

Особенности геологического строения, минерального состава руд и условий их формирования золоторудного месторождения Чульбаткан (Хабаровский край)

Писарев П. А.¹, Куприянова Т. Н.¹, Козлов Д. С.¹, Власов Е. А.², Колова Е. Е.³

¹ ООО «Удинск Золото» (ПАО «Полюс»), г. Хабаровск, Россия;

² МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия; ³ СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан, Россия

Аннотация. В статье представлены новые данные об особенностях геолого-структурного строения и минерального состава руд месторождения Чульбаткан. Показана взаимосвязь тектоники и процессов рудообразования на месторождении: руды локализуются в узлах пересечения систем разломов восток-северо-восточного и северо-западного простирания. Руды месторождения мало-сульфидные (не более 2–3 % сульфидов); полезные компоненты руд: золото (главный), серебро (путный).

Полученные в ходе исследований данные о геологическом строении и минеральном составе руд, составе газовой-жидких включений, выявленные рудоконтролирующие факторы позволяют отнести месторождение к золоторудным системам, связанным с восстановленными интрузиями (RIRGS), и выработать критерии поиска аналогичных объектов в Нижнем Приамурье.

Выводы, которые делают авторы, стали результатом многолетнего комплексного изучения месторождения Чульбаткан специалистами компании «Полюс» и ведущих российских научных центров. Новые данные по месторождениям RIRGS, хорошо известных за рубежом, вносят вклад в развитие изучения месторождений данного типа в России.

Ключевые слова: Чульбаткан, золото, золоторудное месторождение, Амгунь-Бичинское междуречье, теллуриды, восстановленные интрузии, RIRGS.

Для цитирования: Писарев П. А., Куприянова Т. Н., Козлов Д. С., Власов Е. А., Колова Е. Е. Особенности геологического строения, минерального состава руд и условий их формирования золоторудного месторождения Чульбаткан (Хабаровский край). Руды и металлы. 2026. № 1. С. 51–70. DOI: 10.47765/0869-5997-2026-10004.

Peculiarities of the geological structure, mineral composition of the ores, and formation conditions of the Chulbatkan gold deposit, Khabarovsk Krai

Pisarev P. A.¹, Kupriyanova T. N.¹, Kozlov D. S.¹, Vlasov E. A.², Kolova E. E.³

¹ LLC «Udinsk Zoloto» (PJSC Polyus), Khabarovsk, Russia; ² M. V. Lomonosov Moscow State University,

Moscow, Russia; ³ N. A. Shilo North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute (NEISRI), FEB RAS, Magadan, Russia

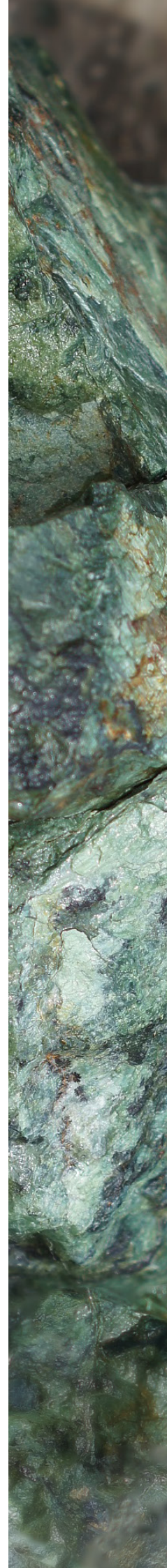
Annotation. The article presents new data on the geological and structural features and mineral composition of the Chulbatkan gold deposit. Relationship between the tectonic and ore formational processes at the deposit is demonstrated: the ores are localized at intersections between the east-northeast and southeast-northwest trending fault systems. The ores of the deposit are low-sulfide (no more than 2–3% sulfides); the useful components are gold (main) and silver (associated).

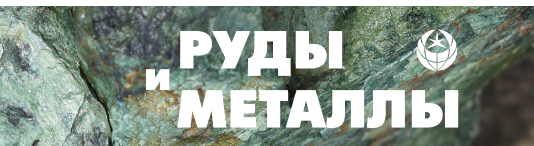
The research data regarding the geological structure and mineral composition of the ores, the gas-liquid inclusions composition, and the identified ore-controlling factors allow us to assign the Chulbatkan deposit to Reduced Intrusion-Related Gold Systems (RIRGS) and to develop prospecting criteria for similar objects in the Lower Amur Region.

The authors' conclusions are the result of a complex long-standing study of the Chulbatkan deposit by specialists from the “Polyus” company and Russian leading research centers. New data on RIRGS type deposits, well-known abroad, contribute to development of studying ore deposits of this type in Russia.

Keywords: Chulbatkan, gold, gold ore deposit, Amgun-Bichin interfluvial area, tellurides, reduced intrusions, Reduced Intrusion Related Gold Systems (RIRGS).

For citation: Pisarev P. A., Kupriyanova T. N., Kozlov D. S., Vlasov E. A., Kolova E. E. Peculiarities of the geological structure, mineral composition of the ores, and formation conditions of the Chulbatkan gold deposit, Khabarovsk Krai. Rudy i metally (Ores and metals). 2026. No. 1. pp. 51–70. DOI: 10.47765/0869-5997-2026-10004.





Введение

Месторождение Чульбаткан располагается на правом берегу р. Амгунь (левый приток р. Амур), в 18 км южнее посёлка Удинск (район им. Полины Осипенко, Хабаровский край) (рис. 1). Месторождение локализовано в пределах южной части Херпучинского рудно-россыпного узла и представляет собой крупный золоторудный объект с утверждёнными в 2025 г. запасами со средними содержаниями золота в руде до 1,2–1,5 г/т, серебра – 0,8 г/т.

Первые сведения о золоторудной минерализации на месторождении были получены ещё в 1949 г. (А. П. Кисец и др., 1960–1961 гг.). В 1983 г. по результатам поисковых работ Херпучинской геологической партии (В. А. Кайдалов и др., 1981–1986 гг.) было локализовано рудопоявление золота, представляющее собой штокверк, расположенный в эндоконтакте интрузии гранитоидов и приуроченный к тектоническому разлому северо-восточного простирания. Активные геологоразведочные работы на месторождении проводились в 2013–2022 гг. («Третья ГГК», «Kinross Gold Corporation») и продолжаются в настоящее время (компания «Полюс»). Первые данные о минеральном составе руд и метасоматитов опубликованы в работах [1, 2]. Полученные в ходе настоящего исследования данные о геологическом строении и минеральном составе руд, составе газовой-жидких включений, выявленные рудоконтролирующие факторы позволяют выработать критерии поиска аналогичных объектов в Нижнем Приамурье.

Геологическое строение

Месторождение Чульбаткан находится на территории Амгунь-Бичинского междуречья, в центральной части северного окончания Сихотэ-Алинской складчатой системы, где обнаружены структуры фундамента, сложенного интенсивно смятыми осадочными и вулканогенно-осадочными образованиями Горинской подзоны Баджало-Горинской структурно-формационной зоны (СФЗ) (рис. 1). С угловым и стратиграфическим несогласием на них залегают небольшие по площади, разрозненные маломощные покровы верхнемеловых, палео-

геновых и неогеновых вулканитов и галечников. Завершают разрез рыхлые современные континентальные отложения.

На территории Амгунь-Бичинского междуречья широко распространены разнообразные интрузивные образования, слагающие как крупные массивы, так и малые тела и дайки. Преобладают гранодиориты и близкие к ним тоналиты, плагиограниты. Отдельные массивы сложены лейкократовыми гранитами. Дайковый комплекс представлен диорит-порфирами, спессартитами, аплитами, гранит-порфирами, андезитами. Известные в районе месторождения магматиты отнесены к поздне-меловому нижнеамурскому гранодиоритовому комплексу, раннепалеогеновому гранодиорит-гранитному верхнеудоминскому комплексу, раннепалеогеновому диоритовому комплексу и эоценовому сизиманскому базальтовому комплексу.

Нижнеамурский комплекс слагает крупный многофазный Чульбатский массив, а также многочисленные малые тела и дайки. Первая фаза представлена кварцевыми диоритами биотит-роговообманково-пироксеновыми, малыми интрузивными телами и дайками диоритовых порфиритов. Вторая фаза слагает большую часть массива и представлена плагиогранитами, тоналитами и гранодиоритами. Породы второй фазы секутся многочисленными мелкими штокообразными телами третьей фазы – лейкократовыми плагиогранитами, дайками аплитов. Также в пределах массива известны субвертикальные пострудные дайки андезитов раннепалеогенового возраста.

Верхнеудоминский комплекс на рассматриваемой территории слагает небольшие трещинные тела и дайки гранодиорит-порфиров первой фазы и гранитов роговообманково-биотитовых второй фазы, цепочкой простирающихся вдоль водораздела рек Наткулчны и Большой и Малой Уды (В. А. Кайдалов и др., 1981–1986 гг.).

Раннепалеогеновый диоритовый комплекс представлен преимущественно дайками кварцевых диорит-порфиров, андезитов, равномерно разбросанных по всему району месторождения.

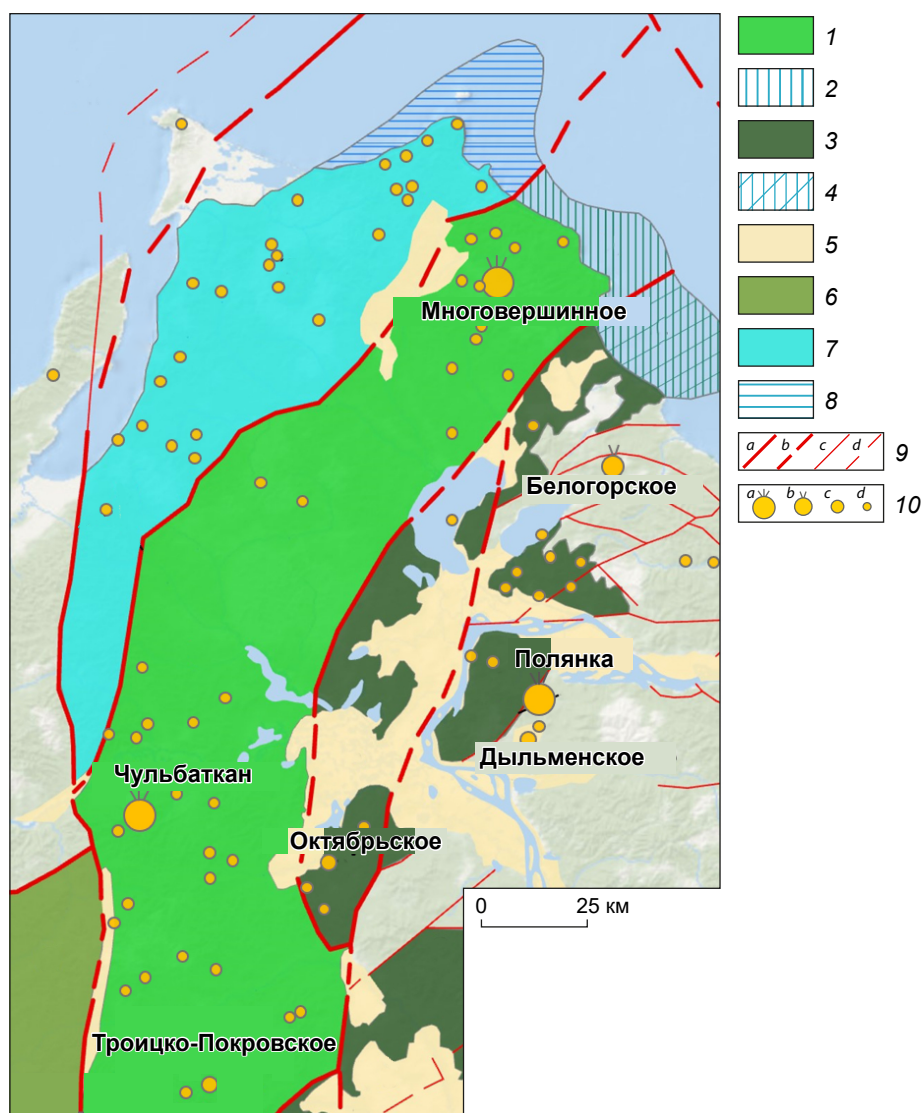


Рис. 1. Схема геолого-структурного районирования м-ба 1 : 1 000 000 (составлена на основе [13]):

Баджалло-Горинская СФЗ, Горинская подзона: 1 – в пределах материковой части, 2 – в пределах морской акватории; Западно-Сихотэалинская СФЗ, Приамурская подзона: 3 – в пределах материковой части, 4 – в пределах морской акватории; 5 – континентальные впадины; 6 – Баджалло-Горинская СФЗ, Бокторская подзона; Ульбанская СФЗ, Мевачанская подзона: 7 – в пределах материковой части, 8 – в пределах морской акватории; 9 – разрывные нарушения: *a* – основные достоверные, *b* – основные перекрытые, *c* – прочие достоверные, *d* – прочие перекрытые; 10 – золоторудные проявления: месторождения (*a* – крупные, *b* – средние, *c* – мелкие), рудопроявления (*d*)

Fig. 1. Schematic map showing the geological and structural regionalization, scale 1 : 1 000 000 (based on [13]):

1 – Gorin subzone of the Badzhal-Gorin structural-formational zone (SFZ), 2 – marine portion; Priamurskaya subzone of the West Sikhote-Alin SFZ: 3 – continental portion, 4 – marine portion; 5 – continental depressions; 6 – Boktor subzone of the Badzhal-Gorin SFZ; Mevachan subzone of the Ulban SFZ: 7 – continental portion, 8 – marine portion; 9 – faults: *a* – major proved, *b* – major covered, *c* – other proved, *d* – other covered; 10 – gold ore objects: ore deposits (*a* – large, *b* – medium, *c* – small), ore occurrences (*d*)

Сизиманский базальтовый комплекс сложен покровными и субвулканическими базальтами, трассирующими одно из оперений регионального Лимурчанского разлома.

Месторождение Чульбаткан локализовано на территории ~ 2 км² в юго-восточном эндоконтакте многофазного Чульбатского массива, площадь которого ~ 160 км² (рис. 2). Гранодиориты и плагиограниты Чульбатского массива характеризуются нормальной и умеренной щёлочностью ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 5,07\text{--}7,24$ %) калий-натриевого типа ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0,55\text{--}1,24$), высокой и весьма высокой глинозёмистостью ($\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO}) = 2,27\text{--}3,06$). Отличительная особенность пород массива – низкое отношение трёхвалентного железа к двухвалентному ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 0,17$), что указывает на восстановительные условия формирования. Минералогически эта особенность выражается в большом количестве акцессорного ильменита при почти полном отсутствии магнетита, то есть Чульбатский массив относится к ильменитовой серии [8, 17]. Находит она отражение и в магнитном поле: в результате магниторазведочных работ установлен низкий уровень интенсивности магнитного поля.

U-Pb изотопное датирование цирконов из гранитов и гранодиоритов рудного поля Чульбаткан выполнено методом LA-SF-ICP-MS в Лаборатории физических методов анализа Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ, аналитик В. Б. Хубанов). Выделение цирконов для анализа проведено в СВКНИИ ДВО РАН (г. Магадан). Проанализировано 11 проб, результаты по семи пробам показали возраст кристаллизации гранитоидов $92 \pm 90 \pm 1$ млн лет, по двум – 87 и 86 ± 1 млн лет. Одна проба, показавшая более древний возраст кристаллизации (~ 115 млн лет), содержит многочисленные унаследованные кристаллы цирконов, вероятно, захваченного характера. Таким образом, на данный момент исследований нижний возрастной предел возраста золоторудной минерализации можно оценить как постконьякский (моложе 86 ± 1 млн лет).

Геолого-структурная модель месторождения. Важную роль на месторождении играет взаимосвязь тектоники и рудообразования,

часто определяя и (или) контролируя направление развития и интенсивность рудообразующих метасоматических процессов. В связи с этим на месторождении был проведён обширный комплекс работ по ориентированному бурению, а также осуществлены исследования в скважинах с помощью методов оптического и акустического каротажа (acoustic and optical televiewer borehole logging). Большинство данных собрано по разведочным скважинам с направлением бурения на юго-восток, вкост генеральной структуры – Чульбатского разлома. Позднее с целью детализации, прослеживания выявленной рудной минерализации и геолого-структурного положения были выполнены отдельные буровые программы с юго-западной ориентировкой направления бурения.

Всего были собраны данные структурного анализа более чем со ста разведочных скважин колонкового бурения. Данные оптического и акустического каротажа позволили выделить более 80 тысяч различных структур (прожилки, контакты, трещины и др.), по результатам ориентированного бурения были выполнены замеры более 100 тысяч ориентированных структур.

Ранее отмечалось [1, 2], что рудные тела месторождения имеют вытянутую форму, простирающуюся на северо-восток с крутым падением на северо-запад, и приурочены к зоне сдвига-раздвига Чульбатского разлома с аналогичным простиранием. На стереограмме (рис. 3, а) представлена интерпретация полной выборки структурных данных (ЮВ направление бурения), подтверждающая влияние Чульбатского разлома при формировании месторождения. На стереограмме (рис. 3, б) приведены результаты отдельных программ ориентированного бурения ЮЗ направления, упомянутых ранее. В результате исследований было выявлено, что минерализация месторождения Чульбаткан локализуется в узлах пересечения систем разломов восток-северо-восточного (Чульбатский разлом) и северо-западного (Центральный, Придолинный и Западный разломы) простирания, которые являются одними из главных рудоконтролирующих факторов (рис. 3). Установлено, что

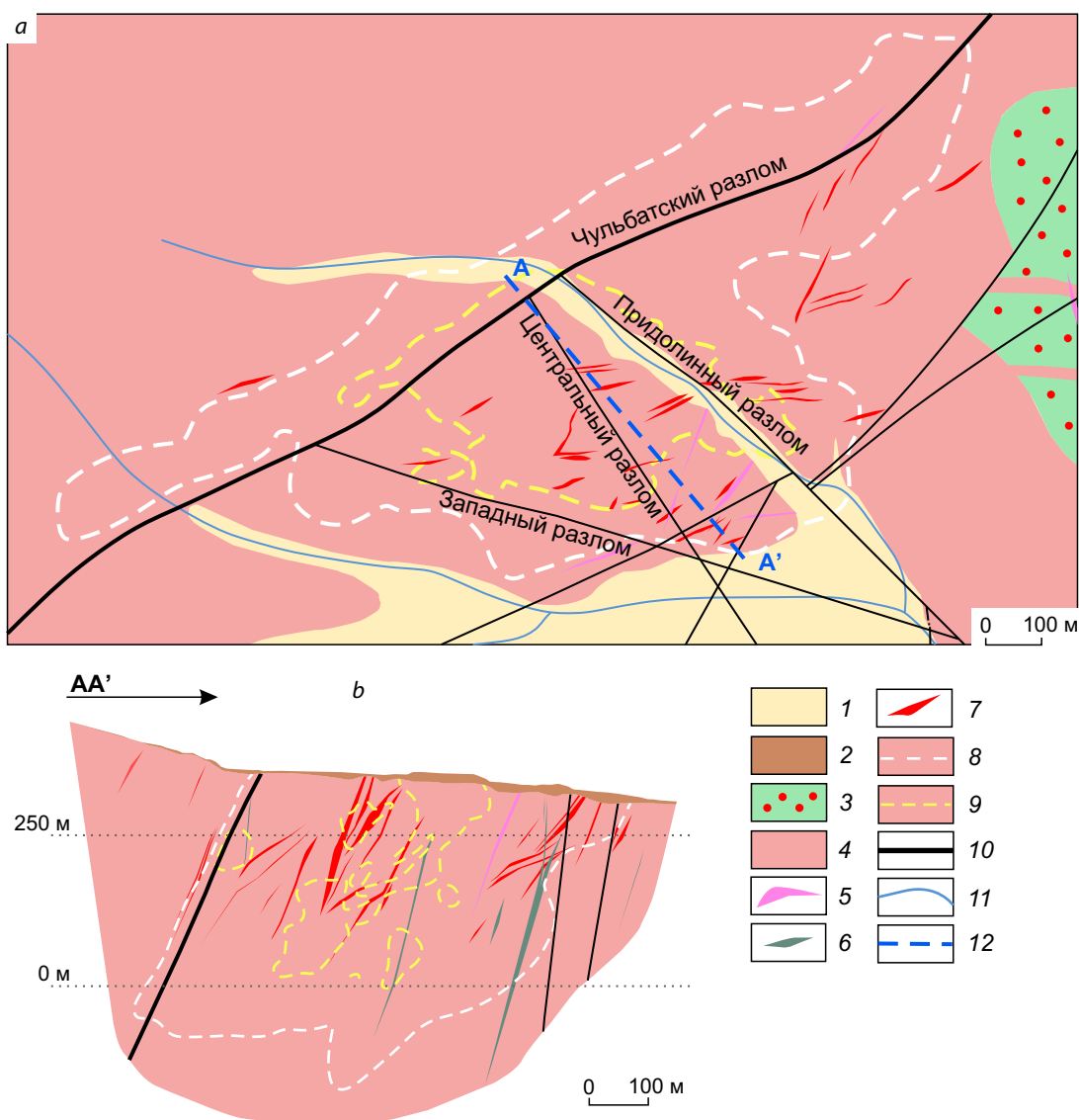


Рис. 2. Геологическая схема центральной части месторождения Чульбаткан (а) и разрез по линии AA' (б):
 1 – аллювиальные отложения; 2 – четвертичные элювиально-делювиальные отложения; 3 – ороговикованные алевролиты, песчаники (горинская свита); 4 – плагиограниты (вторая фаза нижнеамурского интрузивного комплекса); 5 – дайки диоритовых порфиров (третья фаза нижнеамурского интрузивного комплекса); 6 – дайки андезитов, спессартитов (пострудные); 7 – дайки аплитов (третья фаза нижнеамурского интрузивного комплекса); 8 – проекция бедного рудного домена; 9 – проекция богатого рудного домена; 10 – достоверные разломы; 11 – ручьи; 12 – линия разреза AA'

Fig. 2. (a) Schematic geological map of the central Chulbatkan deposit, (b) schematic geological cross-section along line AA':
 1 – alluvial deposits; 2 – Quaternary eluvial-deluvial deposits; 3 – hornified siltstones and sandstones (Gorin Formation); 4 – plagiogranites (second phase of the Nizhneamursky Suite); 5 – diorite porphyrite dikes (third phase of the Nizhneamursky Suite); 6 – andesite and spessartite dikes (post-ore); 7 – aplite dikes (third phase of the Nizhneamursky Suite); 8 – projection of the low-grade ore domain; 9 – projection of the high-grade ore domain; 10 – proved faults; 11 – streams; 12 – cross-section line AA'

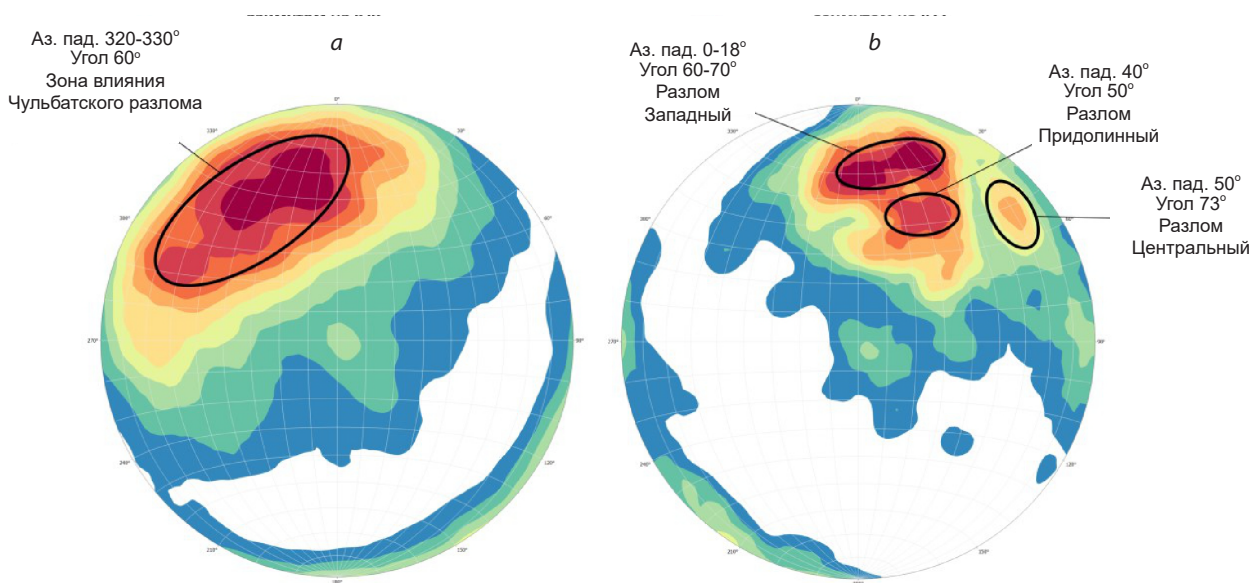


Рис. 3. Стереогаммы по данным ориентированного бурения (проекция на верхнее полушарие, степень достоверности данных 3, 4):

a – по данным ориентированного бурения с азимутом на ЮВ (полная выборка); *b* – по данным ориентированного бурения с азимутом на ЮЗ (блок богатых руд)

Fig. 3. Stereograms based on oriented drilling data (upper hemisphere, confidence degree 3, 4):

a – oriented drilling azimuth toward southeast (whole ore zone); *b* – oriented drilling azimuth toward southwest (high-grade ore block)

оруденение не имеет единого генерального простирания. Частично оно тянется вдоль Чульбатского разлома, но основная его часть приурочена к лежащему блоку Чульбатского разлома и представляет собой штокверковое «скопление микропрожилков» неправильной формы, которое простирается в двух направлениях: восток-северо-восточном и юго-восточном (рис. 4).

Чульбатский разлом был прослежен с максимальной степенью достоверности по так называемой зоне «black marker», представленной интервалом интенсивно перетёртых пород чёрного цвета со средней мощностью 20–30 см, в единичных пересечениях до 1 м (рис. 5, *a*).

Разлом Западный контролирует оруденение с юго-запада и простирается на северо-запад, разлом Центральный тянется через всю минерализованную зону, Придолинный трасируется вдоль долины ручья Чульбаткан. Выделенные разломы не так явно выражены в керне скважин, как Чульбатский разлом, но при детальном изучении отмечаются зонами

повышенной трещиноватости, раздробленности, катаклазирования и брекчирования пород (рис. 5, *b*).

На рисунке 4, *b* на разрезах представлены контуры бедного (содержание > 0,1 г/т) и богатого (> 1 г/т) рудных доменов, которые были выделены по результатам kernового опробования. На структурно-геологическом плане видно, что как бедное, так и богатое оруденение приурочено не только к Чульбатскому разлому, но и к области сочленения разломов, которая явилась ослабленной зоной, предпочтительной для проникновения гидротермальных рудоносных растворов.

Гидротермально-метасоматические процессы на месторождении, в целом, проявлены неравномерно. Выделяется четыре основных типа метасоматических изменений рудовмещающих пород: березитизация, карбонатизация, аргиллизация и окварцевание. Иногда отмечается связь между интенсивностью гидротермально-метасоматических изменений и степенью дробления пород. Березитизированные

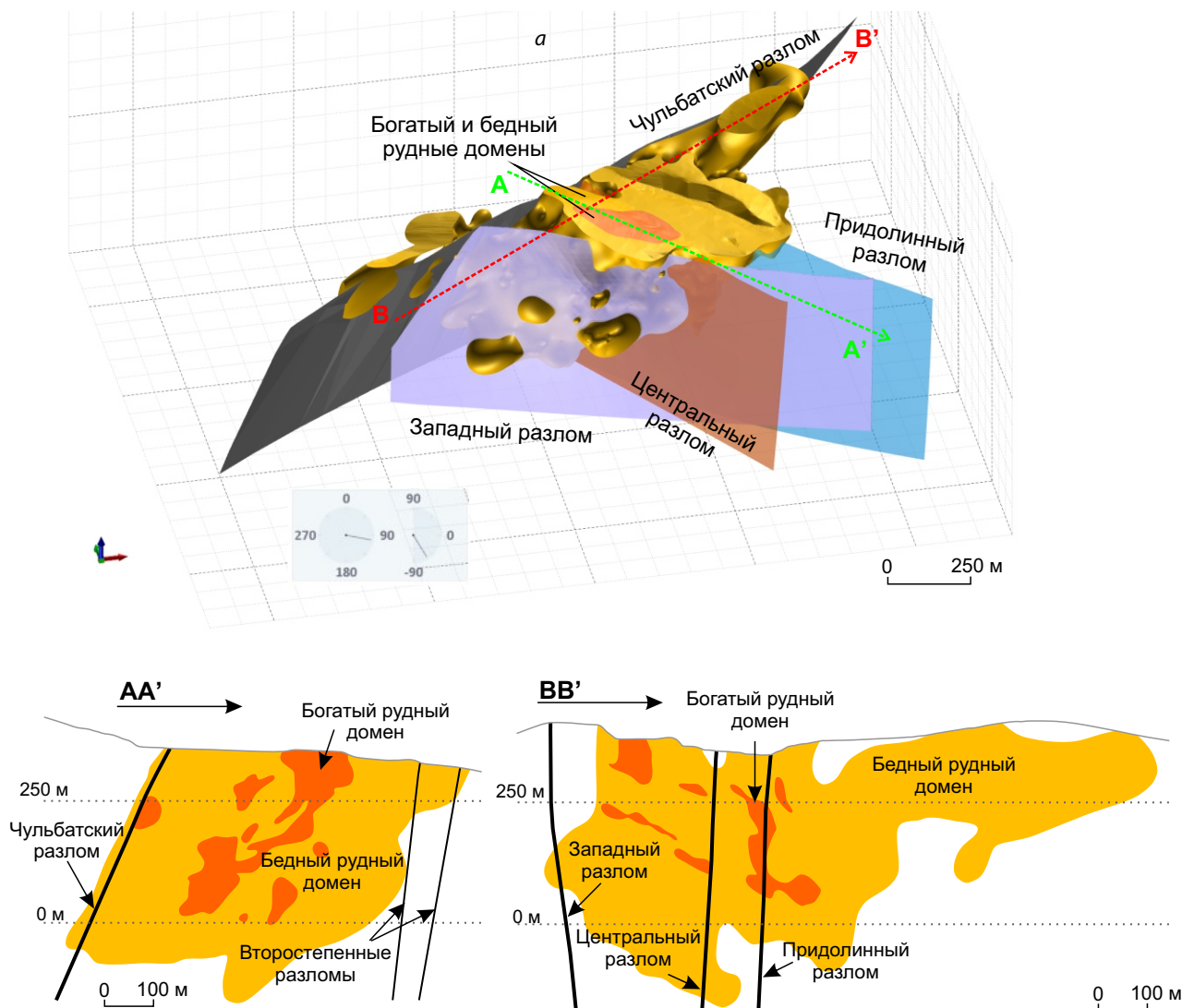


Рис. 4. Трёхмерная модель рудной минерализации и рудоконтролирующих разломов месторождения Чульбаткан (а) и схематические разрезы с положением рудных доменов (б)

Fig. 4 (a) 3D model of the ore mineralization and ore-controlling faults of the Chulbatkan deposit and (b) schematic geological cross-sections along lines AA' and BB', showing position of the ore domains

породы находятся в различных сочетаниях и соотношениях в составе рудных тел и представляют собой классическую колонку березитизации: гранитоиды умеренно-кислого состава – внешняя хлоритовая зона – промежуточная серицит-карбонатная зона – внутренняя кварцево-серицитовая зона. Карбонатизация проявляется в замещении доломитом, реже анкеритом и кальцитом кристаллов плагиоклаза и биотита. При этом карбонатизация сопровождала рудный процесс на всех стадиях

минералообразования (дорудной, синрудной и пострудной). Аргиллизация отмечена в виде единичных пятен гипогенной каолинизации.

Ранее уже было отмечено [2], что окварцевание, наложенное на березитизированные породы, проявлено в виде зон метасоматического замещения с реликтами первичной структуры, а также жил замещения с неровными краями. Породы зон бедных руд (бедный домен) преимущественно березитизированы, карбонатизированы и аргиллизированы, степень

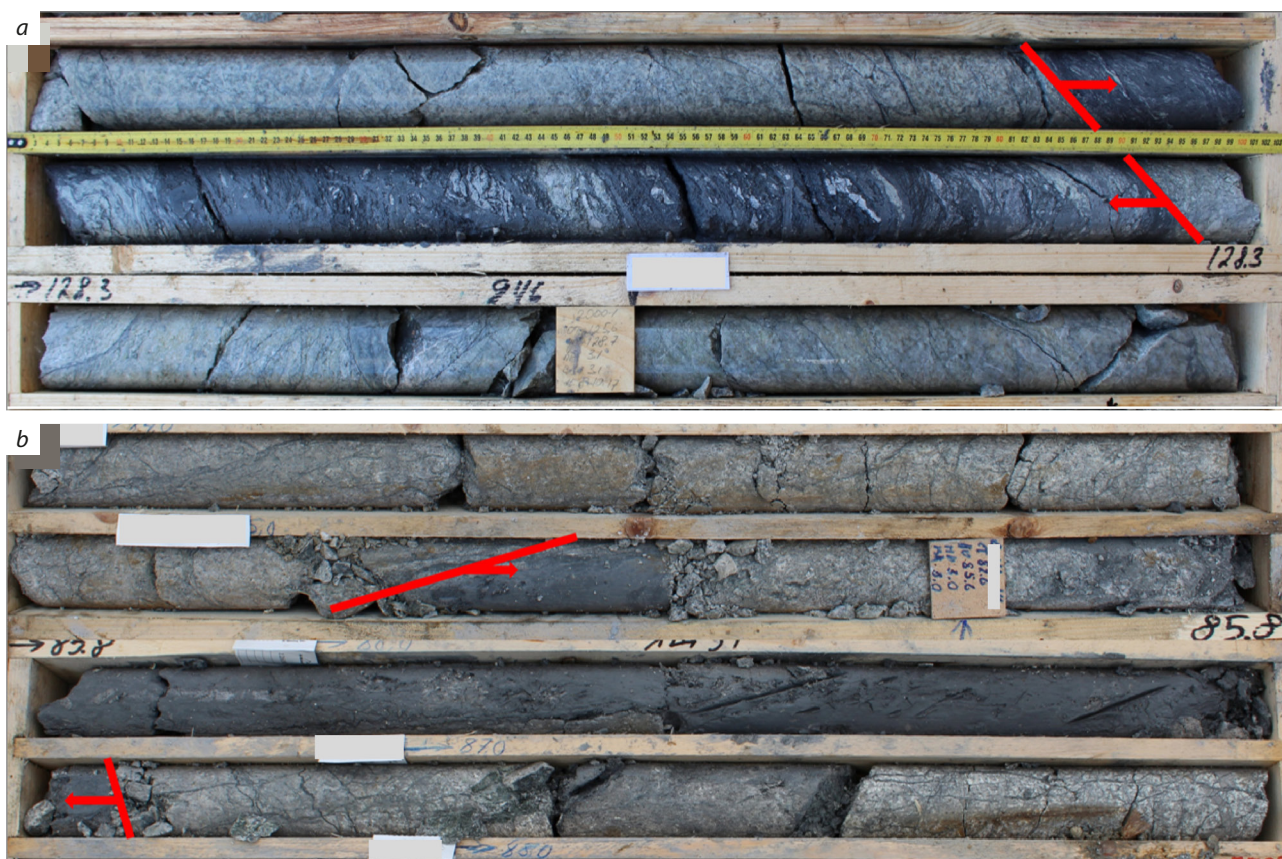


Рис. 5. Фотографии керн с примерами разломов (выделены красным цветом):
а – Чульбатский, б – Центральный

Fig. 5. Fault intervals in the borehole core photos (marked in red):

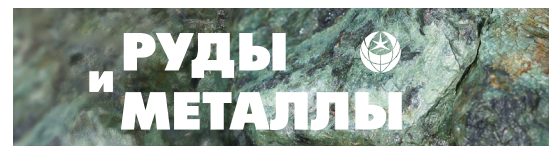
а – Chulbatsky fault, б – Central fault

же их окварцевания незначительная. В зонах богатых руд (богатый домен) проявлены как процессы березитизации, так и более позднего достаточно интенсивного окварцевания; с последним, главным образом, связано золотое оруденение.

В целом, плагиограниты, гранодиориты, тоналиты в большей степени подвержены метасоматозу, чем аплиты даечного комплекса. Последние в основном окварцованы и карбонатизированы. Андезиты преимущественно не изменены, реже карбонатизированы, серицитизированы и хлоритизированы. Золоторудные образования проявлены в плагиогранитах и в гранит-, гранодиорит-аплитах, пострудные дайки андезитов не содержат золотой минерализации.

Минеральный состав руд

Вещественный состав руд изучался в аншлифах из кернового материала с различным содержанием золота (от 2,4 до более 100 г/т), для исследований отбирались фрагменты керна с максимальной концентрацией сульфидов. Минералого-петрографические исследования проводились в лабораториях геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. Для получения изображений в отражённых электронах, качественного и количественного микроанализа минералов использовался сканирующий электронный микроскоп Jeol JSM-IT500 (лаборатория локальных методов исследования кафедры петрологии и вулканологии геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, аналитик В. Д. Щербаков).



Прибор оснащён энергодисперсионным спектрометром XMax^N (Oxford Instruments) с площадью кристалла 50 мм². Условия анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток электронного зонда 0,7 нА, диаметр пучка электронов 2–3 мкм. Непосредственная продолжительность накопления ЭД-спектра составляла 70–100 секунд. Для оптимизации условий измерений (приведения условий анализа к условиям измерения стандартов) использовался металлический кобальт.

Руды месторождения вкрапленные или прожилково-вкрапленные, количество рудных минералов обычно не превышает 3–5 %, в отдельных изученных образцах – до 20–25 об. %. В некоторых случаях рудные минералы образуют равномерную вкрапленность, но чаще всего они распределены неравномерно: образуют небольшие гнезда, развиваются по трещинам, в брекчированных породах тяготеют к цементу брекчии. В составе руд установлены пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, пирротин, молибденит, тетраэдрит-(Zn), тетрадимит, алтаит, теллурувисмутит, гессит, вольтскит, рутил, минералы золота – калаверит, петцит, самородное золото. Следует отметить, что в богатых рудах возрастает распространённость теллуридов, и золото-серебряные теллуриды начинают играть роль важных минералов-концентраторов Au и Ag.

В исследованных рудах было выделено три главных минеральных ассоциации: ранняя (дорудная), сульфидная и золото-теллуридная (продуктивная). Подобный порядок отложения рудных минералов на месторождении Чульбаткан ранее отмечался и другими исследователями [1, 2, 12].

Ранняя (дорудная) ассоциация сложена пиритом-1, рутилом, нерудными минералами – карбонатом, серицитом, хлоритом. Формирование минералов ассоциации связано с процессами гидротермально-метасоматического изменения рудовмещающих пород. Пирит-1 является наиболее распространённым минералом руд. Он образует как плохо сформированные округлые кристаллы и небольшие их сростки, так и кристаллы кубического и кубооктаэдрического габитуса. Размер выделений пирита-1 меняется от долей миллиметра

до 1,5–2 мм, наиболее крупные кристаллы часто катаклазированы. Пирит-1 нередко ассоциирует с карбонатом и рутилом (рутил отмечается в виде включений в пирите-1, иногда корродирует его), содержит многочисленные включения нерудных минералов. В отражённых электронах кристаллы пирита-1, как правило, кавернозны, с помощью электронно-зондовых исследований примеси в минерале не установлены.

Сульфидная ассоциация сложена пиритом-2, сфалеритом, тетраэдритом-(Zn), халькопиритом, галенитом, редкими пирротином и молибденитом. Пирит-2 представлен округлыми, реже кубическими кристаллами размером 0,1–1,0 мм. Пирит-2 тяготеет к зонам трещиноватости пород, образуя прожилки мощностью от долей миллиметра до 2–3 мм (за счёт обильных включений пирита-2 эти зоны приобретают тёмно-серую окраску). В брекчированных породах пирит-2 развит в цементе брекчии. По сравнению с первой генерацией пирит-2 часто лучше огранён и, как правило, свободен от микровключений. Как и в случае пирита-1, кристаллы пирита-2 бывают сильно катаклазированы. В отражённых электронах кристаллы пирита-2 могут проявлять слабо выраженную зональность (рис. 6, а). На изображениях, полученных в отражённых электронах, светлые зоны содержат примесь мышьяка (до 4,1 мас. %).

Отложение других сульфидов ассоциации происходило позднее пирита-2. Чешуйчатый молибденит нарастает на кристаллы пирита-2. Сфалерит образует отдельные ксеноморфные зёрна (0,05–1,0 мм) в кварце, вместе с другими сульфидами часто развивается в агрегатах пирита-2, «цементируя» его кристаллы. Для сфалерита характерна тонкая эмульсионная вкрапленность халькопирита, причём распределение включений халькопирита может быть неравномерным, что, видимо, связано с зональным строением зёрен сфалерита. Сфалерит близок теоретической формуле, из примесей в минерале присутствует только Fe (до 0,5 масс. %).

Тетраэдрит-(Zn) встречен в виде ксеноморфных зёрен в кварце, тетраэдрит-(Zn) нарастает на пирит-2, нередко развивается в нём по

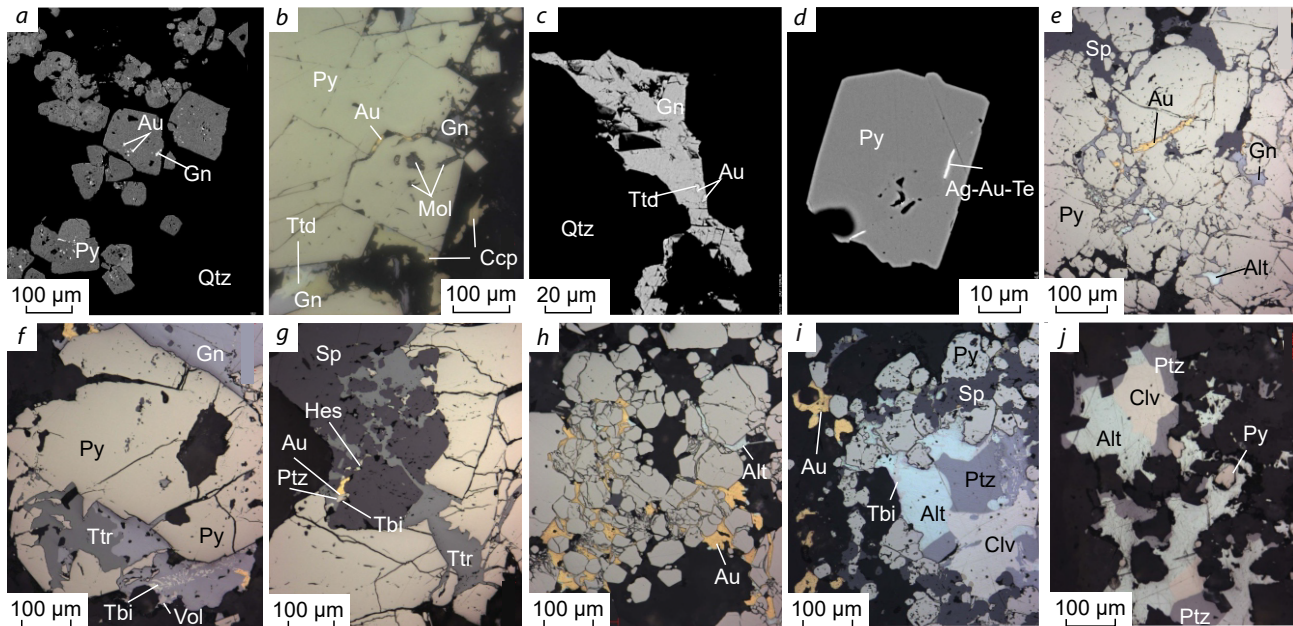


Рис. 6. Минералы золото-теллуридной ассоциации в рудах с умеренным содержанием золота (a–d) и богатых руд (e–j):

a – включения галенита и самородного золота (877–880 ‰) в слабозональном пирите (светлые зоны обогащены As до 4,1 мас. %); *b* – самородное золото (832–842 ‰), тетрадимит, галенит, халькопирит и молибденит, отлагающиеся на кристаллах пирита и по трещинам в них; *c* – включения самородного золота (754 ‰) и тетрадимита в зерне галенита; *d* – тонкие включения недиагностированного теллурида золота и серебра (Ag-Au-Te) в кристалле пирита; *e* – самородное золото (933–935 ‰), алтаит, галенит и сфалерит, отлагающиеся по трещинам в агрегате зёрен пирита; *f* – самородное золото (860 ‰), теллуровисмутит и волюнскит в галенит-тетраэдрит-пиритовом агрегате; *g* – самородное золото (921 ‰), петцит, гессит и теллуровисмутит в тетраэдрит-сфалеритовом агрегате, частично заместившим пирит; *h* – самородное золото (935–937 ‰) и алтаит, развивающиеся по трещинам и межзерновым границам в агрегате пирита; *i* – самородное золото (933–935 ‰), алтаит, петцит, калаверит и теллуровисмутит в сростании с пиритом и сфалеритом); *j* – агрегат калаверита, петцита и алтаита в кварце. Фото *a*, *c*, *d* – в отражённых электронах, *b*, *e*–*j* – в отражённом свете. Alt – алтаит, Au – золото, Ccp – халькопирит, Clv – калаверит, Gn – галенит, Hes – гессит, Mol – молибденит, Ptz – петцит, Py – пирит, Qtz – кварц, Sp – сфалерит, Tbi – теллуровисмутит, Ttd – тетрадимит, Ttr – тетраэдрит, Vol – волюнскит

Fig. 6. Minerals of the gold-telluride assemblage: (a–d) in medium-grade gold ores and (e–j) in high-grade gold ores:

a – inclusions of galena and native gold (877–880 ‰) in unclearly zonal pyrite (the light zones are enriched in As up to 4.1 wt. %); *b* – native gold (832–842 ‰), tetradymite, galena, chalcocopyrite, and molybdenite, deposited over pyrite crystals and in their cracks; *c* – inclusions of native gold (754 ‰) and tetradymite in a galena grain; *d* – fine inclusions of an undiagnosed telluride of gold and silver in a pyrite crystal; *e* – native gold (933–935 ‰), altaite, galena, and sphalerite, deposited along fractures in an aggregate of pyrite grains; *f* – native gold (860 ‰), tellurobismuthite, and volynskite in a galena-tetrahedrite-pyrite aggregate; *g* – native gold (921 ‰), petzite, hessite, and tellurobismuthite in a tetrahedrite-sphalerite aggregate partially replacing pyrite; *h* – native gold (935–937 ‰) and altaite, developing along fractures and intergranular boundaries in a pyrite aggregate; *i* – native gold (933–935 ‰) and altaite, developing along fractures and intergranular boundaries in a pyrite aggregate; *j* – aggregate of calaverite, petzite, and altaite in quartz. Photos *a*, *c*, *d* – in reflected electrons, *b*, *e*–*j* – in reflected light. Alt – altaite, Au – gold, Ccp – chalcocopyrite, Clv – calaverite, Gn – galena, Hes – hessite, Mol – molybdenite, Ptz – petzite, Py – pyrite, Qtz – quartz, Sp – sphalerite, Tbi – tellurobismuthite, Ttd – tetradymite, Ttr – tetrahedrite, Vol – volynskite

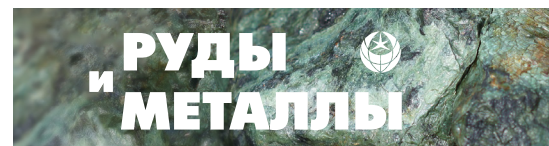


Таблица 1. Химический состав тетраэдрита-(Zn)

Table 1. Chemical composition of tetrahedrite-(Zn)

№ образца	1	2	3	4	5	6	7
Масс. %							
Cu	40,29	38,72	37,20	39,62	38,11	38,43	37,24
Fe	0,61	0,56	0,82	-	0,39	0,51	-
Zn	7,54	7,54	6,92	7,91	7,21	7,48	7,40
As	9,00	2,89	2,38	6,87	2,36	4,96	1,10
Sb	17,95	25,27	26,76	19,73	27,19	22,88	28,03
S	26,63	25,23	25,24	25,86	25,65	25,63	24,31
Сумма	102,02	100,21	99,32	99,99	100,91	99,89	98,08
Атомов на формулу							
Cu	9,90	10,01	9,74	10,03	9,83	9,85	9,99
Fe	0,17	0,16	0,24	-	0,11	0,15	-
Zn	1,80	1,89	1,76	1,94	1,80	1,86	1,93
As	1,88	0,63	0,53	1,47	0,52	1,08	0,25
Sb	2,30	3,41	3,66	2,61	3,66	3,06	3,92
S	12,95	12,90	13,07	12,95	13,08	13,00	12,90
Sb/(Sb + As)	0,55	0,84	0,87	0,64	0,88	0,74	0,94
Fe/(Fe + Zn)	0,09	0,08	0,12	0,00	0,06	0,07	0,00

трещинам. Отмечается частичное замещение тетраэдритом-(Zn) более раннего сфалерита. Сурьмянистость (Sb/(Sb + As)) тетраэдрита-(Zn) меняется в интервале 0,55–0,94, железистость (Fe/(Fe + Zn)) – 0,00–0,12 (табл. 1). В отражённых электронах тетраэдрит-(Zn) проявляет слабовыраженную ростовую зональность: от центра зёрен к краям, как правило, наблюдается повышение сурьмянистости.

Халькопирит в изученных образцах представлен обособленными ксеноморфными зёрнами, минерал нарастает на кристаллы пирита-2 или самостоятельно или совместно с тетраэдритом-(Zn) развивается по трещинам в катаклазированном пирите, а также (нередко вместе с пирротинном) образует неправильной формы включения в пирите-2.

Галенит, видимо, является одним из наиболее поздних минералов сульфидной ассоциации. Главным образом он отлагается в агрегатах катаклазированных кристаллов пирита, развиваясь в них по трещинам и в межзерновом пространстве или образуя в кристаллах

пирита изометричные включения (до 30 мкм). Изредка встречаются обособленные зёрна галенита (до 0,2 мм) и сростки галенита с тетраэдритом-(Zn), халькопиритом и самородным золотом.

В ассоциации со сфалеритом и галенитом нередко отмечается карбонат доломит-анкеритового ряда. Как правило, он представлен хорошо сформированными ромбоэдрическими кристаллами размером до 0,3 мм. Кристаллы карбоната в отражённых электронах демонстрируют зональное строение – содержание Fe (в масс. %) меняется в интервале 0,6–12,9, Mn – 0,3–0,9. Видимо, галенит и сфалерит отлагались как совместно с карбонатом, так и позднее, нарастая на его хорошо сформированные кристаллы.

Золото-теллуридная (продуктивная) ассоциация. В рудах с умеренным содержанием золота (2,2–9,8 г/т) данная ассоциация проявлена слабо. Выявлены самородное золото, тетрадимит и редкие микронного размера недиагностированные теллуриды Au и Ag

Таблица 2. Химический состав алтаита, теллуrowисмутита и тетрадимита

Table 2. Chemical composition of altaite, tellurobismuthite, and tetradymite

Минерал	Масс. %						Атомов на формулу				
	Pb	Bi	Sb	S	Te	Сумма	Pb	Bi	Sb	S	Te
Алтаит	60,76	-	-	-	37,83	98,60	0,99				1,01
	60,56	-	-	-	37,42	97,98	1,00				1,00
	61,36	-	-	-	37,99	99,35	1,00				1,00
Теллуrowисмутит	-	50,23	-	-	47,96	98,19		1,95			3,05
	-	38,95	9,39	-	50,44	98,78		1,41	0,59		3,00
	-	51,45	-	-	48,30	99,75		1,97			3,03
	-	50,61	-	-	47,27	97,88		1,98			3,02
Тетрадимит	-	57,80	-	4,40	36,18	98,38		1,98		0,98	2,03
	-	57,17	-	4,70	36,69	98,57		1,93		1,04	2,03

(рис. 6, *d*). Тетрадимит развивается в трещинах кристаллов пирита, замещает более ранний халькопирит. Самородное золото образует единичные округлые или слегка удлинённые включения в кристаллах пирита и в халькопирит-блэклюдных агрегатах, вместе с тетрадимитом отлагается в пирите по трещинам, образует включения в более раннем галените (рис. 6, *b, c*). Размер зёрен самородного золота не превышает 10 мкм, его пробность 754–938 ‰.

В богатых рудах (десятки-сотни г/т) золото-теллуридная ассоциация проявлена в наибольшей мере. В рудах установлены обильные выделения алтаита, теллуrowисмутита, вольтскита, калаверита, петцита, гессита и самородного золота. Алтаит является наиболее ранним минералом золото-теллуридной ассоциации богатых руд. Он отлагается в трещинах кристаллов пирита, частично замещает галенит и тетраэдрит-(Zn); размер его зёрен не превышает 0,5 мм. Алтаит отвечает своему теоретическому составу (табл. 2). Теллуrowисмутит и более редкий вольтскит образуют включения в галените или сростки с алтаитом. Размер выделений теллуrowисмутита и вольтскита меняется от первых микрометров до 30 мкм. Некоторые выделения теллуrowисмутита имеют зональное строение, связанное с наличием в составе примеси Sb (до 9,1 масс. %) (табл. 2).

Минералы Au представлены калаверитом, петцитом и самородным золотом; самородное золото является главным концентратом Au, калаверит и петцит распространены в меньшей степени. Самородное золото, как правило, находится в сростаниях с теллуридами, в свободной форме встречается редко. Минералы образуют, рассекают и частично замещают более ранние минералы сульфидной ассоциации (рис. 6, *e–h*). Облик агрегатов самородного золота уплощённый или изометричный, размер меняется от первых десятков микрометров до 0,3 мм. В присутствии калаверита самородное золото имеет наибольшую пробность (до 938 ‰). В рудах, не содержащих в своём составе калаверит, пробность золота снижается. В последнем случае золото ассоциирует с петцитом, гесситом, вольтскитом. Самородное золото по составу весьма однородно: кроме серебра другие примеси не выявлены.

Калаверит в отражённом свете имеет светло-жёлтую с розовым оттенком окраску, при скрещенных николях проявляет яркую анизотропию. Размеры выделений калаверита меняются от 50 до 300 мкм. В некоторых зёрнах калаверита установлены редкие вростки серицита. Составы калаверита хорошо рассчитываются на формулу AuTe₂, в одном анализе минерала определена примесь Ag (0,6 масс. %) (табл. 3).

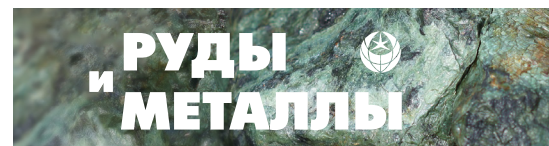


Таблица 3. Химический состав калаверита, петцита, гессита и волынскита

Table 3. Chemical composition of calaverite, petzite, hessite, and volynskite

Минерал	Масс. %					Атомов на формулу			
	Ag	Au	Bi	Te	Сумма	Ag	Au	Bi	Te
Калаверит	-	42,53	-	57,93	100,47		0,97		2,03
	0,56	41,23	-	56,28	98,07	0,02	0,96		2,02
	-	42,81	-	56,89	99,70		0,98		2,02
Петцит	41,68	25,34	-	33,25	100,27	2,99	1,00		2,02
	42,16	25,59	-	33,63	101,38	2,99	0,99		2,02
	41,00	24,71	-	32,90	98,61	2,99	0,99		2,03
	41,79	25,09	-	33,04	99,92	3,00	0,99		2,01
	41,92	25,56	-	33,38	100,86	2,99	1,00		2,01
	41,35	25,19	-	33,00	99,54	2,99	1,00		2,02
	41,39	25,10	-	32,70	99,20	3,00	1,00		2,00
Гессит	62,72	-	-	37,39	100,11	1,99			1,01
	62,03	-	-	36,86	98,89	2,00			1,00
Волынскит	18,72	-	35,47	44,14	98,33	1,01		0,99	2,01

Петцит и гессит являются наиболее поздними рудными минералами исследованных руд. Они представлены редкими неправильной формы зёрнами (до 40 мкм) в галените и сфалерит-тетраэдритовых агрегатах (рис. 6, *i*). Петцит может нарастать на самородное золото и агрегаты алтаита и калаверита (рис. 6, *j*). В таком случае размер выделений петцита достигает 0,3 мм. В гессите и петците примеси не установлены, минералы близки своим теоретическим формулам (табл. 3).

Результаты термобарогеохимических исследований

Микротермометрические исследования флюидных включений выполнены в СВКНИИ ДВО РАН при помощи измерительного комплекса, созданного на основе микротермокамеры THMSG-600 фирмы «Linkam» (Англия), микроскопа «Motic», видеокамеры «Moticam» и управляющего компьютера. Исследовано девять образцов, из которых было изготовлено 13 двухсторонне полированных пластинок. В целом, весь кварц насыщен флюидными

включениями (ФВ), но их размер, как правило, менее 3 мкм, что, наряду с низкой прозрачностью, является ограничением для выполнения термобарогеохимического анализа. Вследствие этого изучено всего 35 индивидуальных ФВ в кварце шести образцов (табл. 4). Размер ФВ оценивается по диаметру описываемой вокруг ФВ окружности. Коэффициент наполнения ФВ (в таблице 4 обозначен F) рассчитан при условии, что ФВ имеют уплощённую форму, по формуле: $КН = S_{ж}/S_{в} \times 100$, где $S_{ж}$ – площадь жидкой фазы, $S_{в}$ – площадь вакуоли. Солевой состав растворов определялся по температурам эвтектики [3], концентрация солей по температуре плавления льда ($T_{пл.}$ льда), согласно [14]. Расчёт концентраций солей, плотности и давлений водяного пара проводились с использованием программы «FLINCOR» [15] по системе [21].

Согласно методикам [7, 10, 11, 20] в кварце отбирались первичные и первично-вторичные ФВ. По фазовому составу при комнатной температуре обнаруженные во всех образцах ФВ – двухфазовые газовой-жидкие (рис. 7). По

Таблица 4. Результаты термобарогеохимических исследований флюидных включений в кварце из Чулбатканского месторождения

Table 4. Results of thermobarogeochemical studies of fluid inclusions in quartz from the Chulbatkan deposit

Зона отбора образцов	<i>n</i>	Размер ФВ, мкм	<i>F</i> , %	<i>T</i> _{гом.} , °С	<i>T</i> _{эвт.} , °С	<i>T</i> _{пл.} , °С	<i>C</i> масс. % экв. NaCl	<i>D</i> , г/см ³
Придолинный разлом	3	3–8	60–75	280–335	-21	-1	1,7	0,6
	11	3–6	70–89	210–240	-30...-28	-3...-1,3	4,9–2,1	0,8–0,9
Центральный разлом	2	5	67	265	-31	-2	3,3	0,8
	3	3–4	67–75	210–230	-45...-38	-3,2...-2	5,2–3,3	0,9
	3	4–5	60–80	128–145	-43	-3,6...-1,2	5,8–2	1
Западный разлом	4	5–11	75–80	230–240	-40...-38	-4...-3	6,4–4,9	0,9
	9	5–20	60–91	156–217	-32...-28	-3,6...-1,8	5,8–3	1

соотношению «жидкой» и «газовой» фаз 57 % ФВ имеют коэффициент наполнения от 60 до 75 (табл. 4), 43 % ФВ – от 80 до 90. Исследованы немногочисленные ФВ размером от 3 до 20 мкм. Флюидные включения в кварце распространены преимущественно группами, зачастую образуя «струи», но не редки случаи их расположения одиночно в центральных и краевых зонах кристаллов кварца (рис. 7). Обычно ФВ имеют удлинённую, реже округлую форму.

Температура гомогенизации ФВ меняется в диапазоне от 335 до 128 °С (табл. 4). Распределение температур гомогенизации по интервалам имеет одномодальный характер с пиком 200–225 °С.

Плавление последнего кристаллика льда во ФВ происходит при температурах от -1 до -4 °С (табл. 4), что соответствует концентрациям солей в растворах от 1,7 до 6,4 масс. % экв. NaCl.

В большинстве ФВ эвтектика раствора наблюдается в интервале от -46 до -28 °С, в наиболее высокотемпературных – при -21 °С (табл. 4). В целом, эти показатели соответствуют NaCl-системе с примесью магния и железа, довольно часто приближаясь к эвтектическим составам.

Кварц рудных зон, приуроченных к Придолинному разлому и характеризующихся меньшим распространением золото-блёклорудной минерализации, кристаллизовался в более высокотемпературных условиях, из гидротерм меньшей солёности, в составе которых было меньше примесей магния и железа. Кварц рудных зон Центрального разлома образовался в среднетемпературном интервале в присутствии более солёного флюида, насыщенного ионами магния и железа. Наиболее низкотемпературный режим был в системе формирования кварца рудных зон Западного разлома, в которых проявлен наибольший спектр минералов теллура, золота, серебра, при этом солёность гидротерм была наивысшей из зафиксированных. Тренды изменения физико-химических параметров (рис. 7, б) также различаются: рудные зоны Придолинного разлома формировались в условиях остывания, а Центрального и Западного разломов – остывания и разбавления.

Обсуждение полученных результатов

Тектонический рудоконтролирующий фактор является одним из ключевых: месторождение приурочено к пересечению систем тектонических нарушений северо-восточного (главный

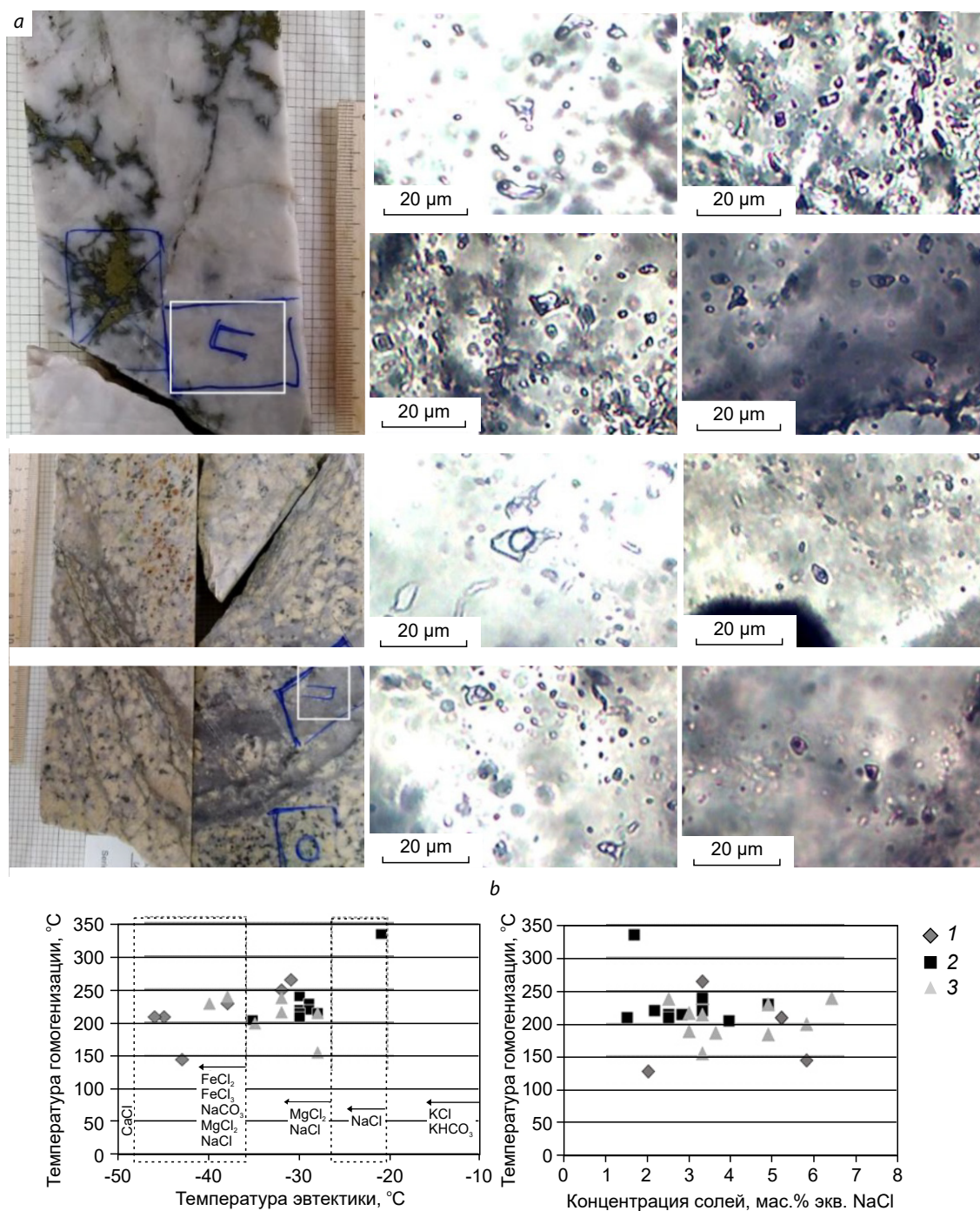


Рис. 7. Фотографии образцов, отобранных для проведения термобарогеохимического анализа, и некоторых из изученных ФВ (а); диаграммы зависимости температуры гомогенизации от температуры эвтектики и концентрации солей (b): из рудных зон: 1 – Центрального разлома, 2 – Придолинного разлома, 3 – Западного разлома

Fig. 7. (a) Photos of the samples taken for thermobarogeochemical analysis and of some studied fluid inclusions and (b) diagrams of dependence of the homogenization temperature on the eutectic temperature and salt concentration: from ore zones of: 1 – Central fault, 2 – Pridolinnyy fault, 3 – Western fault

Чульбатский разлом) и северо-западного простираения (второстепенные разломы – Центральный, Придолинный, Западный), вследствие чего рудное тело представляет собой микроштокверковую минерализованную зону неправильной формы, не имеющую единого генерального направления. Бедный рудный домен частично простирается вдоль Чульбатского разлома, частично локализуется в висячем блоке; богатый рудный домен концентрируется главным образом в лежачем блоке.

Полезные компоненты руд месторождения Чульбаткан – золото (главный) и серебро (попутный). В исследованных рудах было выделено три главных минеральных ассоциации: ранняя (дорудная), сульфидная и золото-теллуридная (продуктивная). В богатых рудах возрастает распространённость теллуридов, которые, наряду с самородным золотом, начинают играть роль важных минералов-концентраторов Au и Ag.

Проведённые термобарогеохимические исследования показали, что кварц рудных образований формировался при температурах от 335 до 128 °С из среднеконцентрированных (6,4–1,7 масс. % экв. NaCl) хлоридных растворов, насыщенных ионами Fe, Mg и Na. Основная масса кварца кристаллизовалась в диапазоне температур от 250 до 175 °С. В работе [2] приведены результаты исследования ФВ в дорудном жильном кварце. Температуры гомогенизации первичных флюидных включений составили 325–330 °С, концентрация солей в растворе 5,4 масс. % экв. NaCl, что коррелирует с полученными нами данными. В изученных авторами образцах были идентифицированы ФВ с углекислотой, концентрация которой, по их оценкам, составляет 2,5 моль/кг раствора, и метаном – 0,6 моль/кг раствора, а плотность углекислотно-водного флюида – 0,87 г/см³. Давление флюида, оценённое для ассоциаций углекислотно-водных и газовых флюидных включений в кварце, захваченных в периоды гетерогенизации флюида, составляет 440 бар при температуре 330 °С.

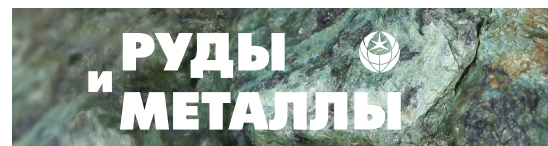
По ряду характерных признаков месторождение Чульбаткан отвечает глобально распространённому классу месторождений,

связанных с восстановленными интрузиями (RIRGS), выделенному в конце прошлого века в золоторудном поясе Тинтина [16].

Приуроченность к активной континентальной окраине и неоднократная тектономагматическая активизация территории являются благоприятными условиями для размещения месторождений этого класса.

Гранодиориты и плагиограниты вмещающего месторождение Чульбатского массива мелового возраста характеризуются нормальной и умеренной щёлочностью калий-натриевого типа, высокой и весьма высокой глинозёмистостью. Локализация массива в поясе развития пород ильменитовой серии [8], низкое отношение двухвалентного железа к трёхвалентному, преобладание акцессорного ильменита при отсутствии магнетита указывают на то, что массив формировался в восстановительных условиях. Характер гидротермально-метасоматических изменений, в которых ведущую роль играют березитизация и окварцевание, также говорит в пользу золоторудных систем, связанных с восстановленными интрузиями [5, 16, 19].

Малосульфидный состав руд (< 3 %), ассоциация золота с минералами теллура (алтаит, калаверит, петцит и др.), небольшие размеры золотин (0,004–0,066 мм) и высокая пробность позволяют отнести месторождение Чульбаткан к аналогичным по генетическому типу объектам на северо-западе североамериканского континента и на северо-востоке России. Результаты исследования флюидных включений дают возможность утверждать, что температура, солёность и насыщенность CO₂ рудообразующего флюида соответствуют типу RIRGS [5, 16, 19]. Геохимические особенности месторождения, проявленные во вторичных ореолах рассеяния, такие как ассоциация золота с Ag, Sb, Cu, Pb, Te, Bi, Zn, наличие Au-As-Bi с W и Sn рудного фактора, низкие содержания Rb и Nb в породах массива, корреляция содержаний золота и теллура на уровне более 90 %, также позволяют предположить, что месторождение Чульбаткан относится к золоторудным системам, связанным с восстановленными интрузиями [9].



Выводы

Проведённые исследования позволили установить руководящую роль структурного рудоконтролирующего фактора на месторождении Чульбаткан. Изучение минерального состава богатых руд выявило тесную связь золота и минералов теллура (калаверит, петцит), которые играют значительную роль и концентрируют большую часть золота месторождения. Впервые приводятся данные исследования газовой-жидкой включений из кварца рудных образований, позволяющие глубже взглянуть на условия формирования месторождения.

По совокупности признаков (минеральный и химический состав вмещающих пород и руд, характер гидротермально-метасоматических образований, состав газовой-жидкой включений, положение в региональных структурах и т. д.) месторождение Чульбаткан можно отнести к классу месторождений, связанных с восстановленными интрузиями (RIRGS). Данный вывод представляет практический инте-

рес в связи с тем фактом, что известные мировые примеры месторождений этого класса группируются в протяжённые пояса (например, в Восточной Австралии, на Аляске, на северо-востоке России) [4–6, 16, 18, 19]. Большинство RIRGS объектов – крупнотоннажные, с низкими содержаниями, например, Форт Нокс или Даблин Галч. Запасы руды этих месторождений варьируют от десятков до нескольких сотен миллионов тонн при содержаниях 0,8–1,4 г/т. В Нижнем Приамурье, в целом, и в междуречье Амгунь–Бичи, в частности, известно множество слабоизученных гранитоидных массивов, в некоторых из которых установлены признаки золоторудной минерализации.

Изученные данные и результаты исследований дают основание прогнозировать наличие на этой территории объектов, аналогичных месторождению Чульбаткан, для поиска которых применим опыт, полученный на Чульбаткане.

Список литературы

1. Алексеев А. С., Старостин В. И. Новое месторождение золота в Нижнем Приамурье – Чульбаткан (Хабаровский край) // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 2017. – Вып. 1. – С. 33–38.
2. Алексеев А. С., Шишакова Л. Н. Минеральный состав руд золоторудного месторождения Чульбаткан, Нижнее Приамурье, Хабаровский край // Руды и металлы. – 2017. – № 3. – С. 43–50.
3. Борисенко А. С. Изучение солевого состава газовой-жидкой включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. – 1977. – № 8. – С. 16–27.
4. Волков А. В., Савва Н. Е., Сидоров А. А., Прокофьев В. Ю., Горячев Н. А., Вознесенский С. Д., Альшевский А. В., Чернова А. Д. Золоторудное месторождение Школьное (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53, № 1. – С. 3–31.
5. Волков А. В., Сидоров А. А. Прогнозно-поисковая модель месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов Арктической зоны России // Арктика: экология и экономика. – 2018. – № 3 (31). – С. 84–99.
6. Волков А. В., Черепанова Н. В., Прокофьев В. Ю., Савва Н. Е., Смильгин С. В., Трубкин Н. В., Алексеев В. Ю. Месторождение золота в гранитоидном штоке Бутарный (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 55, № 3. – С. 214–237.
7. Долгов Ю. А., Ермаков Н. П. Термобарогеохимия. – М.: Недра, 1979. – 271 с.
8. Меркулова Т. В., Мишин Л. Ф. Окислительно-восстановительные процессы в мезозойско-кайнозойских вулcano-плутонических системах и их роль в формировании региональных гравитационных и магнитных аномалий Дальнего Востока // Тихоокеанская геология. – 2015. – Т. 34, № 6. – С. 112–124.
9. Писарев П. А., Куприянова Т. Н., Козлов Д. С., Власов Е. А., Колова Е. Е. Особенности вещественного состава руд и формационная принадлежность золоторудного месторождения

Чульбаткан // Сб. тезисов докладов XIV Международной научно-практической конференции «Геология, прогноз, поиски и оценка месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2025. – С. 328–331.

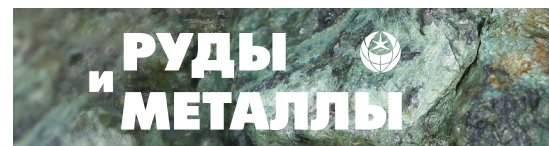
10. Рёддер Э. Флюидные включения в минералах. В 2-х т. Т. 1: Природа включений и методы их исследования / Пер. с англ. – М. : Мир, 1987. – Т. 1. – 560 с.
11. Рёддер Э. Флюидные включения в минералах. В 2-х т. Т. 2: Использование включений при изучении генезиса пород и руд / Пер. с англ. – М. : Мир, 1987. – Т. 2. – 632 с.
12. Фомина М. И., Михалицына Т. И. Характерные минералогические черты Au-кварцевого месторождения Чульбаткан (Хабаровский край) // Сб. тезисов докладов XIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2024. – С. 383–386.
13. Шаруева Л. И., Лопатин Б. Г. Государственная карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Дальневосточная. Лист N-54 (Николаевск-на-Амуре). – СПб. : ВСЕГЕИ, 2016.
14. Bodnar R. J. and Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions / Fluid inclusions in minerals: methods and

applications, IMA short course volume. – Virginia Polytechnic Institute and State University Press, 1994. – P. 117–130.

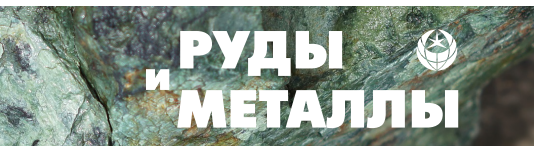
15. Brown P. E. FLINCOR: a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // American Mineralogist. – 1989. – V. 74. – P. 1390–1393.
16. Hart C. J. R. Reduced intrusion-related gold systems / Mineral deposits of Canada: a synthesis of major deposit types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods. – Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication. – 2007. – № 5. – P. 95–112.
17. Ishihara S. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks // Mining Geology. – 1977. – № 27. – P. 293–305.
18. Logan J. M. Prospective areas for intrusion-related gold-quartz veins in Southern British Columbia // Geological Fieldwork 2000. – Paper 2001-1. – P. 113–134.
19. Thompson J. F. H., Sillitoe R. H., Baker T., Lang J. R., Mortensen J. K. Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces // Mineral Deposita. – 1999. – V. 34. – P. 323–334.
20. Van den Kerkhof A. M., Hein U. F. Fluid inclusion petrography // Lithos. – 2001. – V. 55 (1). – P. 27–47.
21. Zhang Y. G. and Frantz J. D. Determination of the homogenisation temperatures and densities of superficial fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluids inclusions // Chemical Geology. – 1987. – V. 64. – P. 335–345.

References

1. Alekseev A. S., Starostin V. I. Novoe mestorozhdenie zolota v Nizhnem Priamur'e – Chul'batkan (Khabarovskii krai) [New gold deposit in the Lower Amur region – Chulbatkan (Khabarovsk Krai)], *Vestnik MGU [Bulletin of Moscow State University]*. Series 4. Geology, 2017, Issue 1, pp. 33–38. (In Russ.)
2. Alekseev A. S., Shishakova L. N. Mineral'nyi sostav rud zolotorudnogo mestorozhdeniya Chul'batkan, Nizhnee Priamur'e, Khabarovskii krai [Mineral composition of ores of the Chulbatkan gold deposit, Lower Amur region, Khabarovsk Krai], *Rudy i metally [Ores and Metals]*, 2017, No 3, pp. 43–50. (In Russ.)
3. Borisenko A. S. Izuchenie solevogo sostava gazovozhidkikh vklyuchenii v mineralakh metodom kriometrii [Study of the salt composition of gas-liquid inclusions in minerals by the cryometry method], *Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]*, 1977, No 8, pp. 16–27. (In Russ.)
4. Volkov A. V., Savva N. E., Sidorov A. A., Prokof'ev V. Yu., Goryachev N. A., Voznesenskii S. D., Al'shevskii A. V., Chernova A. D. Zolotorudnoe mestorozhdenie Shkol'noe (Severo-Vostok Rossii) [The Shkolnoye gold deposit (North-East of Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii [Geology of ore deposits]*, 2011, V. 53, № 1, pp. 3–31. (In Russ.)
5. Volkov A. V., Sidorov A. A. Prognozno-poiskovaya model' mestorozhdenii zolota, svyazannykh s intruzivami granitoidov Arkticheskoi zony Rossii [Forecast and exploration model for gold deposits associated with granitoid intrusions in the Arctic zone of Russia], *Arktika: ehkologiya i ehkonomika*



- [*Arctic: Ecology and Economics*], 2018, No 3 (31), pp. 84–99. (In Russ.)
6. Volkov A. V., Cherepanova N. V., Prokof'ev V. Yu., Savva N. E., Smil'gin S. V., Trubkin N. V., Alekseev V. Yu. Mestorozhdenie zolota v granitoidnom shtoke Butarnyi (Severo-Vostok Rossii) [Gold deposit in the Butarny granitoid stock (North-East Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [*Geology of ore deposits*], 2013, V. 55, № 3, pp. 214–237. (In Russ.)
 7. Dolgov Yu. A., Ermakov N. P. Termobarogeokhimiya [Thermobarogeochemistry], Moscow, Nedra Publ., 1979, 271 p.
 8. Merkulova T. V., Mishin L. F. Okislitel'no-vostranovitel'nye protsessy v mezozoisko-kainozoiskikh vulkano-plutonicheskikh sistemakh i ikh rol' v formirovaniy regional'nykh gravitatsionnykh i magnitnykh anomalii Dal'nego Vostoka [Redox processes in Mesozoic-Cenozoic volcano-plutonic systems and their role in the formation of regional gravitational and magnetic anomalies of the Far East], *Tikhookeanskaya geologiya* [*Pacific Geology*], 2015, V. 34, № 6, pp. 112–124. (In Russ.)
 9. Pisarev P. A., Kupriyanova T. N., Kozlov D. S., Vlasov E. A., Kolova E. E. Osobennosti veshchestvennogo sostava rud i formatsionnaya prinadlezhnost' zolotorudnogo mestorozhdeniya Chul'batkan [Features of the material composition of ores and formational affiliation of the Chulbatkan gold deposit], *Sbornik tezisev dokladov XIV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Geologiya, prognoz, poiski i otsenka mestorozhdenii almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov»* [*Collection of abstracts of reports of the XIV International scientific and practical conference "Geology, forecast, prospecting and evaluation of deposits of diamonds, noble and non-ferrous metals"*], Moscow, TsNIGRI Publ., 2025, pp. 328–331. (In Russ.)
 10. Roedder E. Flyuidnye vklyucheniya v mineralakh. V 2-kh t. T. 1: Priroda vklyucheniya i metody ikh issledovaniya / Perevod s angliiskogo [Fluid inclusions in minerals. In 2 volumes. Volume 1: The nature of inclusions and methods of their study / Translated from English], Moscow, Mir Publ., 1987, V. 1, 560 p.
 11. Roedder E. Flyuidnye vklyucheniya v mineralakh. V 2-kh t. T. 2: Ispol'zovanie vklyucheniya pri izuchenii genezisa porod i rud / Perevod s angliiskogo [Fluid inclusions in minerals. In 2 volumes. Volume 2: Using inclusions in the study of the genesis of rocks and ores / Translated from English], Moscow, Mir Publ., 1987, V. 2, 632 p.
 12. Fomina M. I., Mikhailitsyna T. I. Kharakternye mineralogicheskie cherty Au-kvartsevoogo mestorozhdeniya Chul'batkan (Khabarovskii krai) [Characteristic mineralogical features of the Chulbatkan Au-quartz deposit (Khabarovsk Krai)], *Sbornik tezisev dokladov XIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov, otsenki mestorozhdenii almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov»* [*Collection of abstracts of reports of the XIII International scientific and practical conference "Scientific and methodological foundations for forecasting, prospecting, and evaluation of deposits of diamonds, precious and non-ferrous metals"*], Moscow, TsNIGRI Publ., 2024, pp. 383–386. (In Russ.)
 13. Sharueva L. I., Lopatin B. G. Gosudarstvennaya karta Rossiiskoi Federatsii masshtaba 1 : 1 000 000. Tret'e pokolenie. Seriya Dal'nevostochnaya. List N-54 (Nikolaevsk-na-Amure) [State Map of the Russian Federation, Scale 1 : 1 000 000. Third Generation. Far Eastern Series. Sheet N-54 (Nikolaevsk-on-Amur)], St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2016.
 14. Bodnar R. J. and Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions, In Fluid inclusions in minerals: methods and applications, IMA short course volume, Virginia Polytechnic Institute and State University Press, 1994, pp. 117–130.
 15. Brown P. E. FLINCOR: a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data, *American Mineralogist*, 1989, V. 74, pp. 1390–1393.
 16. Hart C. J. R. Reduced intrusion-related gold systems, In Mineral deposits of Canada: a synthesis of major deposit types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, 2007, No 5, pp. 95–112.
 17. Ishihara S. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks, *Mining Geology*, 1977, No 27, pp. 293–305.



18. Logan J. M. Prospective areas for intrusion-related gold-quartz veins in Southern British Columbia, *Geological Fieldwork 2000*, Paper 2001–1. pp. 113–134.
19. Thompson J. F. H., Sillitoe R. H., Baker T., Lang J. R., Mortensen J. K. Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces, *Mineral Deposita*, 1999, V. 34, pp. 323–334.
20. Van den Kerkhof A. M., Hein U. F. Fluid inclusion petrography, *Lithos*, 2001, V. 55 (1). pp. 27–47.
21. Zhang Y. G. and Frantz J. D. Determination of the homogenisation temperatures and densities of superficial fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluids inclusions, *Chemical Geology*, 1987, V. 64, pp. 335–345.

Писарев Пётр Анатольевич (pisarev.peter@gmail.com)
начальник отдела геологоразведочных работ ¹

Куприянова Таисия Николаевна
ресурсный геолог ¹

Козлов Дмитрий Сергеевич
старший геолог ¹

Власов Евгений Алексеевич
кандидат геолого-минералогических наук, доцент ²

Колова Елена Евгеньевна
кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник ³

¹ ООО «Удинск Золото» (ПАО «Полюс»), г. Хабаровск, Россия;

² Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия;

³ ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан, Россия

Piotr Anatolievich Pisarev
Head of Geological Exploration Department ¹

Taisiya Nikolaevna Kupriyanova
Resource Geologist ¹

Dmitry Sergeevich Kozlov
Senior Geologist ¹

Evgeniy Alekseevich Vlasov
Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor ²

Elena Evgenevna Kolova
Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher ³

¹ LLC «Udinsk Zoloto» (PJSC Polyus), Khabarovsk, Russia;

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;

³ N. A. Shilo North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute (NEISRI), FEB RAS, Magadan, Russia