

УДК 551.441.(571.65)

ЭПИТЕРМАЛЬНАЯ Ag–Au МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ТЭЛЭВЕЕМСКОГО ВУЛКАНО-КУПОЛЬНОГО ПОДНЯТИЯ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧУКОТКА)

© 2024 г. А. В. Волков^{a, *}, Н. Е. Савва^b, А. Г. Пилицын^c, А. В. Григорьева^a,
А. В. Ефимов^d, А. Л. Галямов^a

^aИнститут геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Стромынин пер., 35, Москва, 119017 Россия

^bСеверо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. Н. А. Шило ДВО РАН, ул. Портовая, 16, Москва, 685000 Россия

^cИнститут минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов,
ул. Вересевая, 15, Москва, 121357 Россия

^dООО “Терра Инвест”,
дер. Кривцово, 3, Солнечногорск, Московская обл., 141554 Россия
*e-mail: tma2105@mail.ru

Поступила в редакцию 08.04.2024 г.

После доработки 17.04.2024 г.

Принята к публикации 27.06.2024 г.

В статье рассмотрены геологические и минералого-геохимические особенности Au–Ag эпитеpмальной минерализации Тэлэвеемского вулканоподнятия (ВКП), осложняющего Верхне-Пыкарваамскую вулканотектоническую депрессию (ВТД), Центрально-Чукотского сектора Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП). Структура рудопоявления обусловлена его локализацией в пределах одноименного ВКП. Главная жильная зона рудопоявления Тэлэвеем, шириной до 500 м, протягивается в меридиональном направлении на 2.5 км. По простиранию ГЖЗ кулисообразные сближенные кварц-адуляровые жилы последовательно сменяются зонами тонкого прожилкования и брекчирования во вторичных кварцитах и аргиллизитах. Содержание золота в этих образованиях варьирует от 1.4 до 17.3 г/т, серебра – от 7.6 до 144.6 г/т. В рудах широко развиты брекчиевая, каркасно-пластинчатая, жеодовая и тонко-прожилковая текстуры. Главные рудные минералы: пирит, арсенопирит, акантит, блеклые руды ряда фрейбергит–тетраэдрит, стефанит, полибазит, низкопробное самородное золото (пробность варьирует – 249–532‰), титанит. Количество рудных минералов в жилах обычно не превышает 0.5%, в редких случаях достигает 3%. По минералогическим данным, рудопоявление может быть отнесено к слабо- или средне-эродированным. Слабая эродированность позволяет предположить высокую вероятность выявления не выходящих на поверхность рудных тел.

Ключевые слова: Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, Центральная Чукотка, вулканоподнятие, Тэлэвеемское рудопоявление, вторичные кварциты, кварц-адуляровые жилы, текстуры, эпитеpмальная минерализация, золото, серебро

DOI: 10.31857/S0203030624050017, EDN: HNNLQU

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в связи со значительным сокращением добычи золота и серебра из богатых руд эпитеpмальных месторождений Купол, Двойное и Валунистое, в Чукотском автономном округе остро стоит вопрос воспроизводства запасов этих металлов. К потенциально перспективным,

в этом плане относится Тэлэвеемское рудное поле (Центральная Чукотка). Рабочей группой ФГУП ЦНИГРИ (протокол № 9 от 30 сентября 2009 г.) было рекомендовано принять для Осиновской перспективной площади оценку прогнозных ресурсов категории РЗ в количестве 46 т золота и 320 т серебра. Кроме того, экономический интерес к этому объекту обусловлен близостью

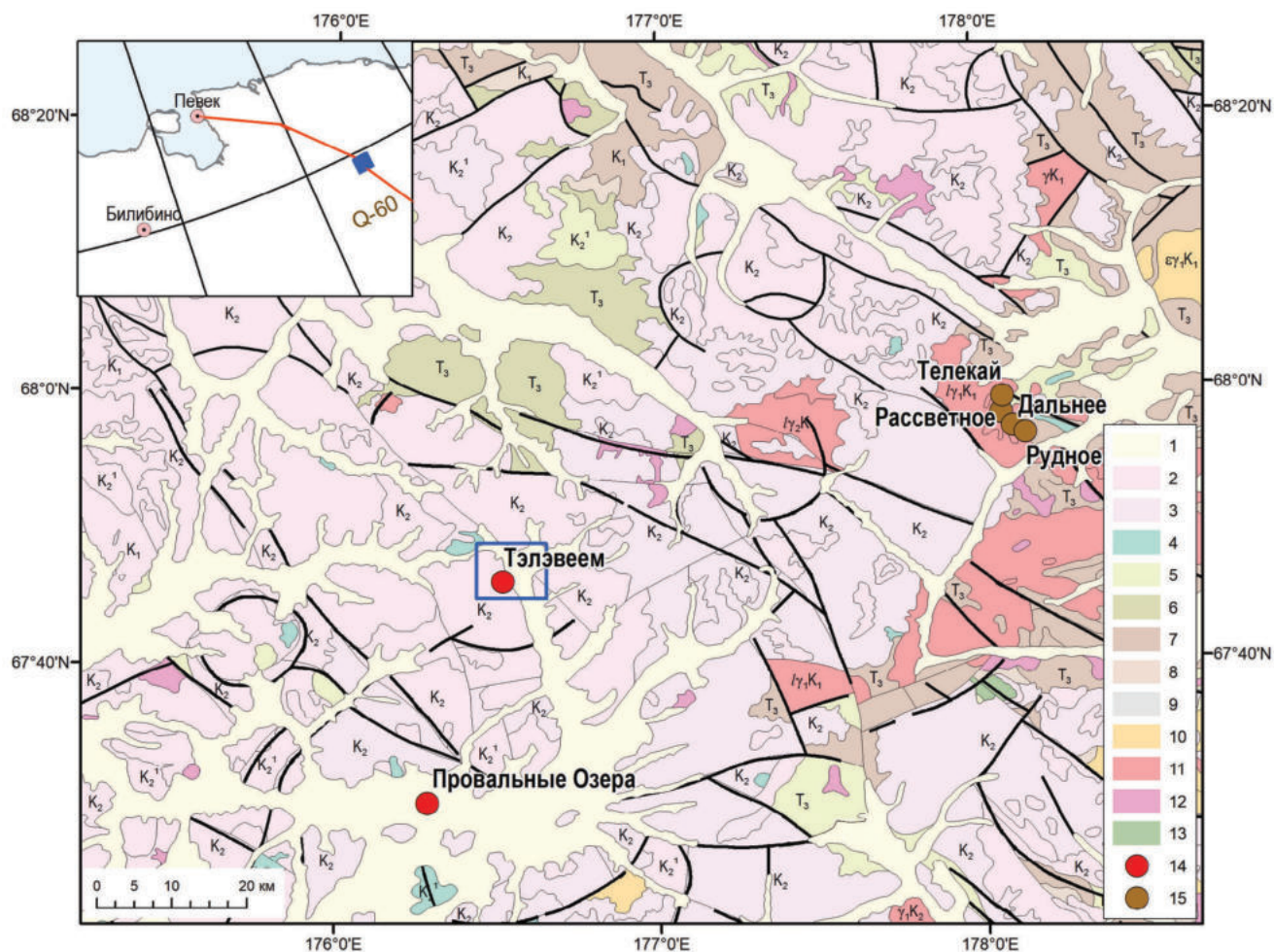


Рис. 1. Положение Тэлэвеемского рудного поля в региональных структурах Центральной Чукотки, на основе [Государственная геологическая карта..., 2016].

1–13 – формации: 1 – четвертичные отложения, 2 – риолиты, 3 – дациты, 4 – андезиты, 5 – базальты, 6 – туфы, 7 – песчаники, 8 – алевролиты и аргиллиты, 9 – метаморфические породы, 10 – граносиениты, 11 – граниты, 12 – диориты, 13 – габбро; 14, 15 – рудопроявления золотосеребряные (14) и оловорудные (15).

последнего к грунтовой автодороге Певек – Эгвекино, расстояние до порта Певек – 451 км (рис. 1, врезка), до рудника Валунистый – 250 км, до порта Эгвекино – 450 км.

Тэлэвеемское рудное поле было выявлено при проведении геолого-съёмочных работ 1:200000 масштаба Осиновским ГСО Чаунской ГРЭ (1972–1975) под руководством В.Г. Желтовского (1976ф)¹, изучение продолжено Верхне-Осиновским ГСО, проводившим геолого-съёмочные работы 1:50000 масштаба (1993–1994).

В 2011–2013 гг. Чаунским ГПП проведены поисковые работы на золото и серебро в пределах Осиновской перспективной площади

(Черепанова И.Ю., 2013ф)². В границах Тэлэвеемского рудного поля, кроме рудопроявления Тэлэвеем, были выделены еще 3 поисковых участка: Условный, Северный и Восточный (рис. 2). На рудопроявлении Тэлэвеем были установлены рудные тела с промышленными содержаниями золота и серебра.

В 2020 г. в пределах рудного поля сотрудниками ИМГРЭ по договору с ООО “Терра-Инвест” (владельцем лицензии) проведена геохимическая съёмка масштаба 1:10000, направленная на поиски новых рудных тел. В ходе этих работ собрана коллекция образцов для минералого-геохимических исследований руд.

¹ Неопубликованный отчет, находящийся в ФГБУ “Росгеолфонд”.

² Неопубликованный отчет, находящийся в ФГБУ “Росгеолфонд”.

В 2022–2023 гг. образцы руд были изучены в лаборатории геологии рудных месторождений ИГЕМ РАН с применением современных методов анализа минерального вещества. Кроме того, авторами были проанализированы и обобщены данные предшественников по геологии и металлогении рудного района. В настоящей статье обсуждаются результаты этих исследований.

Обобщенная информация по геологии и вещественному составу Au–Ag минерализации Тэлэвеемского рудного поля приведена в монографии [Волков и др., 2006].

Главная цель настоящей статьи – анализ новых данных по геологии и вещественному составу рудопоявления Тэлэвеем, определение генетической принадлежности эпиптермальной минерализации; выделение на этой основе новых и уточнении известных критериев оценки промышленной значимости этого рудопоявления. Следует отметить, что в данной работе впервые приведены результаты электронной микроскопии и электронно-зондового микроанализа рудных минералов этого рудопоявления.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в лаборатории геологии рудных месторождений и аналитическом центре коллективного пользования ИГЕМ РАН.

Оптическая микроскопия шлифов и аншлифов руд проводилась с использованием микроскопа Nikon Polarizing ECLIPSE 50i POL в проходящем и отраженном свете. Диагностика рудных минералов выполнена на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610LV (Япония) в отраженных электронах (BSE COMPO), отображающих контраст в зависимости от среднего атомного номера элемента (аналитик Л.А. Иванова). Пространственное разрешение изображений в режиме регистрации отраженных электронов составляет порядка 400 Å. Электронный микроскоп оснащен энергодисперсионным аналитическим спектрометром INCA-Energy 450 (Великобритания), который позволяет проводить качественный и полуколичественный анализ с рельефных образцов, и количественный анализ с полированных образцов. Возможно определение всех элементов

тяжелее С (исключая N) в точке с локальностью от 7 мкм для легкой матрицы и до 1 мкм для матрицы с большим средним атомным номером, а также проводить количественный анализ по площади образца.

Химический состав рудных минералов определялся на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8200 JEOL в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН. Анализ осуществлялся при ускоряющем напряжении 20 кВ, силе тока на цилиндре Фарадея 20 нА, диаметре зонда 1 мкм. Время экспозиции на основные элементы составляло 10 с, на примесные – 20 с. Расчет поправок осуществлялся по методу ZAF-коррекции с помощью программы фирмы JEOL (аналитик В.И. Таскаев).

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

Тэлэвеемское вулcano-купольное поднятие (ВКП), осложняющее Верхне-Пыкарваамскую вулканотектоническую депрессию (ВТД) расположено в Центрально-Чукотском секторе Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) (см. рис. 1). ВКП находится в узле пересечения трех крупных разломов, отчетливо выделяющихся по геофизическим данным – Пыкарваамского, Верхне-Анадырского и Чанталского, широтного, северо-восточного и север–северо-западного простирания (Черепанова И.Ю., 2013ф)². Разломы субмеридиональной и северо-восточной ориентировки контролируют размещение жильно-прожилковых зон с золотосеребряной минерализацией.

ВКП имеет эллипсовидную форму (15 км по длинной оси и 6 км по короткой) и характеризуется преимущественно периклинальным залеганием вулканитов с углами падения до 15°. Центральную часть эллипса, заключенную между дуговыми разломами, выгнутыми внутрь структуры, занимает Тэлэвеемское рудное поле. Дуговые разломы образуют структурную ловушку – благоприятную для проникновения гидротермальных растворов.

В строении ВКП принимают участие отложения средней подтолщи гайманенской толщи и комагматичные им субвулканические образования (см. рис. 2). Фундамент представлен дислоцированными морскими норийскими

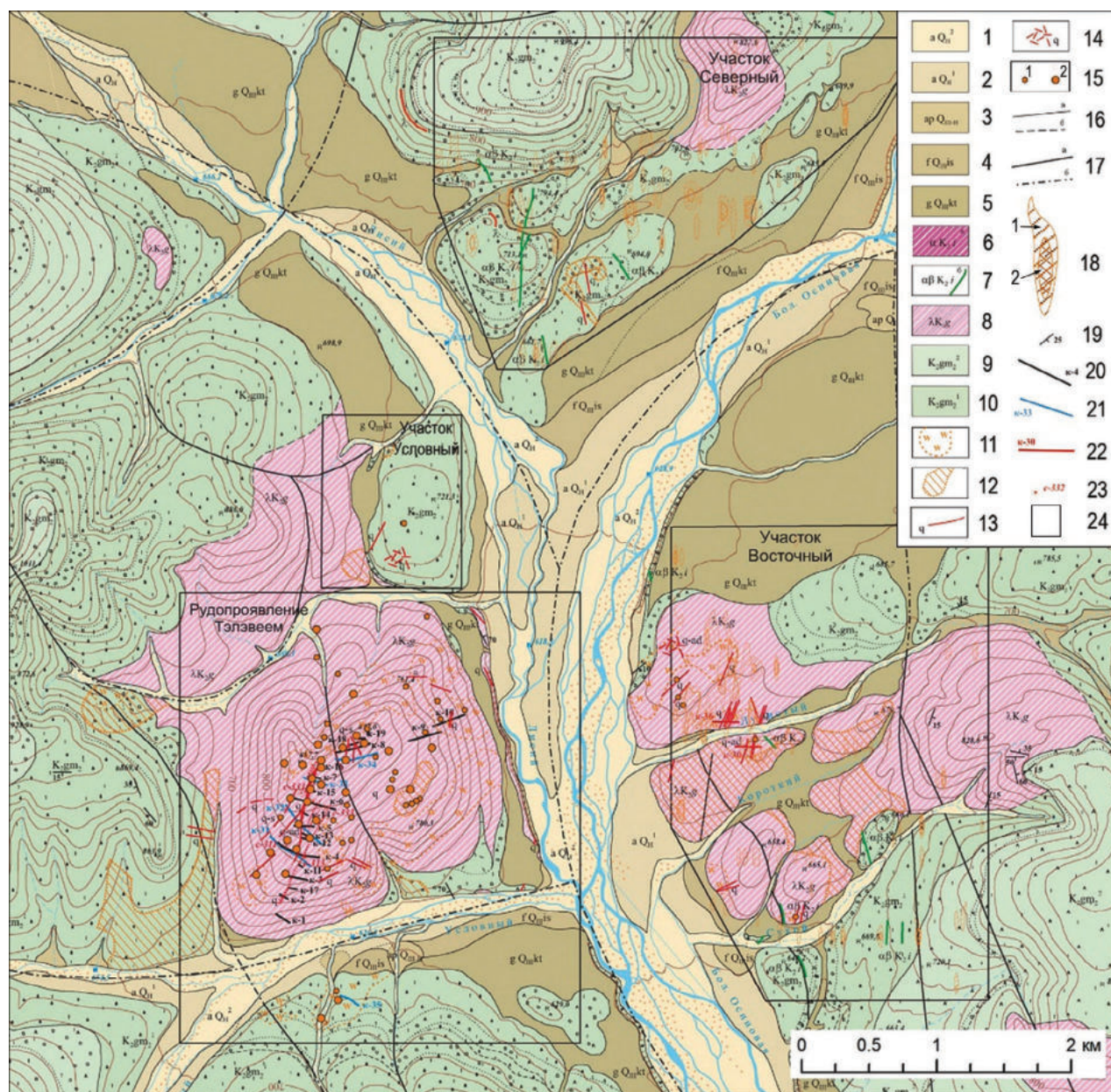


Рис. 2. Геологическая карта Тэлвеемского рудного поля, составлена на основе материалов (Черепанова И.Ю., 2013ф)².

1 – русловые галечники с гравием, валунами, песком, суглинком и торфом (до 2 м); 2 – аллювиальные галечники с гравием, валунами, песком, суглинком и торфом (до 3 м); 3 – неоплейстоцен-голоцен, аллювиально-пролювиальные глыбы, щебень с примесью песка и суглинков, делювиально-солифлюкционные (ds) супеси, суглинки с дресвой и щебнем (1–7 м); 4 – четвертая ступень, искатеньский горизонт, флювиогляциальные галечники, гравий, пески (3–5, редко до 10 м); 5 – вторая ступень, гляциальные глыбники с валунами, щебнем, песком и суглинком, флювиогляциальные (f) галечники с песком и редкими валунами (4–5, редко до 20 м); 6, 7 – Ичугеевский комплекс лампрофиров, сиенит-порфиров, риолитов гипабиссальный: 6 – мелкие штоки андезитов, 7 – дайки андезибазальтов; 8 – Гайманенский комплекс андезит-риодацитовый, тела риолитов и риодацитов, и их кластолавы; 9, 10 – гайманенская толща, средняя подтолща: 9 – верхняя пачка, игнимбриты риолитов, риодацитов, трахириодацитов, трахидацитов с горизонтами латитов, андезитов, дацитов (более 650 м), 10 – нижняя пачка, туфы, игнимбриты риолитов, риодацитов, реже лавы, горизонты туффитов (300–550 м); 11, 12 – площадные тела: 11 – полнопроявленные вторичных кварцитов, 12 – поля развития аргиллизитов и ожелезнения; 13, 14 – жилы: 13 – кварцевые, кварц-адуляровые (q-ad), кварц-сульфидные (q-s); 14 – развалы кварцевых и кварц-адуляровых (q-ad) жил; 15 – пункты минерализации с содержаниями золота (1 – 1–10 г/т, 2 – 10–405 г/т); 16 – геологические границы между разновозрастными геологическими образованиями (— достоверные, б — предполагаемые); 17 – зоны интенсивной трещиноватости (— достоверные, б — скрытые под четвертичными образованиями); 18 – геохимические аномалии золота с содержаниями (1 – 14.5–36.0 мг/т, 2 – 36.0–3600.0 мг/т); 19 – элементы залегания флюиальности, слоистости; 20 – канавы предшественников и их номера; 21 – канавы, пройденные в 2012 г., и их номера; 22 – канавы, пройденные в 2013 г., и их номера; 23 – скважины, пробуренные в 2013 г., и их номера; 24 – поисковые участки.

алевролитами. Изотопное датирование K–Ar методом игнимбритов риолитов средне-гайманенской подтолщи показало 87 млн лет, что соответствует позднемеловому (турон–сантон) возрасту [Исаева и др., 2016].

По периферии ВКП развиты неизменные породы. Центральную часть ВКП, площадью около 25 км², занимают вторичные кварциты. По направлению к центру поднятия в последних появляются и нарастают признаки гидротермальных изменений: окварцевание, ожелезнение, частично пиритизация и каолинизация.

Средне-гайманенская подтолща (K₂ gm₂) сложена тонкослоистыми туфоигнимбритовыми разностями с горизонтами лав субщелочных риодацитов и риолитов, имеющих туфо-туфитовые горизонты в основании отдельных пачек. Породы согласно залегают на образованиях берложьинской толщи (K₂ br) и согласно перекрываются отложениями верхней подтолщи (K₂ gm₃). Для средней подтолщи типичны сравнительно маломощные (1 м – первые 10 м) горизонты слабо спекшихся пирокластических образований с линзовидными прослоями туфопесчаников и туфоалевролитов мощностью от 0.5 м до десятков метров (чаще 3–7 м). Породы отчетливо стратифицированы. В составе подтолщи на изученной территории выделены две пачки, в пределах лицензионной площади представлена нижняя пачка.

Нижняя пачка среднегайманенской подтолщи (K₂ gm₂₁) имеет сложное линзовидное строение. Характерной чертой пачки является наличие в нижней части риолитов и игнимбритов “крупновкрапленникового” облика, а выше тонкофлюидальных риолитов, риодацитов. Мощность горизонта “крупновкрапленниковых” риолитов варьирует от первых метров до 200 м. Тонкофлюидальные разности составляют основной объем нижней пачки средней подтолщи и развиты в центральной части рудного поля. Встречаются единичные горизонты лавобрекчий с обилием обломков (размер обломков от 1–2 см до 10–15 см). Общая мощность разреза до 250 м.

Субвулканические гайманенские образования ВКП имеют существенно риолитовый состав и представлены куполовидными или субпластовыми телами с площадью выхода до 8–20 км². Они представлены разнообразными

по текстурно-структурным особенностям породами от массивных порфировых риолитов с вкрапленниками кварца, полевого шпата и фельзитовой основной массой до тонкофлюидальных и пузырчатых риолитов, риодацитов, сферолитовых разностей, литокристаллокластических игнимбритов риодацитов. Часто отмечается наличие брекчиевидных текстур.

Позднемеловые интрузивные образования слабо распространены и представлены в ВКП ичувеемским комплексом малых интрузий – дайками андезитов и андезибазальтов. Они прорывают практически все вулканогенные образования района. Небольшие (до 1 м мощностью и 100–200 м протяженностью) дайки распространены на рудном поле довольно хаотично. Наибольшим распространением пользуются дайки, типичных андезитов с порфировой структурой, реже встречаются андезибазальты равномернозернистой пойкилитовой структуры.

В центральной части ВКП вулканы метасоматически изменены до вторичных кварцитов, кварц-адуляровых метасоматитов и аргиллизитов (рис. 3а). Высокая степень изменения вулкаников в значительной мере затрудняет их диагностику, а также определение характера взаимоотношений между их разностями.

Рудопроявление Тэлэвеем расположено на левом борту руч. Условный, в 2 км от его впадения в р. Большая Осинная (см. рис. 2). В геологическом строении рудопроявления принимают участие преимущественно риолиты и риодациты, слагающие довольно крупное субвулканическое тело – Тэлэвеемский субвулкан (площадью 8 км²), вытянутый в широтном направлении, и в меньшей степени – покровные разности среднегайманенской подтолщи (см. рис. 2). По структурным особенностям в пределах субвулканического тела выделяются порфировые массивные, флюидальные и флюидально-очковые, сферолитовые, лавобрекчиевые разности субвулканических пород (Черепанова И.Ю., 2013ф)².

Главная жильная зона (ГЖЗ) рудопроявления, шириной 200–500 м, протягивается в меридиональном направлении на 2.5 км, в центральной части субвулканического тела (см. рис. 2). По простирацию ГЖЗ кулисообразные сближенные кварц-адуляровые жилы последовательно

сменяются зонами тонкого прожилкования и брекчирования вторичных кварцитах и аргиллизитах (Черепанова И.Ю., 2013ф)². Возраст рудной минерализации, судя по геологическим данным, позднемеловой. Кварцевые брекчии в ГЖЗ обычно не имеют четких ограничений и постепенно переходят в тонкое прожилкование и трещиноватые метасоматиты. Простираие зон брекчий разнообразное, но чаще они вытянуты в север-северо-восточном направлении. Ширина зон достигает 50–80 м, чаще — 10–20 м. В брекчиях иногда встречаются участки с обильной тонко-распыленной вкрапленностью арсенопирита, как в обломках, так и в кварцевом цементе.

Протяженность выявленных в ГЖЗ отдельных рудных тел — от 300 до 650 м, мощность — от 1.0 до 4.0 м, содержание золота в бороздовых пробах варьирует от 1.4 до 17.3 г/т, серебра — от 7.6 до 144.6 г/т. Высокие содержания золота (до 156.7 г/т) и серебра (до 4876.7) г/т в штуфных пробах свидетельствует о наличии рудных столбов (бонанц).

ТЕКСТУРЫ РУД

В рудах установлено широкое развитие брекчиевой, каркасно-пластинчатой, друзовидной, колломорфной и тонко-прожилковой текстур (см. рис. 3) — типичных для близповерхностного эпитермального рудообразования [Сидоров, 1978]. В жилах преобладают каркасно-пластинчатая, друзовая и колломорфная текстуры (см. рис. 3б, 3в).

Тонко-прожилковая и массивная текстуры (см. рис. 3а) характерны для кварц-адуляровых метасоматитов ГЖЗ. Кроме того, эти породы часто брекчированы и представляют собой окварцованные брекчии (см. рис. 3г), состоящие из остроугольных, реже округлых обломков кварцита и аргиллизита, сцементированных мелкозернистым кварцем. Соотношение цемента к обломкам 1:3. В брекчиях отмечаются редкие аргиллизированные реликты порфировых вкрапленников полевого шпата, пятнистые скопления гидрослюды. Кварц цемента — мелкозернистый, аллотриоморфнозернистый.

Каркасно-пластинчатая текстура обусловлена присутствием ориентированных субпараллельных удлиненных пластинчатых агрегатов кварца, повернутых относительно друг друга

под углом 30° или 60°, которые образуют каркасы с вытянутыми ячейками в форме трех- или четырехугольников (см. рис. 3в). Между повернутыми блоками пластин часто имеются полигональные пустоты. От стенок каркасов внутрь полигональных пустот нарастают новообразованные кристаллы кварца. В строении каркасов могут принимать участие и другие жильные минералы. Каркасно-пластинчатые текстуры содержат вкрапленную рудную минерализацию.

Друзовидная текстура. В небольших пустотах на фоне каркасно-пластинчатой текстуры развиваются мелкие друзы кварца (см. рис. 3в). Осевые части жил иногда занимают прожилки друзовидного аметиста, мощностью до 6 см. Редко аметистовые прожилки фиксируются непосредственно в метасоматитах. Друзовидная текстура наблюдается среди каркасно-пластинчатого агрегата при заполнении полигональных пустот, в местах сочленения прожилков, в центре симметрично-полосчатых образований (см. рис. 3в). На заключительных этапах рудообразующего процесса, на стенках пустот отлагаются хорошо образованные кристаллы кварца (см. рис. 3в), аметиста, а нередко и рудные минералы (блеклая руда, акантит).

Колломорфная текстура. Ранний мелкозернистый и криптокристаллический кварц в жилах, иногда халцедоновидный с участками зарождения крупнозернистого перистого кварца (см. рис. 3б), сменяется более крупными пластинчато-каркасными индивидами. Такая текстура характерна для халцедоновидных агрегатов (см. рис. 3б). Под микроскопом халцедон в колломорфной окантовке часто имеет микроволокнистую структуру с острыми входящими углами между соседними контактирующими сфероидными.

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД

По данным изучения полированных шлифов, в пределах ГЖЗ выделены кварц-адуляровые метасоматиты (см. рис. 3а), которые содержат тонкие сульфидные прожилки и вкрапленность, представленную марказитом и арсенопиритом (рис. 4а, 4б). Кварц-адуляровый метасоматит — это порода, в которой кварц (80–85%) — мелко-среднезернистый молочно-белый, а адуляр (до 15%) — белый

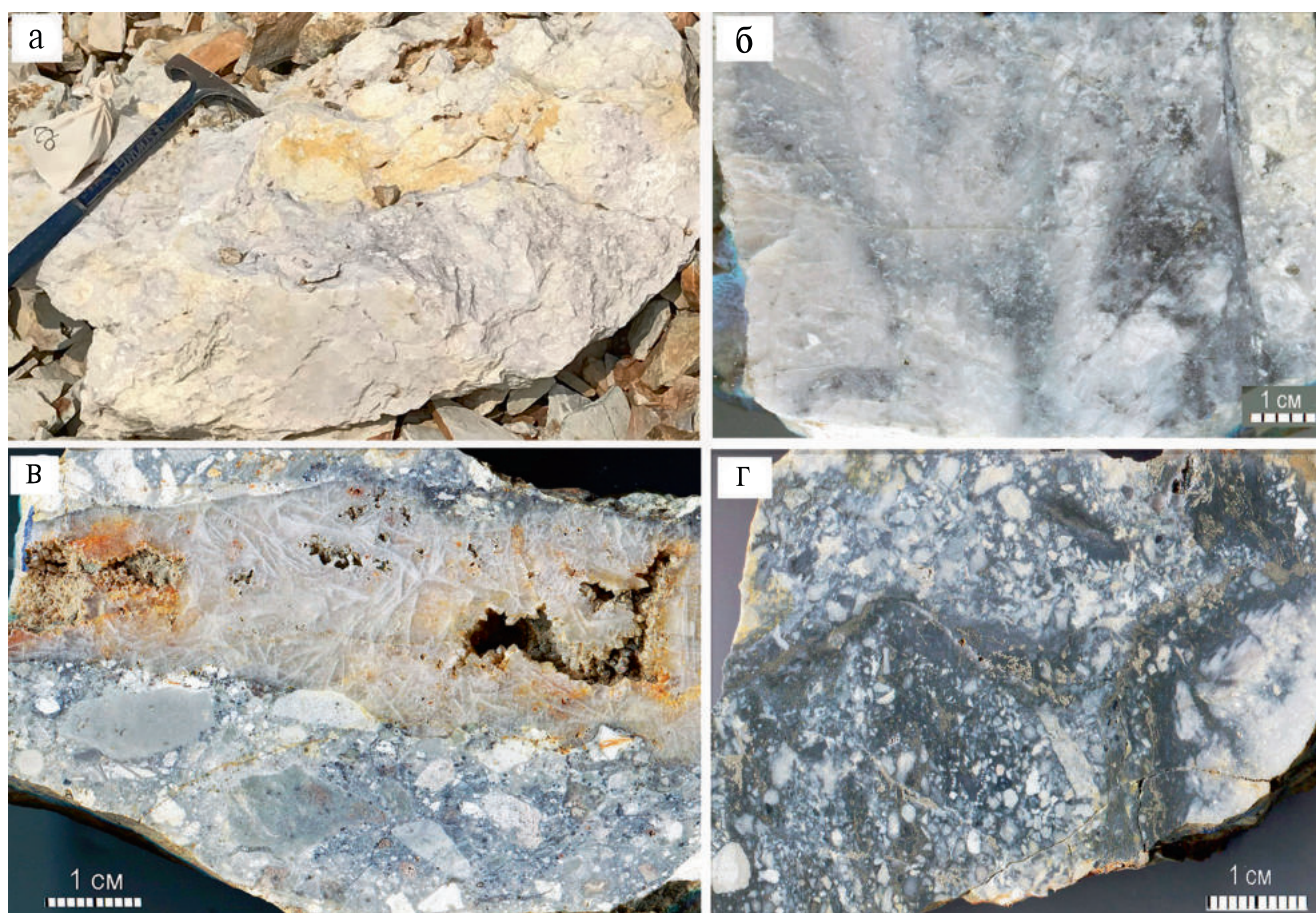


Рис. 3. Текстуры руд рудопроявления Тэлэвеем.

а — тонко-прожилковая текстуры вторичных кварцитов; б — колломорфная текстура халцедоновидного кварца; в — адуляр-кварцевая жила с друзовидной и каркасно-пластинчатой текстурами; г — кварцевая брекчия (кварц цементирует окварцованные обломки игнимбритов, риолитов, туфов и туфоалевролитов).

мелкозернистый, слагает полосы 1–2 мм, а также выделяется в виде редких мелких кристаллов. Марказит образует вытянутые (до 1.5 мм) цепочки мелких кристаллических агрегатов размером от 0.1 до 0.3 мм (см. рис. 4а). Арсенопирит нарастает на марказитовые цепочки в виде идиоморфных ромбовидных и игольчатых выделений (см. рис. 4б).

В некоторых образцах кварц-адуляровых метасоматитов достаточно часто встречается титанит, который в ряде случаев нарастает и пересекает арсенопирит (см. рис. 4г). В брекчированных метасоматитах – в халцедоновидном цементе наблюдается вкрапленность фрамбоидального пирита (см. рис. 4е). Кроме того, установлены арсенопирит-пиритовые агрегаты, сцементированные кварцем (см. рис. 4ж).

В продуктивных кварцевых жилах ГЖЗ рудные минералы приурочены к зальбандам,

где они образуют скопления и вкрапленность темно-серого цвета, распределение которых весьма неравномерно. Часто как в кварцевых жилах, так и прожилках, особенно с каркасно-пластинчатой текстурой кварца, наблюдается тонкораспыленная вкрапленность рудных минералов, которая представляет собой многочисленные включения сульфидов и сульфосолей серебра, а также низкопробного самородного золота.

Пирит — гипидиоморфный, имеет квадратные и прямоугольные очертания кристаллов 0.2–0.6 мм. Срастается с арсенопиритом и сульфосолями серебра. Пирит образует скопления кристаллов во вмещающей породе (рис. 5е, 5е₁) и сростки с блеклыми рудами (см. рис. 5ж). Иногда образует мелкие включения в полибазите (рис. 6в). Крупные кристаллы пирита (более 100 мкм) содержат множественные

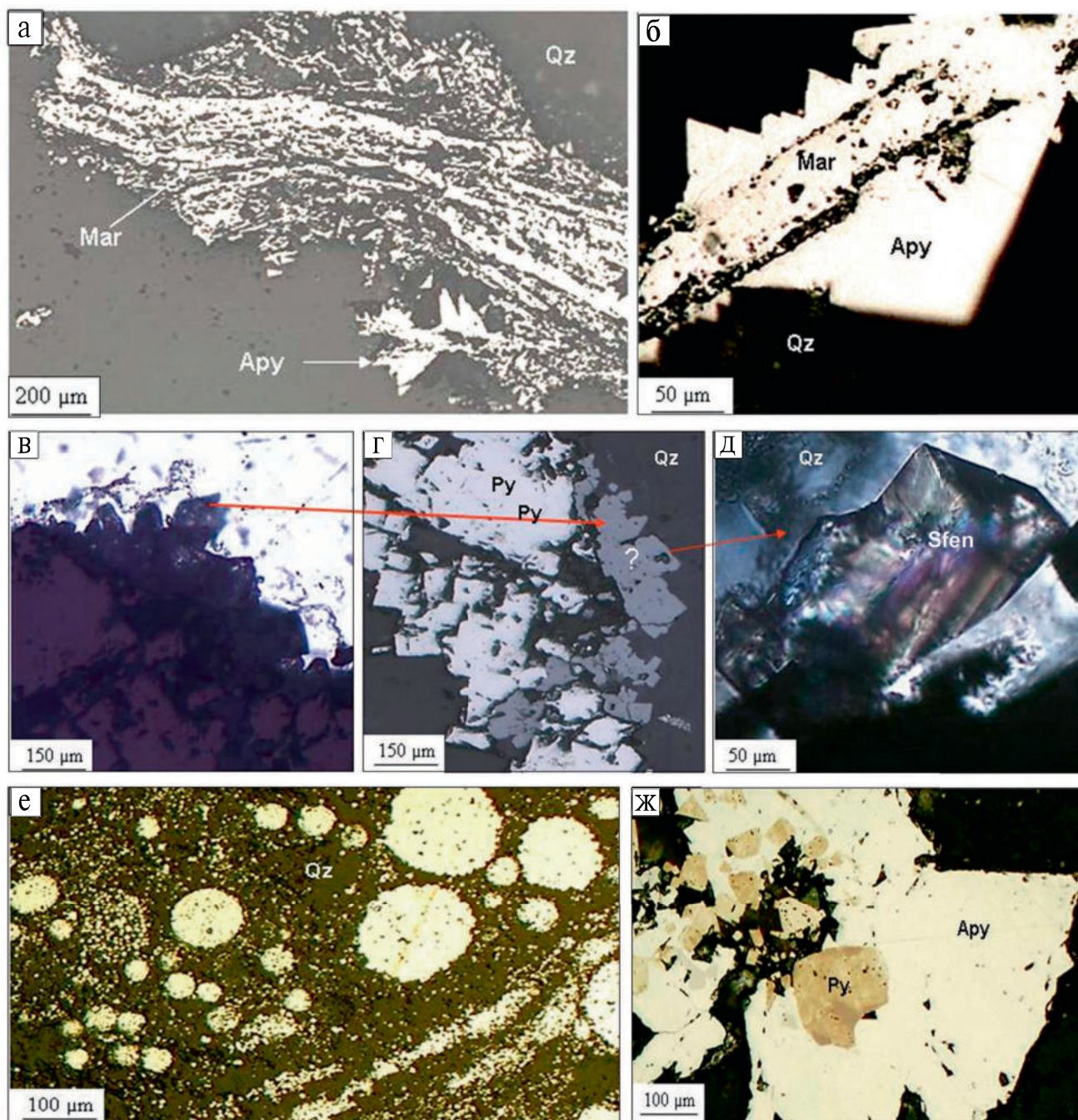


Рис. 4. Фотографии рудной минерализации во вторичных кварцитах (аншлифы).

а, б — арсенопирит-марказитовые минеральные агрегаты в кварце; в — без анализатора — кристаллы анатаза (?) в сростании с пиритом (светлое кварц); г — пирит в сростании с анатазом (?), в отраженном свете; д — кристалл прозрачного титанита (сфен), с большим увеличением; е — фрамбоидальный пирит в кварцевом цементе брекчии; ж — сростание арсенопирита с гипидиоморфнозернистым пиритом.

тонкозернистые включения Se-содержащего акантита (см. рис. 5е, 5е₁).

Арсенопирит — наиболее распространенный минерал среди вкрапленников. Слагает длиннопризматические, ромбовидные и игольчатые кристаллы и их сростки размером 0.1–0.7 мм

(см. рис. 4а–4в, 4ж). Образует сложные сростания со сфалеритом и пиритом (см. рис. 6а, 6б). Арсенопирит присутствует в виде крупных (0.15–0.20 мм) кристаллов и кристаллических агрегатов во вмещающей породе (см. рис. 5г, 5г₁, 5д). Кристаллы арсенопирита имеют неоднородный

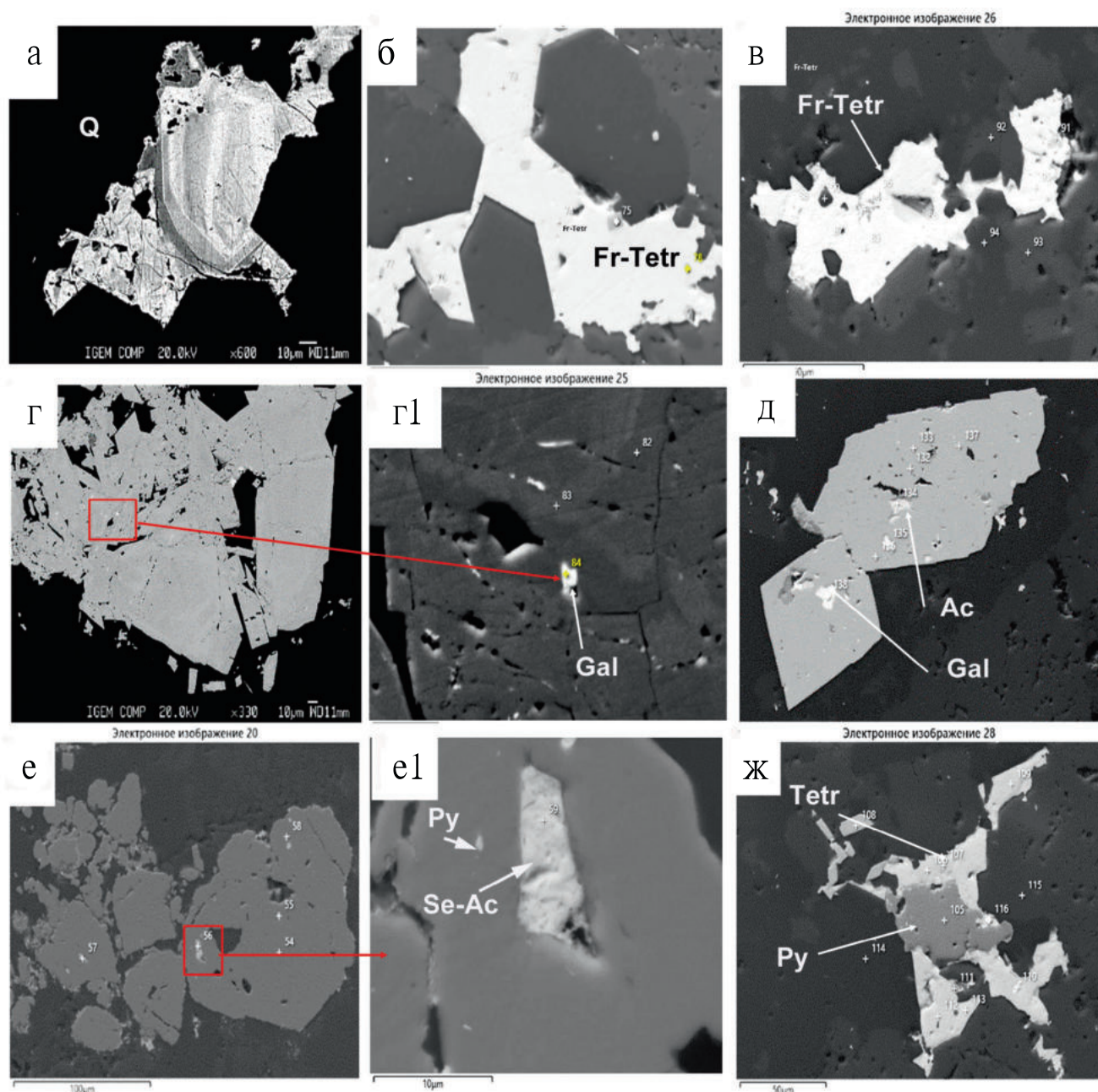


Рис. 5. Формы нахождения рудных минералов в кварц-адуляровой жиле.

а–в – сульфоантимониты серебра и меди в кварц-полевошпатовой матрице; г, г₁, д – зональный арсенопирит с включениями галенита и акантита; е, е₁ – пирит (Py) с множественными включениями акантита, обогащенного селеном (Se–Ac); ж – сросток пирита с сульфосолями. Изображение в отраженных электронах.

химический состав, в них выделяются участки (более светлые), которые обогащены сурьмой (табл. 1). В арсенопирите присутствуют тонкозернистые включения галенита, акантита и фрейбергита (см. рис. 5г, 5г₁, 5д).

Сфалерит – редко встречающийся в сростании с арсенопиритом, содержит очень мелкую эмульсионную вкрапленность халькопирита.

Блеклые руды представлены минералами ряда *фрейбергит–тетр эдрит* (см. рис. 5а–5в): они образуют кристаллические сростания и/или ксеноморфные выделения во вмещающей породе (кварц-полевошпатовых агрегатах) размерами 0.1–0.15 мм и представляют собой смеси сульфидов, сульфоарсенидов и сульфоантимонитов Ag,Cu,Zn,Fe. Выделения блеклых руд

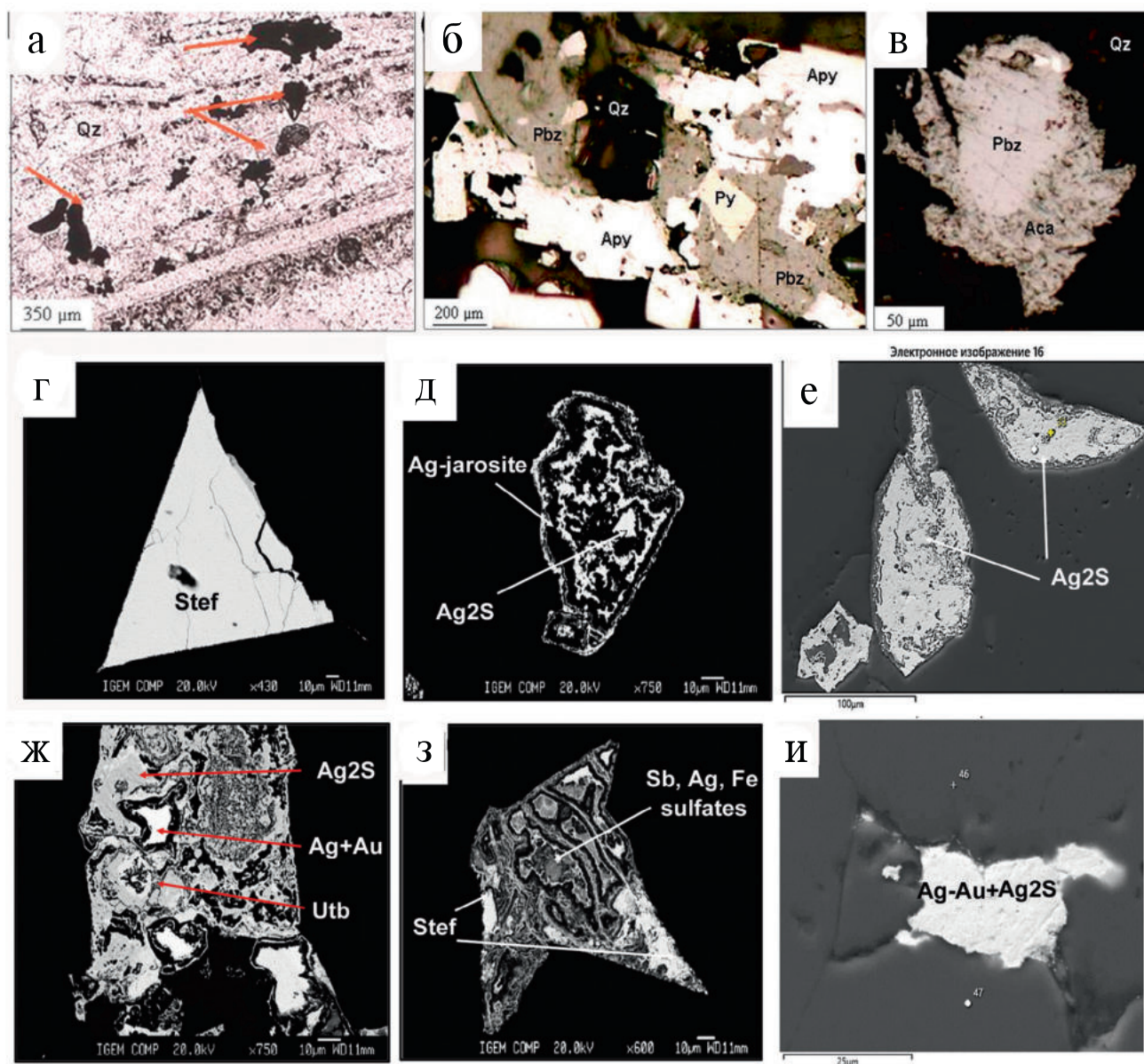


Рис. 6. Рудные минералы кварц-адюляровых жил рудопроявления Тэлэвеем.

а — выделения минералов Ag (черные в проходящем свете), приуроченные к пластинчатому агрегату кварца; б — сложные сростания пирита, арсенопирита и полибазита; в — кайма акантита вокруг выделения полибазита; г — идиоморфный кристалл стефанита ($\text{Stef} = \text{Ag}_5\text{SbS}_4$); д, е — акантит ($\text{Ac} = \text{Ag}_2\text{S}$); ж — сростание акантита с низкопробным золотом (Au-Ag) Ютенбогардтитом ($\text{Utb} = \text{Ag}_3\text{AuS}_2$); з — кристалл стефанита, замещающийся сульфатами Sb, Ag, Fe (Sb-Ag-ярозит); и — тонкие сростания низкопробного золота с акантитом в кварце.

имеют зональное строение (см. рис. 5а) — более светлые зоны обогащены серебром (см. табл. 1).

Акантит (Ag_2S) образует редкие ксеноморфные выделения в кварце, имеет рыхлую структуру (возможно, гипергенный). Он образует крупные ксеноморфные выделения во вмещающей породе, в разной степени замещающиеся сульфатами серебра и железа (аргенти-ярозит, см. рис. 6д). Кроме того, акантит образует комплексные агрегаты с самородным низкопробным золотом

и Ютенбогардтитом (см. рис. 6ж); встречается в виде мелких включений в полибазите (см. рис. 6е).

Низкопробное самородное золото встречается в виде тончайших частиц, которые прорастают в акантите и образует островки, окаймленные сульфатами серебра (см. рис. 6ж). Также подобные агрегаты отмечены в виде очаговых обособлений в кварце (см. рис. 6и). Размеры частиц менее 0.1 мм (см. рис. 6ж, 6и). Пробность золота варьирует от 249 до 532 (см. табл. 1).

Таблица 1. Химический состав рудных минералов месторождения Тэлэвеем, мас. %

Sb	Se	S	Ag	As	Pb	Cu	Fe	Zn	Формулы
Блеклые руды ряда фрейбергит–тетраэдрит									
27.20	0.05	21.16	30.13	0.06	0.06	15.89	3.91	2.42	$(\text{Ag}_{5.32}\text{Cu}_{4.76}\text{Fe}_{1.34}\text{Zn}_{0.70}\text{Pb}_{0.01})_{12.12}(\text{Sb}_{4.26}\text{As}_{0.01})_{4.27}(\text{S}_{12.58}\text{Se}_{0.01})_{12.59}$
26.74	0.03	20.76	31.47	0.07	0.02	14.55	3.81	2.31	$(\text{Ag}_{5.67}\text{Cu}_{4.45}\text{Fe}_{1.33}\text{Zn}_{0.69})_{12.14}(\text{Sb}_{4.27}\text{As}_{0.02})_{4.29}(\text{S}_{12.58}\text{Se}_{0.01})_{12.59}$
25.54	0.01	20.92	31.15	0.10	0.06	15.79	2.84	3.44	$(\text{Ag}_{5.56}\text{Cu}_{4.79}\text{Zn}_{1.01}\text{Fe}_{0.98}\text{Pb}_{0.01})_{12.35}(\text{Sb}_{4.04}\text{As}_{0.02})_{4.06}\text{S}_{12.58}$
24.92	0.03	20.74	30.50	0.41	0.03	16.55	2.72	3.69	$(\text{Ag}_{5.45}\text{Cu}_{5.02}\text{Zn}_{1.08}\text{Fe}_{0.94})_{12.49}(\text{Sb}_{3.94}\text{As}_{0.11})_{4.05}\text{S}_{12.46}$
24.10	0.02	22.34	25.44	1.51	0.09	20.01	3.23	3.13	$(\text{Ag}_{4.35}\text{Cu}_{5.81}\text{Zn}_{0.88}\text{Fe}_{1.07}\text{Pb}_{0.01})_{12.12}(\text{Sb}_{3.65}\text{As}_{0.37})_{4.02}\text{S}_{12.86}$
24.84	0.02	21.02	32.39	0.88	0.04	15.21	2.45	3.76	$(\text{Ag}_{5.76}\text{Cu}_{4.59}\text{Zn}_{1.10}\text{Fe}_{0.84})_{12.29}(\text{Sb}_{3.91}\text{As}_{0.22})_{4.13}\text{S}_{12.58}$
21.52	0.00	21.20	24.49	2.15	0.16	14.64	9.16	2.80	$(\text{Ag}_{4.30}\text{Cu}_{4.36}\text{Zn}_{0.81}\text{Fe}_{3.10}\text{Pb}_{0.01})_{12.58}(\text{Sb}_{3.35}\text{As})_{3.89}\text{S}_{12.52}$
26.65	—	20.1	28.14	—	—	18.16	3.42	3.53	$(\text{Ag}_{5.02}\text{Cu}_{5.50}\text{Zn}_{1.04}\text{Fe}_{1.18})_{12.74}\text{Sb}_{4.21}\text{S}_{12.06}$
26.63	—	20.77	28.75	—	—	17.03	3.58	2.72	$(\text{Cu}_{5.15}\text{Ag}_{5.13}\text{Fe}_{1.23}\text{Zn}_{0.80})_{12.31}\text{Sb}_{4.21}\text{S}_{12.47}$
25.9	—	19.97	32.4	—	—	14.95	3.13	3.64	$(\text{Ag}_{5.88}\text{Cu}_{4.60}\text{Fe}_{1.10}\text{Zn}_{1.09})_{12.67}\text{Sb}_{4.16}\text{S}_{12.18}$
26.24	—	20.68	27.22	—	—	18.43	3.31	3.25	$(\text{Cu}_{5.56}\text{Ag}_{4.84}\text{Fe}_{1.14}\text{Zn}_{0.95})_{12.49}\text{Sb}_{4.13}\text{S}_{12.37}$
25.8	—	19.97	29.45	—	—	17.13	3.32	3.5	$(\text{Ag}_{5.31}\text{Cu}_{5.25}\text{Fe}_{1.16}\text{Zn}_{1.04})_{12.76}\text{Sb}_{4.12}\text{S}_{12.12}$
25.91	—	19.78	33.36	—	—	14.23	3.36	3.36	$(\text{Ag}_{6.08}\text{Cu}_{4.40}\text{Fe}_{1.18}\text{Zn}_{1.01})_{12.84}\text{Sb}_{4.19}\text{S}_{12.67}$
Арсенопирит									
5.30	—	19.47	—	35.23	—	—	40.0	—	$\text{Fe}_{1.17}(\text{As}_{0.77}\text{Sb}_{0.08})_{0.85}\text{S}_{0.99}$
—	—	18.45	—	41.49	—	—	40.1	—	$\text{Fe}_{1.16}\text{As}_{0.89}\text{S}_{0.93}$
Акантит									
—	—	10.84	83.44	—	—	—	—	—	$\text{Ag}_{2.09}\text{S}_{0.91}$ (см. рис. 5д)
—	—	11.28	86.13	—	—	1.35	—	—	$(\text{Ag}_{2.04}\text{Cu}_{0.05})_{2.09}\text{S}_{0.90}$
—	3.18	12.55	83.94	—	—	—	2.69	—	$(\text{Ag}_{1.85}\text{Fe}_{0.11})_{1.96}(\text{S}_{0.93}\text{Se}_{0.10})_{1.03}$ (см. рис. 5е, 5е ₁)
—	0.02	14.36	72.48	—	—	—	0.36	—	$(\text{Ag}_{1.79}\text{Fe}_{0.02})_{1.81}\text{S}_{1.19}$
—	0.07	13.57	83.16	—	—	—	0.14	—	$(\text{Ag}_{1.94}\text{Fe}_{0.01})_{1.95}\text{S}_{1.06}$
—	0.05	14.57	80.26	—	—	—	1.58	—	$(\text{Ag}_{1.82}\text{Fe}_{0.07})_{1.89}\text{S}_{1.11}$
—	0.04	13.85	85.49	—	—	—	0.68	—	$(\text{Ag}_{1.92}\text{Fe}_{0.03})_{1.95}\text{S}_{1.05}$
Стефанит									
19.63	0.13	14.72	64.37	—	—	—	0.00	—	$\text{Ag}_{4.90}\text{Sb}_{1.32}(\text{S}_{3.77}\text{Se}_{0.01})_{3.78}$
17.36	0.11	12.66	67.78	—	—	—	0.00	—	$\text{Ag}_{5.38}\text{Sb}_{1.22}(\text{S}_{3.39}\text{Se}_{0.01})_{3.40}$
17.57	0.08	11.78	66.52	—	—	—	0.03	—	$\text{Ag}_{5.46}\text{Sb}_{1.28}(\text{S}_{3.25}\text{Se}_{0.01})_{3.26}$
16.89	0.05	15.73	66.74	—	—	—	0.26	—	$(\text{Ag}_{4.94}\text{Fe}_{0.04})_{4.98}\text{Sb}_{1.11}(\text{S}_{3.91}\text{Se}_{0.01})_{3.92}$
Низкопробное самородное золото									
Au	Ag	Cu	Fe	S					Формулы
53.25	44.88	0.01	0.21	1.31					$(\text{Ag}_{1.71}\text{Au}_{1.11}\text{Fe}_{0.01})_{2.83}\text{S}_{0.17}$
24.90	66.87	0.00	0.14	3.42					$(\text{Ag}_{2.18}\text{Au}_{0.44}\text{Fe}_{0.01})_{2.63}\text{S}_{0.37}$
29.64	63.64	0.03	0.13	2.11					$(\text{Ag}_{2.19}\text{Au}_{0.56}\text{Fe}_{0.01})_{2.76}\text{S}_{0.24}$
Ютенбогаардтит									
26.24	58.96	0.04	1.24	12.53					$\text{Ag}_{3.00}\text{Au}_{0.73}\text{Fe}_{0.12}\text{S}_{2.14}$

Ютенбогаардит ($\text{Utb}-\text{Ag}_3\text{AuS}_2$) выделяется в поле развития акантита в виде кольцевых форм (см. рис. 6ж).

Стефанит (Ag_5SbS_4) — встречается в интерстициях кварца, образуя треугольные (в плоскости шлифа) выделения (см. рис. 6ж), ограниченные кристаллографическими плоскостями кристаллов кварца, размером до 0.7 мм. Стефанит присутствует во вмещающей породе в виде идиоморфных кристаллов, как неизмененных, так и замещающих сульфатами Sb, Ag, Fe (см. рис. 6з).

Полибазит — наиболее распространенная сульфосоль серебра; представлен гипидиоморфными зернами и цепочками зерен размером не более 0.5 мм с редкими включениями низкопробного самородного золота; иногда образует интерстициальные выделения в кварце, размером до 0.7 мм; в виде каймы замещает акантит (см. рис. 6в).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важная структурная особенность Тэлэвеевского рудного поля — формирование золото-сереброносных жильно-прожилковых рудных тел в пределах субвулканического тела риолитов и риодацитов (см. рис. 2). Весьма вероятно, что именно этим фактом обусловлена значительная протяженность ГСЖ по простиранию (более 2.5 км), важная в промышленном отношении. В пользу такого вывода свидетельствует наличие в ГСЖ большого количества брекчий с кардовыми текстурами обрастания обломков различного состава халцедон-адуляровым агрегатом (см. рис. 3б, 3в). Отметим, что во многом аналогичные геолого-структурные особенности характерны для наиболее крупных месторождений Чукотского отрезка ОЧВП: Купол, Двойное и Валунистое [Волков и др., 2012, 2018, 2020].

Химический состав рудных минералов рудопроявления Тэлэвеев имеет ряд особенностей: блеклые руды обогащены Zn и Fe (см. табл. 1); пирит и арсенопирит насыщены мельчайшими включениями акантита, галенита, блеклых руд ряда фрейбергит-тетраэдрит (см. рис. 5в, 5г, 5д, 5е); акантит в основном обогащен Fe, в редких случаях — Cu и Se (см. табл. 1); низкопробное самородное золото

выделяется в акантите, в виде мельчайших частиц (менее 1 мкм); акантит в зоне окисления образует Sb—Ag—Fe-содержащие сульфаты (см. рис. 5б, 5г).

Процесс рудообразования начинается с отложения сульфидов (пирита, марказита арсенопирита, сфалерита) и титанита, затем — блеклая руда ряда фрейбергит-тетраэдрит, на следующем этапе выделяются — акантит, полибазит, стефанит и низкопробное золото, затем появляются включения в сульфидах акантита и низкопробного самородного золота. Гипергенные изменения в виде Ag—Sb-ярозита и Sb—Ag—Fe-сульфатов (см. рис. 6д, 6з) и глинистых минералов отмечаются в изученных аншлифах. По минералам Ag (в сростании с гипергенными минералами) иногда развивается Ютенбогаардит и отлагается низкопробное золото.

Рассматриваемое рудопроявление Тэлэвеев можно отнести к Au—Ag геохимическому типу, с повышенной сереброносностью [Сидоров, 1978; Бортников и др., 2022]. Из минералогических признаков небольшого эрозионного среза следует отметить незначительное количество полиметаллических сульфидов в рудах [Савва, 2018]. Слабая эродированность позволяет предположить высокую вероятность выявления не выходящих на поверхность рудных тел. Глубина распространения рудной минерализации не определена.

Перспективы Тэлэвеевского рудопроявления остаются достаточно высокими, так как возможно продолжение ГЖЗ в юго-восточном направлении под рыхлыми отложениями долины реки Большая Осиновая (см. рис. 2) и ее слияние с жильной зоной участка Восточный, кроме того, возможно выявление не выходящих на поверхность рудных тел.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке темы Госзадания ИГЕМ РАН (№ госрегистрации 124022400144-6) и проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 13.1902.21.0018, соглашение 075-15-2020-802).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бортников Н.С., Волков А.В., С вв Н.Е., Прокофьев В.Ю., Колов Е.Е., Долом нов -Тополь А.А., Г лямов А.Л., Мур шов К.Ю.* Эпитермальные Au–Ag–Se–Te месторождения Чукотки (арктическая зона России): металлогения, минеральные парагенезисы, флюидный режим // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 4. С. 541–568. DOI: 10.15372/gig2021169
- Волков А.В., Гонч ров В.И., Сидоров А.А.* Месторождения золота и серебра Чукотки. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2006. 220 с.
- Волков А.В., Прокофьев В.Ю., С вв Н.Е., Сидоров А.А., Бянкин М.А., Уютнов К.В., Колов Е.Е.* Рудообразование на Au–Ag месторождении Купол, по данным изучения флюидных включений (Северо-Восток России) // Геология рудн. месторождений. 2012. Т. 54. № 4. С. 350–359.
- Волков А.В., С вв Н.Е., Колов Е.Е., Прокофьев В.Ю., Мур шов К.Ю.* Au–Ag эпитермальное месторождение Двойное (Чукотка) // Геология рудн. месторождений. 2018. Т. 60. № 6. С. 590–609.
- Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Винокуров С.Ф., Мур шов К.Ю., Андреев О.В., Киселев Г.Д., Вольфсон А.А., Сидоров Н.В.* Эпитермальное Au–Ag месторождение Валунистое (Восточная Чукотка, Россия) геологическое строение, минералого-геохимические особенности и условия рудообразования // Геология рудн. месторождений. 2020. Т. 62. № 2. С. 107–133. DOI: 10.31857/S0016777020020070
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Чукотская. Лист Q-60 – Анадырь. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016.
- Ис ев Е.П., Звизд Т.В., Уш ков Д.Д. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Чукотская. Лист Q-60 – Анадырь. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 360 с.
- С вв Н.Е.* Минералогия серебра Северо-Востока России. М.: Триумф, 2018. 544 с.
- Сидоров А.А.* Золотосеребряная формация Восточно-Азиатских вулканогенных поясов. Магадан, 1978. 368 с.
- Simmons F.A., White N.C., John D.A.* Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits // Economic Geology 100th Anniversary Volume. 2005. P. 485–522.

EPITHERMAL Ag–Au MINERALIZATION OF THE TELEVEEM VOLCANIC UPLIFT (CENTRAL CHUKOTKA)

A. V. Volkov^{1, *}, N. E. Savva², A. G. Pilitsyn³, A. V. Grigorieva¹,
A. V. Efimov⁴, A. L. Galyamov¹

¹*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences,
Staromonetny lane, 35, Moscow, 119017 Russia*

²*Shilo Northeast Interdisciplinary Research Institute, FEB RAS,
Portovaya str., 16, Magadan, 685000 Russia*

³*Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements,
Veresaeva str., 15, Moscow, 121357 Russia*

⁴*Terra-Invest LLC, village Krivtsovo, 3a, Solnechnogorsk, Moscow region, 141554 Russia*

**e-mail: tma2105@mail.ru*

The article considers the geological, mineralogical and geochemical features of the Au–Ag epithermal mineralization of the Televeem volcanic uplift (VU), which complicates the Upper Pykarvaamsky volcanotectonic depression (VTD), the Central Chukchi sector of the Okhotsk-Chukchi volcanic belt (OCHVB). The structure of the ore occurrence is due to its localization within the eponymous VU. The main vein zone (MVZ) of the Televeem ore occurrence, up to 500 m wide, stretches in the meridional direction for 2.5 km. Along the stretch of the MVZ, the kulis-shaped converging quartz-adular veins are successively replaced by zones of fine veining and brecciation in secondary quartzites and gossan. The gold content in these formations varies from 1.4 to 17.3 g/t, silver – from 7.6 to 144.6 g/t. Breccia, frame-plate, geode and fine-veined textures are widely developed in the ores. The main ore minerals are pyrite, arsenopyrite, acanthite, freibergite-tetrahedrite, stephanite, polybasite, low-grade native gold (249–532‰), titanite. The amount of ore minerals in veins usually does not exceed 0.5%, in rare cases it reaches 3%. According to mineralogical data, the ore occurrence can be classified as weakly or moderately eroded. Weak erudition suggests a high probability of detecting ore bodies that do not come to the surface.

Keywords: Okhotsk-Chukchi volcanic belt, Central Chukotka, volcanic uplift, Televeem ore occurrence, secondary quartzite, quartz-adular veins, textures, epithermal mineralization, gold, silver