–21...–22	–2.2...–4	3.7–6.4	NaCl-KCl-H ₂ O
МК-23-3	П, ПВ	VL	30	181–195	–21...–22	–2.7...–4.2	4.4–6.8	NaCl-KCl-H ₂ O

Примечание. n – количество анализов, $T_{\text{гом}}$ – температура гомогенизации, $T_{\text{эвт}}$ – температура эвтектики, $T_{\text{пл. льда}}$ – температура плавления льда, C – соленость флюида.

Note. n – number of analyzes, $T_{\text{гом}}$ – homogenization temperature, $T_{\text{эвт}}$ – eutectic temperature, $T_{\text{пл. льда}}$ – ice melting temperature, C – fluid salinity.

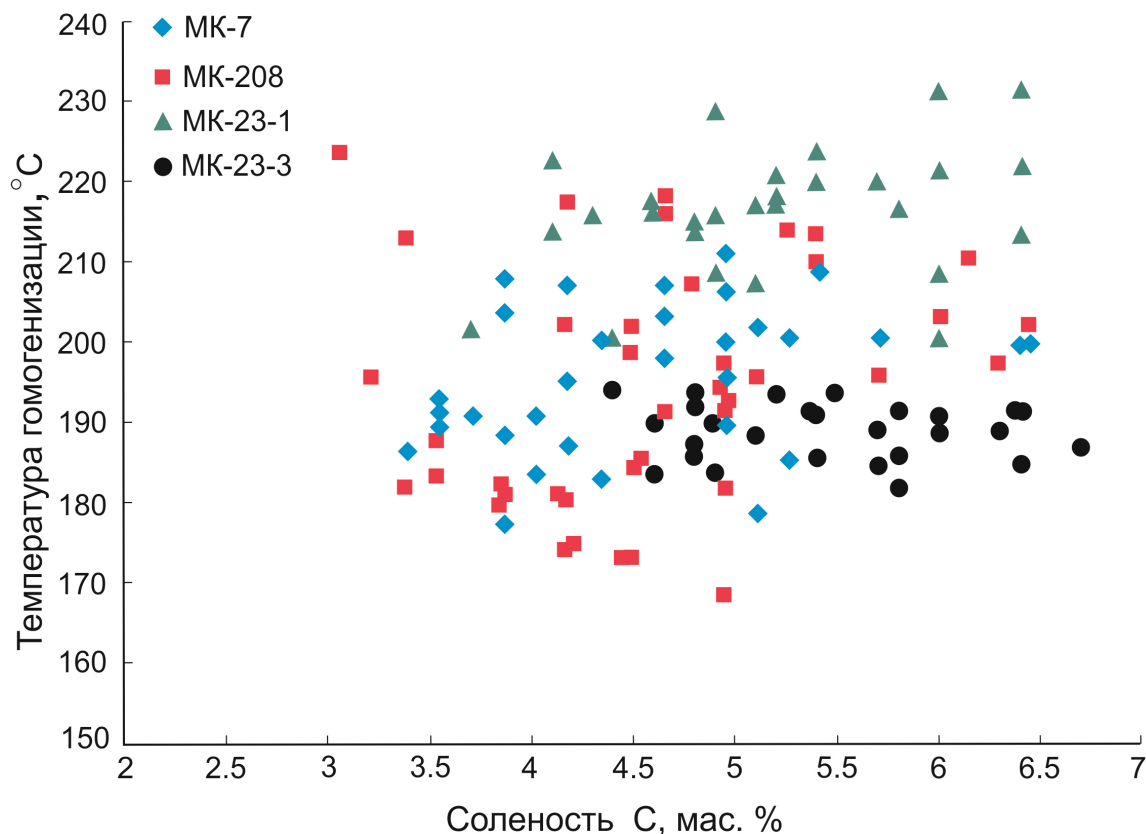


Рис. 7. Диаграмма температур гомогенизации и солености C флюидных включений в кварце рудных жил рудопроявления Булан.

Fig. 7. Plot of homogenization temperatures vs salinity C of fluid inclusions in quartz from the Bulan ore occurrence.

рудные залежи мощностью от 1–2 до 5 м и протяженностью до нескольких сотен метров и первых километров. Высокие содержания золота приурочены к повышенным количествам сульфидов в кварцевых жилах и особенно к обохренным и лимонитизированным их участкам, что является поисковым критерием рудоносности объекта исследования.

Околожилные гидротермальные изменения представлены типичными березитами, образованными по риолитам, кремнисто-кварцевым поро-

дам, серицит-кварцевым сланцам и метапесчаникам. По данным (Belogub et al., 2017; Попов и др., 2017; Артемьев, 2018; Заботина и др., 2018; Мелекесцева и др., 2019), образование березитов по интрузивным (кислым, средним) и осадочным, вулканогенно-осадочным породам характерно для Мечниковского, Ганеевского (Южный Урал) и Кедрового (Забайкалье) месторождений.

Узкое разнообразие рудных минеральных фаз в золотоносных кварцевых жилах предполагает сходные условия минералообразования. Следуя

Таблица 3. Изотопный состав кислорода кварца и сопутствующего флюида рудопроявления Булан

Table 3. Oxygen isotopic composition of quartz and associated fluid of Bulan ore occurrence

№ п.п.	№ обр.	Минерал	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (CDT)	$T_{\text{ср}}$	$\delta^{18}\text{O}$ (H_2O), ‰ (CDT)
1	МК-23-1	Кварц	17.7	220	+6.8
2	МК-23-3		19.4	195	+7.0

Примечание. Анализы изотопов О выполнены в ГИН СО РАН, аналитик В.Ф. Посохов.

Note. Oxygen isotope analyses were performed at GIN SB RAS, analyst V.F. Posokhov.

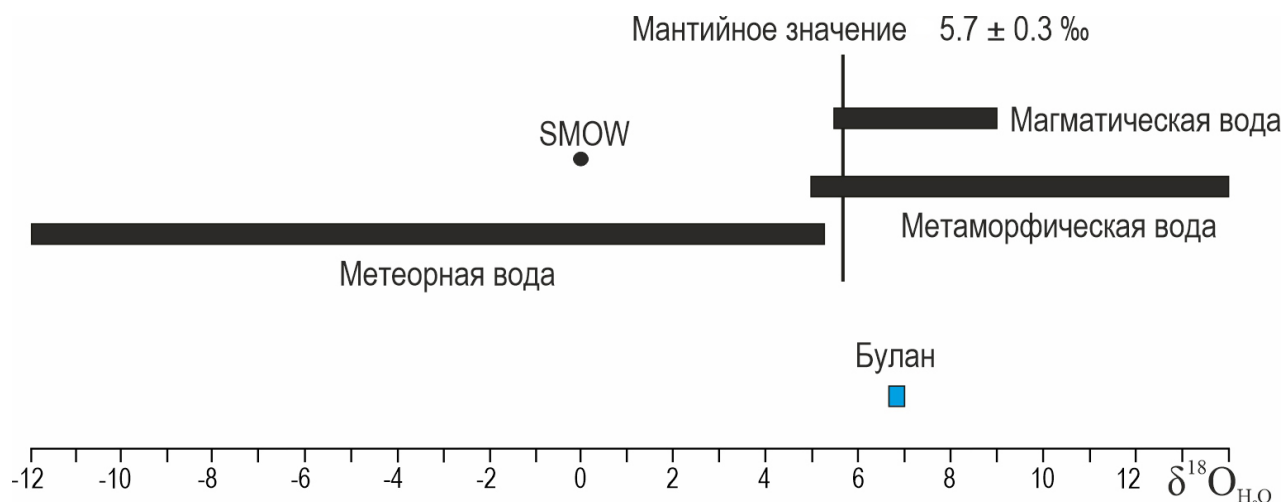


Рис. 8. Изотопный состав кислорода флюида рудных жил рудопоявления Булан.

Fig. 8. Oxygen isotope composition of the fluid of ore veins of the Bulan ore occurrence.

закономерностям распределения и типам сростаний рудных минералов, мы предполагаем одну стадию минералообразования, что подтверждается исследованиями флюидных включений. Для самородного золота рудопоявления Булан характерны широкие вариации пробности (524–957‰), т. е. наблюдается эволюция составов золота от весьма высокопробного до электрума. По данным (Спиридонов, 2010), для месторождений золота гипабиссальной фации ($P \approx 0.3–0.9–1$ кбар, глубина формирования 0.5–3 км) характерны амальгамы Au (Au-Ag) (Кварцитовые Горки, Казахстан). Наши наблюдения на рудопоявлениях золота Тувы гипабиссальной фации глубинности (Тардан-2 $P \approx 0.73–0.98$ кбар, глубина формирования 2.1–3.0 км, вариации пробности золота 201–834‰, среднее 607‰; Хаак-Саир $P \approx 0.5–0.75$ кбар, вариации пробности золота 19–957‰, среднее 701‰) наблюдается аналогичная картина (Кужугет и др., 2019, 2021).

Результаты изучения флюидных включений показали, что золоторудные кварцевые жилы сформировались из слабо- и умеренно соленого (3.4–6.8 мас. % NaCl экв.) водно-хлоридного K-Na-Mg±Fe-содержащего флюида при умеренных температурах (165–230°C). Значения $\delta^{18}\text{O}$ флюида укладываются в узкий диапазон 6.8–7.0‰, относящийся к флюидам магматического происхождения.

Ассоциация однофазных газовых, жидкостных и более концентрированных двухфазных включений свидетельствует о гетерогенизации флюида (Прокофьев и др., 1994), что может быть одной из причин осаждения золота в кварцевых жилах (Bowers, 1991). Таким образом, мы предполагаем магматогенное происхождение рудоносного флюида на исследуемом объекте. Интервалы со-

лености и температур гомогенизации флюидных включений в жильном кварце типичны для жильных золоторудных месторождений (Прокофьев, 2000). Источником рудоносных магматических флюидов могли служить предполагаемые на глубине мелкие интрузии (граниты, гранит-порфиры, гранодиориты) джойского комплекса (D_3). Отметим, что в рудном узле золотое оруденение генетически связано с интрузиями джойского комплекса раннего девона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, золотое оруденение рудопоявления Булан сопряжено с процессами березитизации риолитов и осадочных пород. По минералого-геохимическим особенностям рудопоявление можно отнести к плутогенной березит-лиственитовой золотосульфидно-кварцевой формации. Типоморфные особенности самородного золота (от весьма высокопробного до электрума) и наличие акантита в рудах рудопоявления Булан предполагает образование руд гипабиссальной фации ($P \approx 0.5–1$ кбар, глубина формирования 0.5–3 км), а также указывают на слабозеродированный характер объекта и благоприятные перспективы продолжения оруденения на значительную глубину (от 200 до 500 м). По данным изучения флюидных включений в кварце золотосодержащих жил рудопоявления установлено, что они образовались из магматического водно-солевого флюида Na-K-Mg-Fe хлоридного состава.

Полученные данные могут иметь практическое значение для региональных прогнозно-металлогенических построений, поисков и оценки рудопоявлений и месторождений золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Артемьев Д.С. (2018) Рудоносность гидротермально-метасоматических образований Майского рудного поля (Чукотский автономный округ). Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. СПб., 20 с.
- Борисенко А.С. (1982) Анализ солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии. *Использование методов термобарогеохимии при поисках и изучении рудных месторождений*. (Ред. Н.П. Лаверов). М.: Недра, 37-46.
- Заботина М.В., Анкушева Н.Н., Шанина С.Н., Котляров В.А. (2018) Условия образования Ганеевского золоторудного месторождения, Учалинский рудный район: минералогическая термометрия и изучение флюидных включений. *Минералогия*, **4**, 55-67.
- Корнев Т.Я., Еханин А.Г., Власов А.П. (2018) Геология и золотоносность Куртушибинского зеленокаменного пояса (Западный Саян). Красноярск: ГПМК КНИИГиМС, 244 с.
- Кужугет Р.В., Анкушева Н.Н., Редина А.А., Прокопьев И.Р., Бутанасев Ю.В., Ондар Х.Х. (2019) Состав золота и РТХ-условия образования золото-сульфидно-кварцевого рудопоявления Тардан-2 в березитах (Восточная Тува). *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*, **4**, 89-104.
- Кужугет Р.В., Анкушева Н.Н., Редина А.А., Прокопьев И.Р., Пономарчук А.В. (2021) Золото-сульфидно-кварцевое рудопоявление Хаак-Саир (Западная Тува): возраст, РТ-параметры, состав флюидов, изотопия S, O и C. *Изв. Томск. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов*, **332**(12), 148-163.
- Мелекестцева И.Ю., Зайков В.В., Третьяков Г.А., Филиппова К.А., Котляров В.А. (2019) Геологическое строение и минералогия Мечниковского месторождения золота, Южный Урал. *Литосфера*, **19**(1), 111-138.
- Попов Г.Г., Попов Б.Г., Муратшин Х.Х., Мизиряк Д.Г. (2017) Петрохимическая характеристика магматических горных пород и гидротермально-метасоматических образований Кедровского золоторудного поля. *Разведка и охрана недр*, **9**, 27-32.
- Прокофьев В.Ю. (2000) Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов (по данным исследования флюидных включений). Новосибирск: Наука, 186 с.
- Прокофьев В.Ю., Афанасьева З.Б., Иванова Г.Ф., Буарон М.К., Мариньяк Х. (1994) Исследование флюидных включений в минералах Олимпиадинского Au-(Sb-W) месторождения (Енисейский край). *Геохимия*, **7**, 1012-1029.
- Реддер Э. (1978) Флюидные включения в минералах. Т. 1. М.: Мир, 360 с.
- Семенов М.И., Зорина А.Н., Коляшкин В.М., Качевский Л.К., Кротова Т.А., Александровский Ю.С. (2019) Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:200 000. Изд. 2-е. Сер. Западно-Саянская. Лист N-46-XXXIV (Туран). Объяснит. записка / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ "ВСЕГЕИ", АО "Сибирское ПГО". СПб.: ВСЕГЕИ, 188 с., ил. 13.
- Спиридонов Э.М. (2010) Обзор минералогии золота в ведущих типах Au минерализации. *Золото Кольского полуострова и сопредельных регионов*. Тр. Всеросс. (с междунар. участием) науч. конф., посвящ. 80-летию Кольского НЦ РАН. Апатиты: К&М, 143-171.
- Afifi A.M., Kelly W.C., Essene E.J. (1988) Phase relations among tellurides, sulphides and oxides: I. Thermochemical data and calculated equilibria. *Econ. Geol.*, **83**, 377-404.
- Barton P.B., Skinner B.J. (1979) Sulfide mineral stabilities. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. (Ed. H.L. Barnes). N.Y.: Siley & Sons, 278-403.
- Belogub E.V., Melekestseva I.Yu., Novoselov K.A., Zabolotina M.V., Tret'yakov G.A., Zaykov V.V., Yuminov A.M. (2017) Listvenite-related gold deposits of the South Urals (Russia): a review. *Ore Geol. Rev.*, **85**, 247-270.
- Berzin N.A., Coleman R.G., Dobretsov N.L., Zonen-shain L.P., Xiao Xuchang, Chang E.Z. (1994) Geodynamic map of the western part of Paleoasian Ocean. *Russ. Geol. Geophys.*, **35**, 5-22.
- Berzin N.A., Kungurtsev L.V. (1996) Geodynamic interpretation of Altai-Sayan geological complexes. *Russ. Geol. Geophys.*, **37**, 56-73.
- Bodnar R.J., Vityk M.O. (1994) Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions. *Fluid Inclusions in Minerals: Methods and Applications*. (Eds B. De Vivo, M.L. Frezzotti). Blacksburg: Virginia Tech, 117-130.
- Bowers T.S. (1991) The deposition of gold and other metals. Pressure-induced fluid immiscibility and associated stable isotope signatures. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **55**, 2417-2434. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(91\)90363-A](https://doi.org/10.1016/0016-7037(91)90363-A)
- Davis D.W., Lowenstein T.K., Spenser R.J. (1990) Melting behavior of fluid inclusions in laboratory-grown halite crystals in the systems NaCl-H₂O, NaCl-KCl-H₂O, NaCl-MgCl₂-H₂O, and CaCl₂-NaCl-H₂O. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **54**, 591-601.
- Hoefs J. (2009) Stable Isotope Geochemistry. Berlin; Heidelberg: Springer, 281 s.
- LeFort D., Hanley J., Guillon M. (2011) Subepithermal Au-Pd mineralization associated with an alkalic porphyry Cu-Au deposit, Mount Milligan, Quesnel Terrane, British Columbia, Canada. *Econ. Geol.*, **106**, 781-808.
- Li Y., Liu J. (2006) Calculation of sulfur isotope fractionation in sulfides. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **70**, 1789-1795.
- Ohmoto H. (1986) Stable isotope geochemistry of ore deposits. In: Stable Isotopes in High Temperature Geological Processes. *Rev. Mineral. Geochem.*, **16**, 491-560.
- Ohmoto H., Rye R.O. (1979) Isotopes of Sulfur and Carbon. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. N.Y.: Wiley, 509-567.
- Rudnev S.N., Serov P.A., Kiseleva V.Yu. (2015) Vendian – Early Paleozoic granitoid magmatism in Eastern Tuva. *Russ. Geol. Geophys.*, **56**(9), 1232-1255.
- Van den Kerkhof A.M., Hein U.F. (2001) Fluid inclusion petrography. *Lithos*, **55**(1) 27-47.
- White N.C., Hedenquist J.W. (1995) Epithermal gold deposits: styles, characteristics, and exploration. *Soc. Econ. Geol. Newslett.*, **23**, 9-13.
- Wilkinson J.J. (2001). Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, **55**, 229-272.
- Yarmolyuk V.V., Kovalenko V.I. (2003) Deep Geodynamics and Mantle Plumes: their role in the formation of the Central Asian fold belt. *Petrology*, **11**(6), 504-531.
- Zhang L.-G., Liu J.-X., Zhou H.B., Chen Z.-S. (1989) Oxygen isotope fractionation in the quartz-water-salt system. *Econ. Geol.*, **89**, 1643-1650.

Zheng Y.F. (1999) Oxygen isotope fractionation in carbonate and sulfate minerals. *Geochem. J.*, **33**, 109-126.

REFERENCES

- Afifi A.M., Kelly W.C., Essene E.J. (1988) Phase relations among tellurides, sulphides and oxides: I. Thermodynamic data and calculated equilibria. *Econ. Geol.*, **83**, 377-404.
- Artem'ev D.S. (2018) Ore content of hydrothermal-metasomatic formations of the May Ore Field (Chukotka Autonomous Okrug). Abstract. diss. ... Cand. Geol. Sci. St.Petersburg, 20 p.
- Barton P.B., Skinner B.J. (1979) Sulfide mineral stabilities. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. (Ed H.L. Barnes). N.Y., Sley & Sons, 278-403.
- Belogub E.V., Melekestseva I.Yu., Novoselov K.A., Zabolina M.V., Tret'yakov G.A., Zaykov V.V., Yuminov A.M. Listvenite-related gold deposits of the South Urals (Russia): a review. *Ore Geol. Rev.*, **85**, 247-270.
- Berzin N.A., Coleman R.G., Dobretsov N.L., Zonen-shain L.P., Xiao Xuchang, Chang E.Z. (1994) Geodynamic map of the western part of Paleoasian Ocean. *Russ. Geol. Geophys.*, **35**, 5-22.
- Berzin N.A., Kungurtsev L.V. (1996) Geodynamic interpretation of Altai-Sayan geological complexes. *Russ. Geol. Geophys.*, **37**, 56-73.
- Bodnar R.J., Vityk M.O. (1994) Interpretation of microthermometric data for H₂O–NaCl fluid inclusions. *Fluid Inclusions in Minerals: Methods and Applications*. (Eds B. De Vivo, M.L. Frezzotti). Blacksburg, Virginia Tech, 117-130.
- Borisenko A.S. (1982) Analysis of the salt composition of solutions of gas-liquid inclusions in minerals by cryometry. *The use of thermobarogeochemistry methods in the search and study of ore deposits*. (Ed. N.P. Laverov). Moscow, Nedra Publ., 37-46.
- Bowers T.S. (1991) The deposition of gold and other metals. Pressure-induced fluid immiscibility and associated stable isotope signatures. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **55**, 2417-2434. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(91\)90363-A](https://doi.org/10.1016/0016-7037(91)90363-A)
- Davis D.W., Lowenstein T.K., Spenser R.J. (1990) Melting behavior of fluid inclusions in laboratory-grown halite crystals in the systems NaCl–H₂O, NaCl–KCl–H₂O, NaCl–MgCl₂–H₂O, and CaCl₂–NaCl–H₂O. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **54**, 591-601.
- Hoefs J. (2009) Stable Isotope Geochemistry. Berlin; Heidelberg, Springer, 281 s.
- Kornev T.Ya., Ekhanin A.G., Vlasov A.P. (2018) Geology and gold content of the Kurtushibinsky greenstone belt (Western Sayan). Krasnoyarsk, GPKK KNIIGiMS Publ., 244 p.
- Kuzhuget R.V., Ankusheva N.N., Redina A.A., Prokop'ev I.R., Butanaev Yu.V., Ondar Kh.Kh (2019) Gold composition and PTX formation conditions of the Tardan-2 gold-sulphide-quartz ore manifestation in beresites (Eastern Tuva). *Geologiya i Mineral'nye Resursy Sibiri*, **4**, 89-104. (In Russ.)
- Kuzhuget R.V., Ankusheva N.N., Redina A.A., Prokop'ev I.R., Ponomarchuk A.V. (2021) Khaak-Sair gold-sulfide-quartz ore occurrence (Western Tuva): dating, PT parameters, fluid composition, and isotopes of S, O and C. *Izvestiya Tomskogo Politehnicheskogo Universiteta. Ingining Georesursov*, **332**(12), 148-163. (In Russ.)
- LeFort D., Hanley J., Guillong M. (2011) Subepithermal Au–Pd mineralization associated with an alkalic porphyry Cu–Au deposit, Mount Milligan, Quesnel Terrane, British Columbia, Canada. *Econ. Geol.*, **106**, 781-808.
- Li Y., Liu J. (2006) Calculation of sulfur isotope fractionation in sulfides. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **70**, 1789-1795.
- Melekestseva I.Yu., Zaikov V.V., Tret'yakov G.A., Filippova K.A., Kotlyarov V.A. (2019) Geological structure and mineralogy of the Mechnikovskoye gold deposit, Southern Urals. *Litosphere (Russia)*, **19**(1), 111-138.
- Ohmoto H. (1986) Stable isotope geochemistry of ore deposits. In: Stable Isotopes in High Temperature Geological Processes. *Rev. Mineral. Geochem.*, **16**, 491-560.
- Ohmoto H., Rye R.O. (1979) Isotopes of Sulfur and Carbon. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. N. Y., Wiley, 509-567.
- Popov G.G., Popov B.G., Muratshin H.H., Miziryak D.G. (2017) Petrochemical characterization of igneous rocks and hydrothermal-metasomatic formations of the Kedrovskoye gold ore field. *Razvedka i Okhrana Nedr*, **9**, 27-32.
- Redder E. (1978) Fluid inclusions in minerals. V. 1. Moscow, Mir Publ., 360 p. (In Russ.)
- Rudnev S.N., Serov P.A., Kiseleva V.Yu. (2015) Vendian – Early Paleozoic granitoid magmatism in Eastern Tuva. *Russ. Geol. Geophys.*, **56**(9), 1232-1255.
- Semenov M.I., Zorina A.N., Kolyamkin V.M., Kachevskii L.K., Krotova T.A., Aleksandrovskii Yu.S. (2019) State Geological Map of the Russian Federation scale 1:200 000. Ed. 2nd Edition. Zapadno-Sayanskaya. Sheet N-46-XXXIV (Turan). He'll explain. note / Ministry of Natural Resources of Russia, Rosnedra, FSBI VSEGEI, JSC Sibirskoe PGO. SPb.: VSEGEI, 188 p., ill. 13. (In Russ.)
- Spiridonov E.M. (2010) Review of gold mineralogy in major types of Au mineralization, in: *Gold of the Kola Peninsula and Adjacent Regions*. Proceedings of the Russian (with Non-Russian Participants) Conference Dedicated to the 80th Anniversary of the Kola Scientific Center (Russian Academy of Sciences). Apatity, K&M Publ., 143-171. (In Russ.)
- Van den Kerkhof A.M., Hein U.F. (2001) Fluid inclusion petrography. *Lithos*, **55**(1) 27-White N.C., Hedenquist J.W. (1995) Epithermal gold deposits: styles, characteristics, and exploration. *Soc. Econ. Geol. Newslett.*, **23**, 9-13.
- Wilkinson J.J. (2001) Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, **55**, 229-272.
- Yarmolyuk V.V., Kovalenko V.I. (2003) Deep Geodynamics and Mantle Plumes: their role in the formation of the Central Asian fold belt. *Petrology*, **11**(6), 504-531.
- Zabolina M.V., Ankusheva N.N., Shanina S.N., Kotlyarov V.A. (2018) Conditions of formation of the Ganevsky gold deposit, Uchalinsky ore district: mineralogical thermometry and the study of fluid inclusions. *Mineralogiya*, **4**, 55-67. (In Russ.)
- Zhang L.-G., Liu J.-X., Zhou H.B., Chen Z.-S. (1989) Oxygen isotope fractionation in the quartz-water-salt system. *Econ. Geol.*, **89**, 1643-1650.
- Zheng Y.F. (1999) Oxygen isotope fractionation in carbonate and sulfate minerals. *Geochem. J.*, **33**, 109-126.