

## Новые данные по структуре, минералогии, геохимии золоторудного месторождения Каральвеем (Чукотка)

М.Н.КОНДРАТЬЕВ, Н.Е.САВВА (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А.Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук (СВКНИИ ДВО РАН); 685017, г. Магадан, ул. Портовая, 16),

Г.Н.ГАМЯНИН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН); 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 35),

Е.Е.КОЛОВА, Ф.И.СЕМЫШЕВ, М.А.МАЛИНОВСКИЙ, Е.А.КОНДРАТЬЕВА (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А.Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук (СВКНИИ ДВО РАН); 685017, г. Магадан, ул. Портовая, 16)

Получены новые данные по структуре рудного поля, геохимии и вещественному составу руд. Изучена минералогия жильных тел и рудно-метасоматических зон 74а и 75а с вкрапленным оруденением. Показано, что в отличие от жильных тел с существенно золотоарсенипиритовой минерализацией во вкрапленных рудах преобладает золотопиритовая ассоциация. Выявлены элементы-индикаторы этих зон – Nb, Fe, Zn. Установлены элементы вертикальной геохимической зональности для жил и рудно-метасоматических зон. Показано, что прямая зональность, в разной степени контрастная, характерна для жил, а волновая – для зон. Разработана схема стадийного минералообразования, оценены перспективы оруденения на глубину.

*Ключевые слова:* золотокварцевая формация, морфометрический анализ, геохимическая зональность, минеральные ассоциации, типоморфизм самородного золота, структура месторождения, термобарогеохимия.

Кондратьев Михаил Николаевич  
Савва Наталья Евгеньевна  
Гамянин Геннадий Николаевич  
Колова Елена Евгеньевна  
Семышев Федор Иванович  
Малиновский Максим Андреевич  
Кондратьева Екатерина Александровна



mkondratyev85@mail.ru  
savva@neisri.ru  
gamgen@mail.ru  
kolova@neisri.ru  
semyshev1@mail.ru  
innamorament05@mail.ru  
kondratyevakatya@gmail.com

## New data on the structure, mineralogy, and geochemistry of Karalveem gold deposit (Chukotka)

M.N.KONDRATIEV, N.E.SAVVA, G.N.GAMYANIN, E.E.KOLOVA, F.I.SEMYSHEV, M.A.MALINOVSKY, E.A.KONDRATIEVA

New data on the structure of the ore field, geochemistry and mineral composition of the ores were received. Mineralogy of the veins and 74a and 74b ore-metasomatic zones with disseminated mineralization was studied. It is shown that in contrast to the veins with significant gold-arsenopyrite mineralization, disseminated ores are dominated by gold-pyrite association. Indicator elements of these zones (Nb, Fe, Zn) are revealed. Patterns of geochemical zoning for vertical veins and ore-metasomatic zones were established. Direct zoning is shown to be typical for veins, and the wave zoning is shown to be typical for zones. The scheme of mineral formation was developed. The prospects of mineralization at depth were evaluated.

*Key words:* gold-quartz formation, morphometric analysis, geochemical zoning, mineral associations, typomorphism of native gold, deposit structure.

Известные мезотермальные месторождения золото-кварцевой формации на Западной Чукотке: Каральвеем, Озерное, Кекура [11, 12, 14, 16] сосредоточены в Анойском субтеррейне Чукотского террейна, который

рассматривается как фрагмент позднепалеозойской–раннемезозойской пассивной окраины [6]. Они приурочены к складчатой области, сложенной шельфовыми терригенными комплексами и, как правило, простран-

ственно и генетически связаны с гранитоидным магматизмом. Важное значение при изучении мезотермальных месторождений имеют геолого-структурные характеристики, которые контролируют зоны тектономагматической активизации, а также создают, специфические в каждом случае, условия локализации и концентрирования полезного компонента – традиционно в жилах и штокверковых зонах. В процессе разведки мезотермальных месторождений иногда открываются новые, неизвестные ранее, типы минерализации. Так произошло и на месторождении Каральвеем, о котором пойдет речь в настоящей статье, где относительно недавно геологической службой ООО «Рудник Каральвеем» был установлен новый тип рудных тел – рудно-метасоматические зоны.

Цель исследований – расшифровка в историческом аспекте структурного контроля оруденения, а также

геохимическая и минералогическая характеристика нетрадиционного для Каральвеема типа минерализации – рудно-метасоматических зон, которые показаны в сравнительном плане с жильным типом.

**Геолого-структурная позиция.** Золоторудное месторождение Каральвеем находится в Билибинском районе Чукотского автономного округа, в 18 км от районного центра – г. Билибино и связано с ним грунтовой дорогой. Географически оно расположено в бассейне р. Малый Анюй в центральной части Кепервеемской гряды Анюйского нагорья (рис. 1).

Каральвеемское месторождение находится в центральной части Кепервеемской золотоносной зоны в Анюйской складчатой зоне мезозойского и относится к жильной золото кварцевой формации [11]. Площадь рудного поля месторождения составляет 45 км<sup>2</sup>. Оно приурочено к Кепервеемской горст-антиклинальной структуре, в

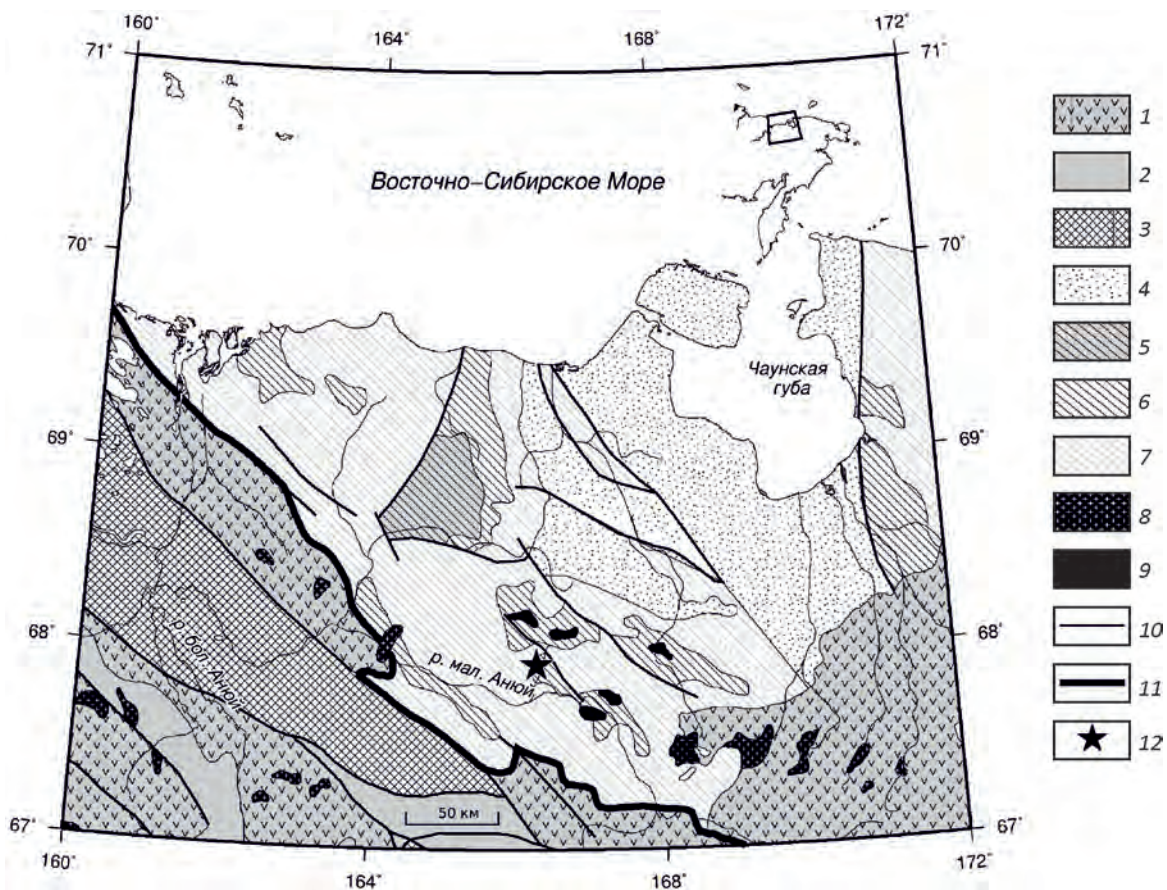


Рис. 1. Схема тектонического строения территории центральной Чукотки. По С.М.Тильману, 1992:

1 – положение Каральвеемского рудного узла, вулканические комплексы островных дуг позднеюрского и мелового возраста; 2 – комплексы краевых морей и междуговых прогибов триасово-среднеюрского возраста; 3 – Южно-Анюйский аккреционный блок; 4 – молассовые комплексы позднеюрского–раннемелового возраста; 5 – палеозойский комплекс Арктического континента; 6 – ранне-среднетриасовый комплекс Арктического континента; 7 – поздне-триасовый–раннеюрский комплекс Арктического континента; 8 – среднеюрские–раннемеловые гранитные комплексы; 9 – диабазы, габбро и ультрабазиты, маркирующие утонение континентальной коры; 10 – разломы; 11 – коллизионный шов; 12 – месторождение Каральвеем



ядре которой выведены на поверхность породы нижнего триаса, насыщенные триасовыми силлами диабазов и метаморфизованные в начальной ступени зеленосланцевой фации метаморфизма, увеличивающейся с глубиной. С юга, запада и севера рудное поле обрамлено выходами тел диоритов, гранитов, гранит-порфиров и гранодиорит-порфиров раннемелового возраста. Мало-мощные дайки гранодиорит-порфиров установлены в штольне 19 и на поверхности участка «Проминона». К-Аг методом (СВКНИИ ДВО РАН) они датированы 130 млн. лет, что древнее гранитоидов Пырканаянского массива, расположенного к северо-востоку от месторождения и датированного U-Pb методом 112 млн. лет [12, 18]. Промышленный тип – золотокварцевый (малосульфидный) жильных зон и жил. Позиция Каральвеевского рудного поля в рудном узле определяется приуроченностью к крупному одноименному разлому с амплитудой взбросовых перемещений до 1200 м.

Рудное поле размером 15×3 км вытянуто в северо-западном направлении вдоль складчатых структур (рис. 2). Оно сложено триасовыми песчано-сланцевыми отложениями, вмещающими субпластовые тела габброидов и представляет собой антиклинальную складку с крутым падением на юго-запад, где широко развиты продольные по отношению к складчатости разрывы северо-западной ориентировки и поперечные разрывы северо-восточного и субширотного направления. Наиболее крупным из северо-западных разрывных нарушений является Каральвеевский разлом, ограничивающий рудное поле с северо-востока.

Золотокварцевое оруденение локализовано в триасовых габбро-диабазовых силлах, смятых в складки вместе с вмещающими песчано-сланцевыми отложениями триасового возраста. Предполагается, что ядро этой структуры формирует не вскрытый на поверхности зональный гранитно-метаморфический купол,

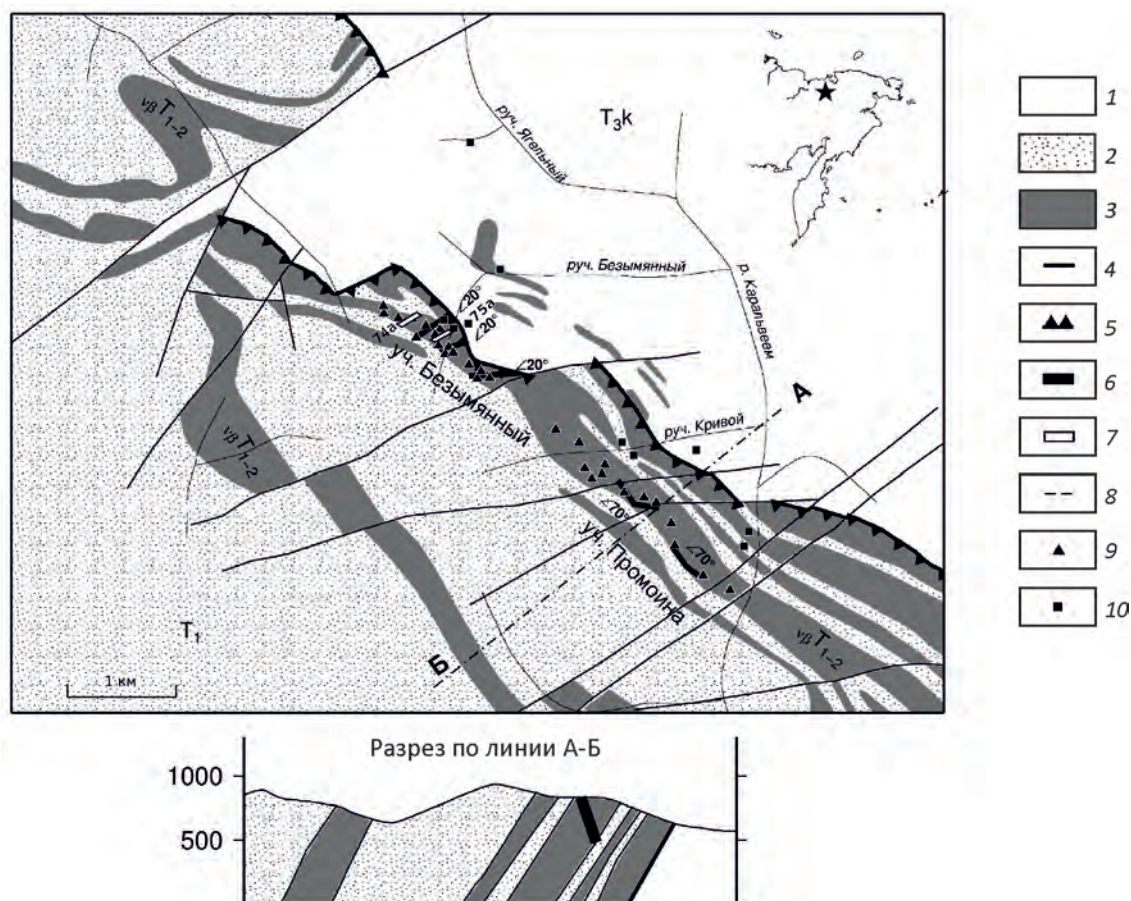


Рис. 2. Схема геологического строения месторождения Каральвеев:

отложения свиты: 1 – Каральвеевской, 2 – Ягельной; 3 – габбро и габбро-диабазы раннетриасового возраста; 4 – разломы; 5 – Каральвеевский разлом; 6 – контуры основных рудных тел; 7 – рудно-метасоматические зоны 74а и 75а; 8 – линия разреза; 9 – пункты геолого-структурных наблюдений в подземных горных выработках; 10 – пункты геолого-структурных наблюдений на поверхности

подобный Алярмаутскому, расположенному к северо-западу от района месторождения [8, 9]. В пользу данного предположения свидетельствуют и материалы глубинной геофизики профиля 2-ДВ, пройденного в районе рудного поля. Пространственно оруденение приурочено к висячим контактам отдельных тел габброидов, образуя вытянутые вдоль них по падению жильные зоны лестничной структуры. Породы метаморфизованы до зеленосланцевой фации. Околорудные изменения пород проявлены в их окварцевании и карбонатизации.

Выходы пород раннего триаса и согласно налегающих на них отложений среднего и позднего триаса рассечены и отчасти обрамлены серией разломов регионального значения, к которым относится и Каральвеевский разлом северо-западного простирания, прослеженный на десятки километров. Согласно структурным наблюдениям, полученным в ходе среднемасштабных съемок, он имел преимущественно взбросовую кинематику.

Рудное поле окружено выходами диоритов, гранитов и гранит-порфиров мелового возраста, обрамляющими его с юга, запада и севера. В пределах северного фланга месторождения также известны раннемеловые дайки гранодиорит-порфиров, прорывающие тела диабазов. Маломощные (0,1–1 м) дайки гранодиорит-порфиров установлены авторами при проведении тематических работ на поверхности (недалеко от штольни 20) и на горизонте штольни 19, вблизи предполагаемого выклинивания жилы 3а. Дайки затронуты гидротермальными изменениями и являются дорудными или синрудными.

Главную роль на месторождении играют золото-кварцевые жилы, локализованные в мощном силле диабазов. Самые крупные из них – это пологопадающие жилы 5, 6-6а, 7, 36, 45, секущие силл поперек в виде лестничной системы (участок Безымянный), и жилы 3-3а, 22, 23, секущие силл продольно или по диагонали с оперяющими их поперечными жилами 1, 2, 10, 20 (участок Промоина). Мощность жил изменяется в широких пределах, составляя в среднем 1 м при протяженности в сотни метров. Концентрации золота в жильных телах от 10 до 50 г/т, с бонанцами (свыше 1 кг/т).

В последнее время на руднике были выявлены рудные тела нового типа – крутопадающие поперечные к жилам минерализованные зоны 75а, 74а с концентрациями золота 0,5–20 г/т при мощности 10–15 м. Для них авторы данной публикации впервые выполнили минералого-геохимические исследования.

**Методика и объемы работ.** Для построения структурного плана был выполнен морфометрический анализ рельефа территории, характеризующий положение продуктивного горизонта, рудопроявлений и месторождений золота относительно современной поверхности. В связи с этим для листов геологической карты 1:200 000 R-58-33-34, R-58-35-36, северной части листов Q-58-3-4, Q-58-5-6 была создана ГИС, в которой

последовательно выполнены следующие действия: 1) построена вершинная поверхность – генерализированная поверхность, соединяющая точки вершин водоразделов на топографических картах масштаба 1:100 000 для указанной территории; 2) построена базисная поверхность – соединяющая точки тальвегов гидросетей; 3) методом алгебраического вычитания построена карта вертикальной расчлененности рельефа; 4) создана база данных о местоположении рудопроявлений и месторождений золота, включая данные об их абсолютных отметках, содержании полезного ископаемого, вмещающих и рудных породах. На этой основе построены карты, на которых представлен характер размещения месторождений и рудопроявлений золота на данной территории относительно базисной поверхности, вершинной поверхности и относительно поля глубин вертикальной расчлененности рельефа.

При изучении структуры месторождения проводилось измерение элементов залегания тектонической трещиноватости. В каждом пункте геолого-структурных наблюдений замерам трещиноватости подверглись 100 плоскостей трещин, расположенных на площадке 5×5 м. Всего на месторождении проведены замеры в 46 пунктах, включая замеры в подземных горных выработках (37 пунктов), и в естественных обнажениях горных пород на дневной поверхности (9 пунктов). Измерения элементов залегания проводились с помощью электронного компаса, изобретенного одним из авторов настоящей статьи [19].

При изучении минералогии руд и метасоматитов использовались традиционные макро- и микронаблюдения с применением универсального микроскопа Axioplan Imagin. Анализ минералов выполнен на приборах Camscan с приставкой Quantax и микрозонде SAMEBAX, аналитик Т.В.Субботникова (СВКНИИ ДВО РАН). Изучены текстурно-морфологические характеристики рудных тел и метасоматитов, минеральные ассоциации рудных жил и зон, особенности самородного золота, а также новый тип рудных тел – рудно-метасоматические зоны с вкрапленным оруденением.

Микротермометрические исследования флюидных включений проводились одним из авторов с использованием измерительного комплекса на основе микротермокамеры THMSG-600 фирмы Linkam, микроскопа Motic, снабженного длиннофокусным объективом 50<sup>x</sup> фирмы Olimpus и видеокамеры Moticam solution 3 рх. Температуры гомогенизации ( $T_{гом.}$ ) двухфазных включений определялись по точке перехода газ–раствор. Поправка на давление не вводилась, поэтому приводимые ( $T_{гом.}$ ) соответствуют минимальной температуре минералообразования. Состав и концентрация растворов изучалась методом криометрии. Солевой состав растворов устанавливался по температурам плавления эвтектики ( $T_{эвт.}$ ) [2]. Концентрация растворов в мас. % экв. NaCl рассчитывалась для системы H<sub>2</sub>O–NaCl по

температуре плавления льда ( $T_{пл.л.}$ ) [26], а для системы  $H_2O-CO_2-NaCl$  по температуре плавления ( $T_{пл.г.}$ ) гидратов [23]. Индивидуальные флюидные включения исследовались в кварце 4 рудных тел: жила 3а (горизонт 680); жила 3б (горизонт 520); жила 45 (горизонт 520); рудная зона 75 (горизонт 480). Всего было просмотрено 25 кварцевых пластинок. Выполнено 65 замеров температур гомогенизации и 32 замера температур эвтектик и плавления.

Для изучения геохимических особенностей месторождения с поверхности по трем профилям через участки Промоина, Безымянный и между ними, а также на разных горизонтах основных штольневых выработок были отобраны сколковые пробы весом 200–400 г. Шаг отбора проб на поверхности составил 100 м. На горизонтах – 50 м со сгущением около жил до 1–2 м, в рудных зонах до 2 м. Пробы были проанализированы количественным спектральным анализом ЭКСА на широкий круг элементов (550 проб) (СВКНИИ ДВО РАН, аналитик Т.В.Козырева). Содержание золота в пробах определялось сертифицированным атомно-абсорбционным анализом (СВКНИИ ДВО РАН, аналитик В.П.Колесова, аттестат аккредитации РОСС RU. 517849).

**Морфоструктурная характеристика месторождения.** Морфометрический анализ был проведен с целью выявления поисковых критериев и оценки перспектив территории на выявление рудных тел. На начальной стадии изучения были построены карты вершинной поверхности (интерполированной из абсолютных высот водоразделов) и глубин вертикальной расчлененности рельефа (разницы между вершинной поверхностью и поверхностью, интерполированной из высотных отметок тальвегов гидросети). Оценено положение горизонта максимальной рудонасыщенности относительно современного рельефа. Это позволило получить представление о том, на каких горизонтах золотое оруденение может оставаться еще не вскрытым или вскрытым незначительно [1].

Выяснилось, что на данной территории неотектонические блоки, содержащие золотокварцевое оруденение, занимают два гипсометрических уровня – первый с уровнем вершинной поверхности от 700 до 900 м и второй – от 1000 до 1200 м (к блокам второго типа приурочены рудные тела месторождения Каральвеем). При этом кровля горизонта максимальной рудонасыщенности для месторождения Каральвеем преимущественно расположена на глубине около 300–350 м (редко до 600 м) от вершинной поверхности. Значительное количество рудных тел месторождения тяготеет к участкам наибольших глубин вертикальной расчлененности рельефа (82% выходов руд лежит в интервале от 400 до 700 м). Такая расчлененность делает возможным вскрытие рудного горизонта в пределах блоков второго типа. Для блоков первого типа не удается выявить единый горизонт максимальной рудонасыщенности. Рудопроявления находятся на разной глубине от вершинной

поверхности (в целом не более 350 м), независимо от глубины вертикальной расчлененности рельефа. Однако 48% соответствует уровню глубин вертикальной расчлененности от 400 до 500 м. Таким образом, в блоках первого типа рудный горизонт может быть еще не вскрытым. Чтобы исключить из анализа влияние неравномерного развития площадей со 100-метровыми интервалами высот, для каждой из построенных поверхностей при выявлении статистических пиков вычислена вертикальная плотность выходов руд (отношение количества выходов рудных тел на определенном интервале глубин к площади развития таких глубин на территории) [1]. Статистическая значимость выделения двух типов неотектонических блоков дополнительно проверена мультимодальным тестом.

В результате анализа установлено, что наиболее перспективными для поиска рудных объектов для территории листов геологической карты 1:200 000 R-58-33-34, R-58-35-36, северной части листов Q-58-3-4, Q-58-5-6 будут участки, соответствующие наибольшим значениям (400–700 м) глубин вертикальной расчлененности рельефа.

**Структурная характеристика месторождения.** По ориентировке рудоносных жил, территория месторождения разделяется на два участка: Промоина – с крутопадающими на северо-восток жилами и Безымянный – с пологопадающими на восток-юго-восток жилами. Для выявления причин различной ориентировки рудных систем на указанных участках была предпринята попытка детального анализа трещинной сети месторождения – важного фактора проницаемости компетентных базитовых интрузий для миграции рудного вещества и его отложения. Были проведены специальные исследования, направленные на детальное изучение структуры месторождения и выявление областей локализации рудных тел. Замерам подвергались жильные системы, приконтактные части рудных тел, а также безрудные интервалы между рудными телами и участками Промоина и Безымянный. Всего на месторождении были проведены замеры в 46 пунктах, включая замеры в подземных горных выработках (37 пунктов), и в естественных обнажениях горных пород на дневной поверхности (9 пунктов), в среднем по 100 плоскостей в каждом пункте наблюдений. Для каждого из пунктов с помощью программы `pyfrct` (<https://github.com/fatune/pyfrct>) были рассчитаны матрицы плотности распределения трещин для выявления направлений преимущественного развития трещин. Чтобы выяснить, какие ориентировки трещиноватости на месторождении являются наиболее распространенными, максимумы плотности трещиноватости каждого пункта были объединены в единую синептическую стереограмму трещиноватости, показывающую, таким образом, усредненные направления главных трещин всего месторождения (участки Промоина и Безымянный) (рис. 3, табл. 1).



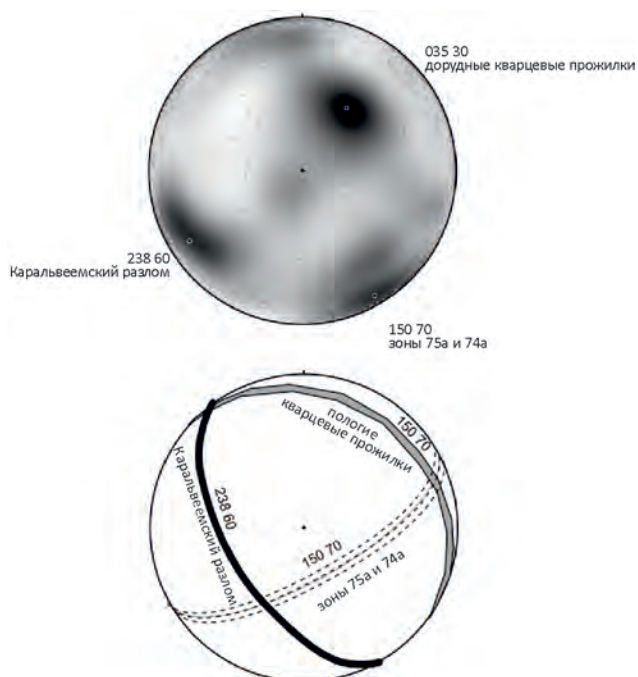


Рис. 3. Синаптическая стереограмма трещиноватости нормали (верхняя полусфера) и соответствие систем трех наиболее интенсивно проявленных плоскостей основным структурным элементам месторождения (нижняя полусфера):

пунктиром показано положение рудно-метасоматических зон 74а и 75 а

На фоне максимумов различной ориентации, проявившихся относительно слабо, была выделена хорошо выраженная система трех взаимортогональных плоскостей: плоскость, совпадающая с ориентацией плоскости Каральвеевского разлома (аз. пад. 238°, угол

падения 60°); плоскость, совпадающая по простиранию с субвертикальными рудными зонами (аз. пад. 150°, угол падения 70°); и плоскость, по которой развиты пологие дорудные кварцевые прожилки (аз. пад. 35°, угол падения 30°). Эти плоскости являются системами, соответственно, Y, R' и n' сколов, развитых при взбросовых движениях по плоскости Каральвеевского разлома, согласно классификации систем разрывов 2-го порядка на главных стадиях формирования надвиговой разломной зоны [23].

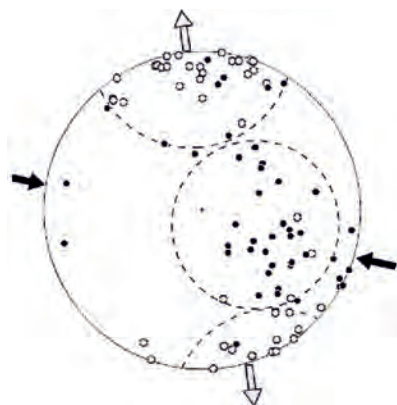
Сколы R' типа объединяются в систему субвертикальных сдвигов, поперечных плоскости Каральвеевского разлома, местами смещающих плоскость разлома на сотни метров. Кроме того, в каждом из пунктов наблюдений проявляется пояс трещиноватости с ориентацией оси вращения, совпадающей с ориентацией Каральвеевского разлома (предположительно пояс вращения; на сводной стереограмме он проявлен слабо). Примечательно, что рудоносные жилы на участках Промоина и Безымянный лежат в этом же поясе.

На матрицах плотности трещиноватости (удельная длина) по противоположным смещениям максимумов плотности выделены пары сопряженных трещин, по ориентировке которых восстановлены направления сил сжатия и растяжения, действовавших в момент образования этих трещин [7, 17].

На рис. 4 представлена сводная стереограмма, на которую вынесены ориентации осей сжатия и растяжения, восстановленные в ходе анализа всех пунктов наблюдений на территории месторождения Каральвеем. Основываясь на группировке решений осей так, чтобы они описывались конусами сжатия и растяжения [20], установлено следующее направление осей главных нормальных напряжений общего поля: ориентация оси растяжения – азимут 0°, угол погружения 9°, оси сжатия – азимут 110°, угол погружения 65°. Это соответствует сдвиговым левосторонним движениям по плоскости Каральвеевского разлома.

### 1. Ориентировка главных трещинных систем месторождения Каральвеем

Система трещин (азимут падения, угол падения)	Разновидность	Динамический тип подвижки
035°, 30°	Дорудные кварцевые прожилки, сколовые трещины	Чистое растяжение, скольжение
045°, 70°	Борозды скольжения, кулисы кварцевых прожилков	Скольжение, косое растяжение
108°, 60°	Борозды скольжения	Скольжение
150°, 70°	Зона 75а, борозды скольжения	Скольжение, косое растяжение
210°, 08°	Нерудные кварцевые жилы, борозды скольжения	Скольжение, косое растяжение
238°, 60°	Разлом Каральвеем	Скольжение
355°, 60°	Пост кварцевые трещины	Скольжение
310°, 30°	Кулисы кварцевых жил	Косое растяжение
090°, 28°	Кулисы кварцевых жил	Косое растяжение
055°, 50°	Кулисы кварцевых жил, рудные тела	Косое растяжение, чистое растяжение
100°–130°, 015°–25°	Рудные жилы на участке Безымянный	Косое растяжение
030°–040°, 70°–80°	Рудные жилы на участке Промоина	Косое растяжение



**Рис. 4.** Сводная стереограмма направлений осей сжатия и растяжения, восстановленных в ходе анализа тектонической трещиноватости на территории месторождения Каральвеем:

черными кружками показаны выходы на нижнюю полусферу осей сжатия, белыми – осей растяжения; пунктир – конусы общего поля напряжений; направление осей главных нормальных напряжений общего поля: растяжение  $000^{\circ} 09^{\circ}$ , сжатие  $110^{\circ} 65^{\circ}$

Направления осей, восстановленные в отдельных пунктах наблюдений, варьируют. Основная масса осей растяжения ориентирована в направлении  $350^{\circ}$  с углом погружения  $20^{\circ}$ . Оси сжатия в основном ориентированы в направлении  $120^{\circ}$  с углом погружения  $55^{\circ}$ . Пункты, в которых восстановлены такие условия деформации, расположены в пределах развития рудных жил и зон на участках Промоина и Безымянный. На флангах месторождения и в пространстве между участками Промоина и Безымянный ориентировка осей меняется.

Кроме того, были определены ориентировки борозд скольжения, найденных на контактах рудных жил с вмещающими породами и на пришлифованных зеркалах скольжения в окрестностях рудных жил (42 направления). Такие борозды характеризуют подвижки по плоскостям трещиноватости, проходившие после формирования рудных жил, и отражают более поздний динамический этап. Проанализировав методом из работы [10] набор собранных направлений борозд скольжений и ориентировок плоскостей, по которым происходили скольжения, авторы установили динамические условия, в которых они протекали: ось растяжения направлена по азимуту  $140^{\circ}$  с наклоном под углом  $40^{\circ}$ , ось сжатия направлена по азимуту  $27^{\circ}$  с углом погружения  $25^{\circ}$ .

Исходя из приведенных данных, можно предположить следующую эволюцию структуры месторождения [13]:

*Дорудный этап.* Образование складчатости на обширной территории Анюйско-Чукотской системы. В результате этого весь комплекс стратифицированных

отложений на территории месторождения приобрел падение на юго-запад под углами  $50-80^{\circ}$ . К этому же времени относится и образование Каральвеемского разлома, одновременно с развитием которого происходит заложение трещинных систем преимущественно в телах габброидов (табл. 2, I-b) и формирование сети дорудных кварцевых прожилков (см. табл. 2, I-d).



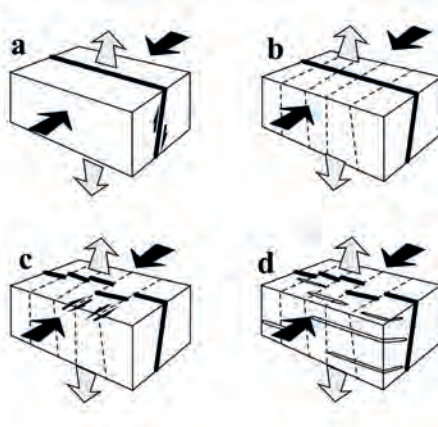


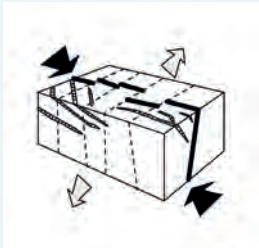
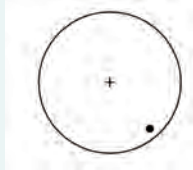

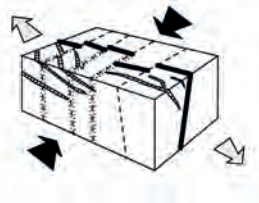
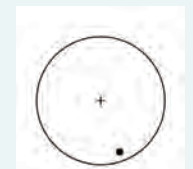
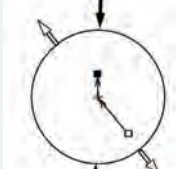
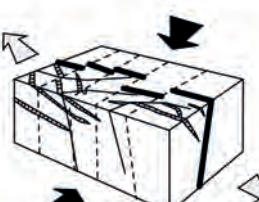
Субвертикальные сколовые трещины, простирающиеся перпендикулярно Каральвеемскому разлому, объединяются в серию субпараллельных разломов, по которым происходят разнонаправленные сдвиговые движения, смещающие плоскость Каральвеемского разлома (см. табл. 2, I-c).

*Рудный этап.* Происходит смена динамической обстановки, которая устанавливается на основе анализа трещиноватости габброидов, вмещающих рудные тела. На рудном этапе изменяется ориентировка сжимающих напряжений, в результате чего поле напряжений приобретает сдвиговую компоненту. Возникшие напряжения не могут быть сняты за счет движений по плоскости Каральвеемского разлома, так как он оказался «запертым», будучи рассеченным плоскостями субвертикальных сдвигов. Разгрузка этих напряжений происходит за счет образования оперяющих трещин в поясе вращения с осью, имеющей азимут падения  $240^{\circ}$  и угол падения  $65^{\circ}$ , которые отчетливо проявляются в каждом пункте наблюдений, и в которых, кроме пустых трещин, лежат и все рудные тела месторождения. Рудоносный флюид мигрирует по сети образовавшихся трещин, образуя жильные тела двух главных ориентаций, лежащих в том же поясе: северо-восточного простирания на участке Промоина и северного простирания на участке Безымянный.

Борозды скольжения на контактах рудных жил и смещающих пород маркируют изменение общего поля напряжений (происходит поворот оси сжатия примерно на  $90^{\circ}$ ), которое произошло после формирования основной части рудных тел. В результате такой эволюции поля напряжений происходит формирование рудных тел в субвертикальных рудных зонах (зоны 74 и 75) северо-восточного простирания. Возможно, в ходе длительной эволюции поля напряжений происходило неоднократное проявление смены динамических режимов, и, как следствие, формирование рудных столбов в уже оформившихся рудных телах в результате дополнительного привноса рудного материала.

*Пострудный этап.* Незначительные изменения внешнего поля напряжений привели к тому, что на этом этапе стали развиваться трещины субширотного простирания, преимущественно в габброидных телах. К этому этапу относится развитие пострудных разломов в основном субширотного простирания. Причина, по которой указанные разломы развивались именно на пострудном этапе, в настоящий момент не установлена. В это же время также происходили пострудные подвижки по уже сформированным разломам (см. табл. 2, III).

2. Поэтапная схема структурной эволюции месторождения Каральвеем

Этап и характер развития	Нормали плоскостей, нижняя полусфера	Ориентировка осей напряжений, верхняя полусфера	Объемная блок-диаграмма
<p><b>I. Дорудный</b>                      Одновременно с формированием и развитием Каральвеемского разлома происходит заложение трещинных систем преимущественно в телах габброидов</p>			
<p><b>II-1. Рудный</b>                      Формирование пояса трещиноватости с осью, отстоящей от плоскости Каральвеемского разлома под углом, близким к 90°; миграция рудного флюида по плоскостям образованных трещин; возникновение рудных жил</p>			
<p><b>II-2. Рудный</b>                      Смена динамического режима; активация плоскости рудных зон 75, 74 и пр.; возможно, к этому этапу относится формирование рудных столбов в продолжающих развитие рудных жилах</p>			
<p><b>III. Пострудный</b>                      Развитие трещин преимущественно в телах габброидов, объединение их в субширотные разломы и подвижки по ним</p>			

**Геохимические особенности рудообразования.**

*Распределение рудогенных элементов по поверхности месторождения.* По результатам спектрального анализа установлено, что базитовые тела отчетливо выделяются по аномалиям Fe, Ti, Mn, Co, Ni, Cr, Cu и рассматриваются как типоморфные базитовые, а аномалии Ca в данном случае отвечают зоне карбонатного метасоматического изменения базитов в связи с рудообразованием. С распределением этого элемента в той или иной степени согласуются Zn, Ag и, что необычно, Sn. Золото при пониженной чувствительности анализа на

этот элемент не всегда показательно, хотя обращает на себя внимание аномальность его содержаний в пробах 50021–50022 и 50033, где с ним отмечены и аномалии Bi. Это может служить косвенным указанием на связь золотого оруденения с гранитоидным магматизмом. Своеобразна позиция Pb, концентрирующегося по обрамлению месторождения – на его северо-восточном, юго-восточном и юго-западном флангах.

Таким образом, рудные участки месторождения Каральвеем фиксируются положительными аномалиями Ag, Zn, Sn, Ca и, вероятно, частично Cu и Co. Аномалии



золота и висмута по периферии требуют установления их природы, не исключено, что здесь проявлено оруденение золотовисмутового типа.

*Распределение рудогенных элементов в вертикальной плоскости месторождения.* Опробование пологопадающих жил участка Безымянный, выполненное на горизонтах штолен, не дало ярко выраженных результатов в распределении рудных элементов из-за небольших размеров сопровождающих их геохимических аномалий, что связано с их относительно пологим залеганием и небольшой протяженностью. При этом наглядная картина распределения элементов по вертикали на всех изученных горизонтах была получена при опробовании двух крупных крутопадающих рудных зон (74а и 75а) с вкрапленным оруденением, прослеживающихся более чем на 350 м на глубину. В этих зонах фиксируются повышенные концентрации Nb, Fe, Zn. Участок Безымянный, и прежде всего район рудных зон 74а и 75а, четко выделяются на глубину сплошной аномалией Zn и локальными аномалиями Au и Ag. Отмечается также по вертикали периодическая смена min и max концентраций Nb и Cu, что может служить указанием на существование волновой зональности рудных зон, присущей обычно месторождениям структурно-морфологического типа минерализованных зон дробления [4]; в частности, такая зональность характерна для рудных зон крупного Нежданнинского месторождения Аллах-Юньского золоторудного пояса Якутии [3]. Это предположительно нашло отражение в распределении концентраций Au в рудных зонах 74а и 75а.

Данные, полученные по штольне 8 (горизонт 770 м), указывают на вероятное существование здесь еще одной рудной зоны, в 200 м к северо-западу от зоны 75а (ближе к устью штольни). Здесь на интервале почти в 200 м выделилась контрастная аномалия As, Nb, Pb, отмечены пробы с содержанием Au 3,5 г/т и неконтрастные аномалии Sn, Ag и Zn.

*Околорудные первичные ореолы.* Для выявления **околожилных** первичных ореолов и оценки их вертикальной зональности проведено геохимическое опробование жил 45, 36, 3, 2 и вмещающих пород вкрест их простирания. Установлено, что жилы сопровождаются мало контрастными ореолами для Au на расстоянии 1–2 метра от контактов, а для Ag – на расстоянии до 5–7 м. Причем содержание Ag по вертикали в ореоле жилы 3а на интервале 100 м резко снижается (в 8–10 раз), при этом максимальные содержания Mo, Sb, W, As приурочены к жилам. В вертикальном разрезе наблюдается падение концентраций этих элементов с глубиной для участка Промоина в среднем в 2–3 раза (для W в 4–6 раз), в отличие от участка Безымянный, где содержание Sb в жилах с глубиной возрастает в 10 и более раз. Рудные жилы и околожилные породы участка Безымянный характеризуются мало контрастными аномалиями Pb, Ag, Sb, особенно по жиле 45. Иногда отмечается повышение фона Sn или Au, тогда как для жилы 36 на

горизонте 480 м повышаются Ag и Pb преимущественно в ее висячем боку. Следует отметить отрицательные аномалии Cu в обоих случаях.

Околорудные первичные ореолы изучены также для **рудноносных зон**. Опробованы зоны: 75а вкрест простирания на четырех горизонтах, для зоны 74а – на двух. Установлено, что в этих зонах максимальные концентрации Ag, Au, Sb, Sn, W, Nb тяготеют к центральным частям и значительно выше, чем во вмещающих породах (в среднем в 2–6 раз). Для Ni, Co, Cu характерно резкое падение содержаний к центру зоны на горизонте 770 м (в 3–7 раз), на других горизонтах эта разница не превышает двукратной. Количество Pb и Zn в зонах, как правило, больше, чем во вмещающих породах, но меньше, чем в жильных телах. В некоторых пробах из зон установлены повышенные содержания Pd – 0,22; 0,11; 0,14 и 0,15 г/т, что может быть связано с рудовмещающими базитами и привносит определенную специфику в характер рудного выполнения зон.

Таким образом, геохимическими элементами-индикаторами рудных жил можно считать Sb, As, Pb, W, а для зон – Nb, Fe, Zn и в какой-то мере Pd. Размер аномалий для этих элементов не превышает в среднем 5–8 м в поперечнике. Причем в штуфах, отобранных из максимально обогащенных рудными минералами участков жильных тел, к ним добавляются Bi, Mo. По качественным параметрам распределения намечается заметная контрастность в содержаниях ряда индикаторных элементов в зависимости от вертикальной протяженности рудных тел. Так, для жилы 3а участка Промоина установлено контрастное уменьшение почти всех индикаторных элементов в околожилном пространстве, за исключением Pb, на вертикальном интервале в 100 метров. Для жил 36 и 45 участка Безымянный на таком же интервале эти изменения заметно менее контрастны, то есть вертикальная зональность ореолов менее отчетливая. В целом это соотносится с протяженностью рудных тел и может служить дополнительным указанием на затухание оруденения.

**Сравнительная характеристика минералогии рудных жил и зон.** На месторождении Каральвеем (участках Безымянный и Промоина) до недавнего времени были известны только жильные рудные тела, но к настоящему времени на участке Безымянный выявлены и впервые изучены авторами две рудно-метасоматические зоны вкрапленного оруденения (74а и 75а). Это крутопадающие рудные тела (аз. пад. 150°, угол 50°–55°), пересекающие пологозалегающие жилы, мощностью 7–9 м с содержаниями золота 0,5–20 г/т.

Метасоматиты, вмещающие вкрапленное золотое оруденение, представляют собой перемятые и неравномерно окварцованные, хлоритизированные и серицитизированные габбро-диабазы с короткими (5–7 см) просечками пирита мощностью до 3 мм и его гнездами и вкрапленниками (рис. 5, г–е). Основная масса породы преимущественно хлоритизирована и серицити-

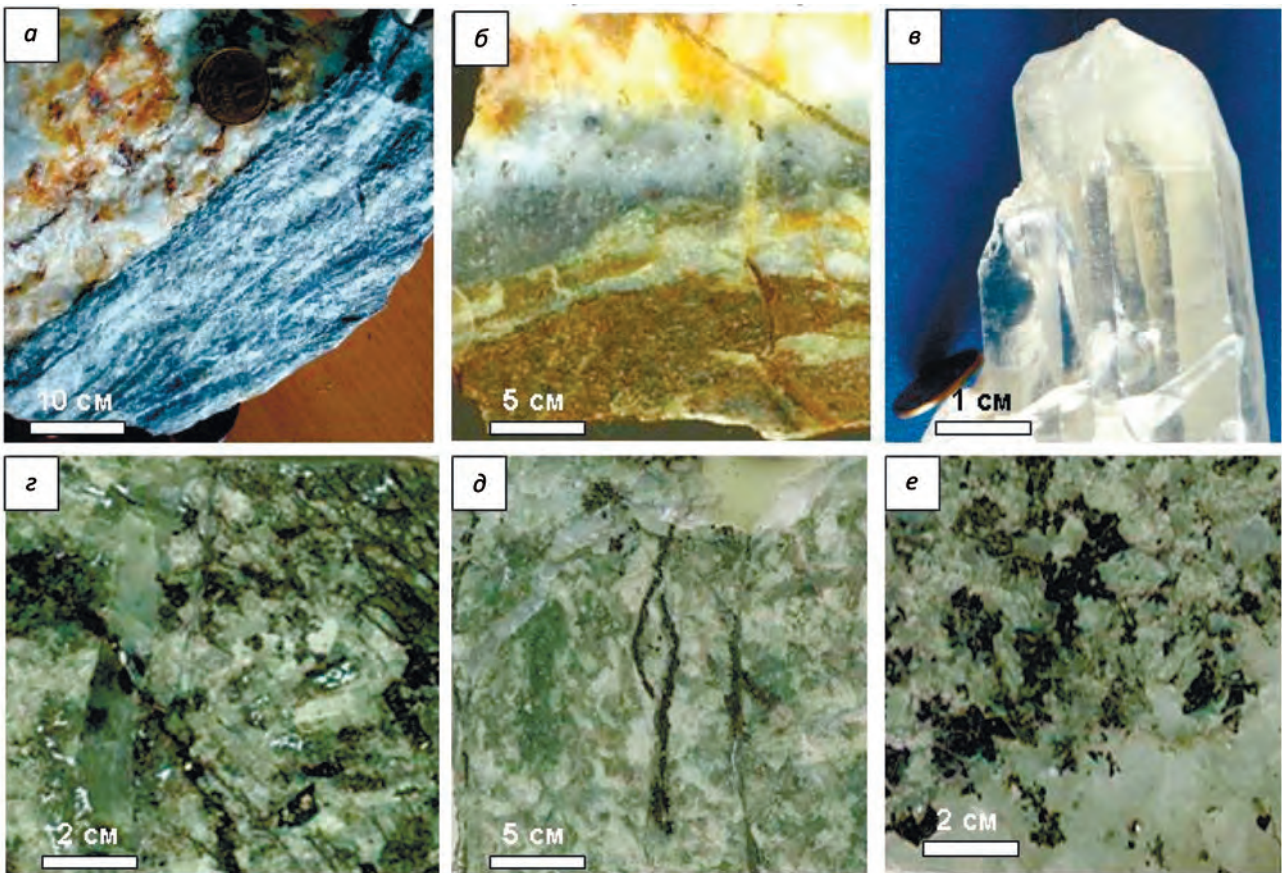


Рис. 5. Текстуры руд месторождения Каральвеем:

*a–в* – в жилах: *a* – вкрапленная и плосчатая: сверху – вкрапленность арсенопирита в кварце, внизу – тонкое чередование полос кварца и арсенопирита, *б* – гнездово-вкрапленная вкрапленники сульфидов (черное) и гнезда шеелита (серое) в кварце (белое), *в* – друзовая (сросток кристаллов кварца); *z–e* – в зонах: *z* – текстура смятия и тонких пиритовых просечек, *д* – просечки пирита в метасоматите, *е* – густая вкрапленность золотоносного пирита

зирована, соотношение хлорита к серициту 5:1. Реже встречается актинолит, образующий скопления до 7 мм в поперечнике. Характерная особенность метасоматитов зоны 75а – интенсивная флюидонасыщенность вторичного кварца и высокое содержание в нем апатита до 1–2 % (рис. 6). В апатите встречены зерна Nb содержащих минералов, с эффектом плеохроичных двориков (см. рис. 5, *z–e*). Сульфидность метасоматитов 5–7 %, и она постепенно снижается в направлении с юго-востока на северо-запад. Соотношение пирита к арсенопириту изменяется в том же направлении от 1:10 до 1:3. Метасоматиты пересечены сетью непротяженных кварцевых прожилков мощностью 1–3 см и сульфидных просечек (см. рис. 5, *z–e*). На рис. 7 показано строение зоны 75а на горизонте 430 м штольни 6 с точками отбора проб. Содержания золота на этом отрезке составляют от 1,0 до 20,5 г/т.

Минералогическая характеристика этих зон будет рассмотрена в сравнительном плане с жильными телами. Наиболее распространенные текстуры жил – полосчатые, в сочетании с вкрапленными (см. рис. 5, *a–e*). Они обусловлены чередованием полос кварца и сульфидов, причем более грубополосчатые отмечаются на участке Безмянный. На нижних горизонтах участка Промоина развиты самые тонко-полосчатые текстуры, которые выше сменяются брекчиевыми (кварц с обломками базитов), а также массивным кварцем с друзами горного хрусталя (см. рис. 5, *б*). В отличие от них в зонах вкрапленных руд текстурный рисунок характеризуется процессами смятия с широким развитием пиритовых просечек протяженностью первые десятки сантиметров с раздувами и пережимами, многочисленными вкрапленниками существенно пиритового состава и более редкими – мелкого золота (см. рис. 5, *z–e*).



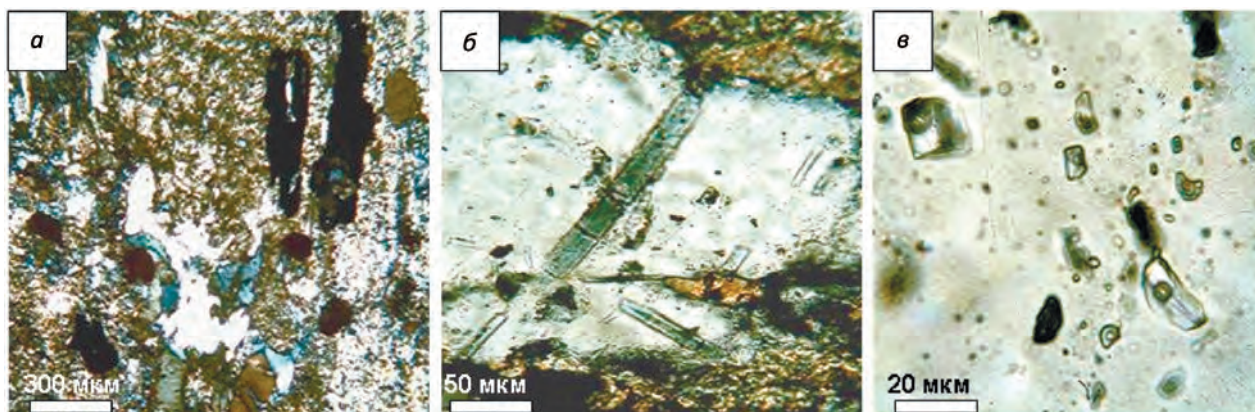


Рис. 6. Метасоматиты зоны 75а (прозрачные шлифы):

а – кварц-хлорит-гидрохлоритовый метасоматит с мелкими просечками пирита (черное); б – многочисленные включения апатита (удлиненные кристаллы) в кварце; в – флюидонасыщенность кварца (трехфазные флюидные включения)

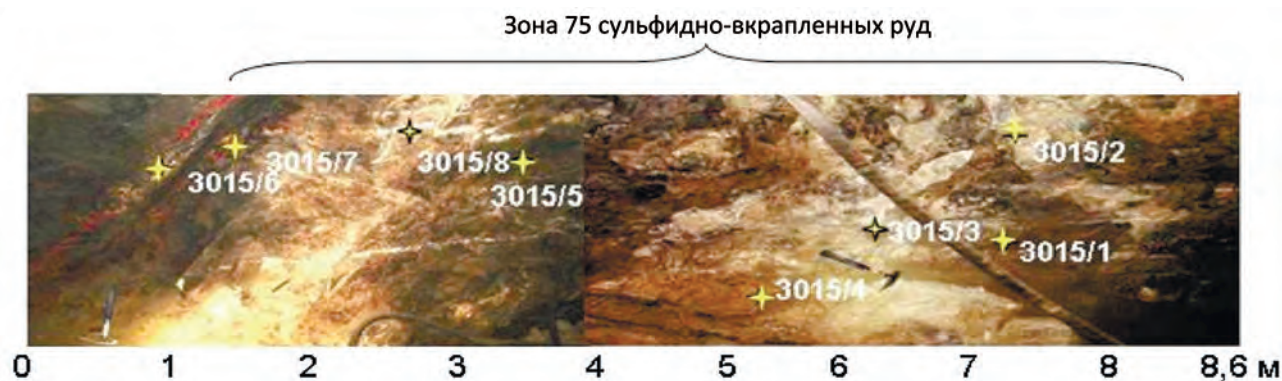


Рис. 7. Схема отбора образцов и проб из зоны 75 на горизонте 480, северо-западная стенка

**Минеральный состав руд**, приводимый предыдущими исследователями [11] пополнен новыми данными (табл. 3).

Последовательно образующиеся минеральные ассоциации жильных тел участков Безымянный и Промойна практически не отличаются друг от друга и имеют следующий вид:

- кварц-1+карбонат+эпидот+аксинит+пирротин →
- кварц-2+карбонат+шеелит →
- арсенопирит-1+пирит →
- сфалерит+халькопирит+галенит+арсенопирит-2 →
- **самородное золото** → кварц-3+карбонат+пирит,

для участка Промойна добавляется поздняя ассоциация – горный хрусталь (кварц 4)+кальцит+самородное золото.

Отмечаются существенные отличия в минеральном составе жил. Жила 45 отчетливо выделяется обогащен-

ностью минералами W, Be. Здесь установлены самые крупные выделения шеелита, значительные количества галенита, высокая частота встречаемости видимого золота. В галените впервые установлены включения *самородного висмута* (рис. 8). Здесь самое низкое количество пирита – Asp:Py=10:1. Жила 36 отличается от жилы 45 понижением количества минералов продуктивного парагенезиса – галенита, сфалерита и шеелита. Повышается количество пирита – Asp: Py=10:3, а в жиле 3а на участке Промойна в галените встречена Ag-Pb-Bi сульфосоль, которая по оптическим данным определена как *эскимоит*? (см. рис. 8).

**Типоморфные особенности главных минералов руд.** Кварц в жильных рудных телах образует пять генераций, которые отлагались разновременно и ассоциируют с различными минералами: *кварц-1* – полупрозрачный (ассоциация с аксинитом) и без аксинита с



3. Минеральный состав руд и метасоматитов месторождения Каральвеем по степени распространенности

Группы минералов	Главные	Второстепенные	Редкие
Жильно-метасоматические	Кварц, анкерит	Кальцит, мусковит, эпидот*, аксинит*, хлорит, диксит, каолинит, сидерит, апатит*, рутил*	Берилл, флюорит, ильменорутил*, колумбит?*, малакон*
Рудные	Арсенопирит, пирит, пирротин*	Шеелит, галенит, халькопирит, сфалерит	Блѣклая руда, самородный висмут*, эскимоит?*
Гипергенные	Гидроксиды Fe, гетит, скородит	Гидроксиды Mn, гипс, англезит*	Церуссит, ковеллин, каламин*

Примечание. \* – минералы, добавленные в список авторами настоящей статьи.

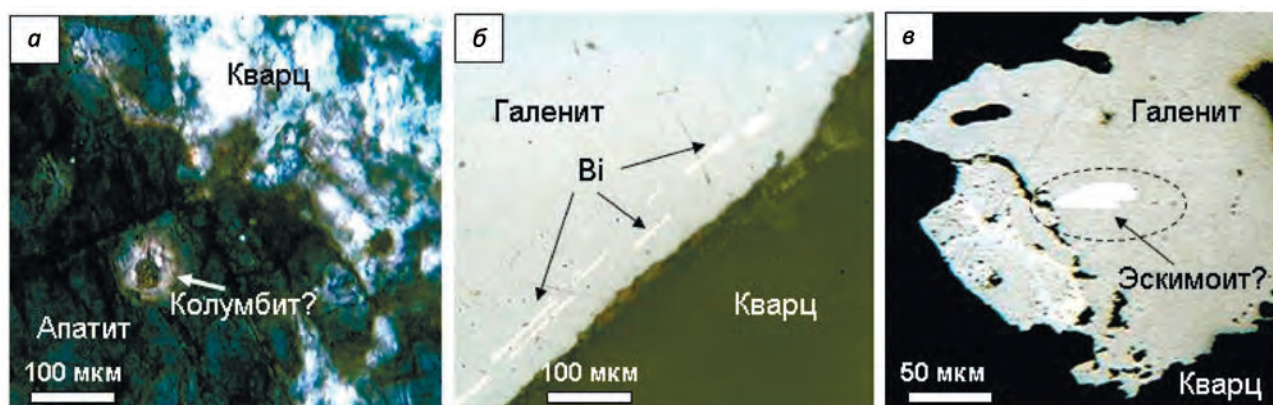


Рис. 8. Выделения рудных минералов:

а – Nb-содержащий минерал (колумбит?) с типичным плеохроичным двориком, в апатите (прозрачный шлиф, с анализатором), зона 75; б – выделение самородного висмута в галените (жила 3б); в – выделение свинцово-сурьмяной сульфосоли (ширмерита?) в галените жила 3а

волнистым угасанием; *кварц-2* – молочно-белый с вкрапленностью арсенопирита; *кварц-3* – голубовато-серый в ассоциации с арсенопиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, золотом; *кварц-4* – криптозернистый в ассоциации со сфалеритом, халькопиритом, арсенопиритом, золотом; *кварц-5* – друзовидный горный хрусталь, иногда с золотом.

В рудных зонах 74а и 75а установлены *кварц-1* – мелкозернистый, неравномерно распределенный в метасоматите, и *кварц-2* – молочно-белый и полупрозрачный, образующий линзы и просечки мощностью 2–4 см, протяженностью до 40 см с вкрапленностью пирита и арсенопирита.

*Арсенопирит* относится к ранним рудным образованиям, отличается большим разнообразием форм и размеров от гигантозернистых (до 5 см) индивидов до тонкозернистых агрегатов. Его отложение и переотложение в ходе рудообразования происходило неоднократно. Об этом свидетельствуют как не катаклазированные кристаллы (0,5–4,0 см), так и тонко раздробленные агрегаты, а также появление поздних мелких удлиненно-

призматических кристаллов в галените. В жильных телах арсенопирит наиболее широко распространен по сравнению с другими рудными минералами. Арсенопирит в жилах постоянно ассоциирует с пиритом, галенитом и содержит включения самородного золота, пирротина, халькопирита, галенита, по отношению к которым он более ранний.

*Арсенопирит* в рудно-метасоматических зонах развит значительно реже, чем пирит ( $Asp: Py=1:10-1:6$ ). По составу он отличается от арсенопирита жильных тел более низкой мышьяковистостью, а это, согласно статистическим исследованиям Е.Э.Тюковой [22, с. 86], сближает его с классической золото-кварцевой формацией, связанной с гранитоидами, тогда как для жильных тел он частично попадает в область золото-висмутовой (рис. 9).

*Самородное золото* в жилах имеет пробность 880–905%. По морфологии выделяются пять основных типов: I – свободное в кварце – 50–60%; II – крупное в сростаниях с арсенопиритом и галенитом – 20–30%; III – мелкие включения в арсенопирите 20–30%;

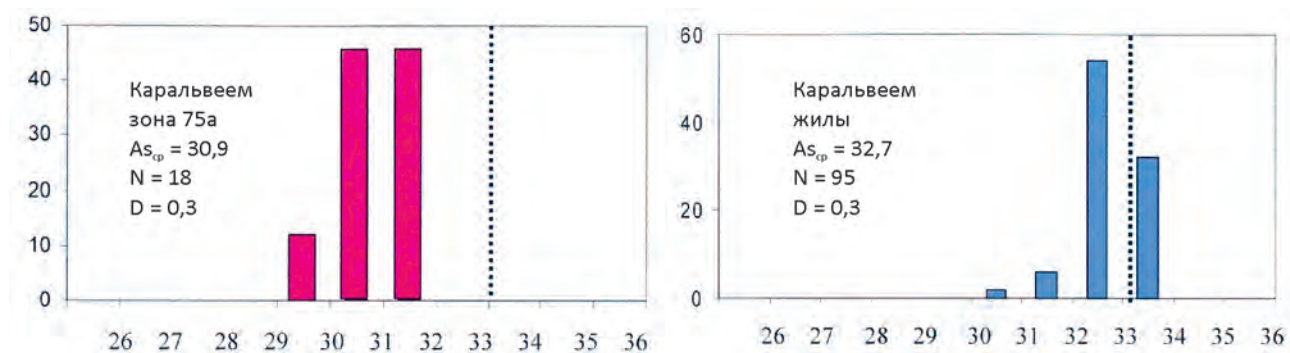


Рис. 9. Сопоставление составов арсенипирита зоны 75 (слева) и жильных тел (справа) в рудах Каральвеема:

по оси: ординат – частота встречаемости, в %, абсцисс – концентрации As, в ат.%; пунктир – линия раздела (по Е.Э.Тюковой, С.В.Ворошину, 2007) – налево в сторону золотокварцевой формации, направо – в сторону золото-кварц-висмутовой

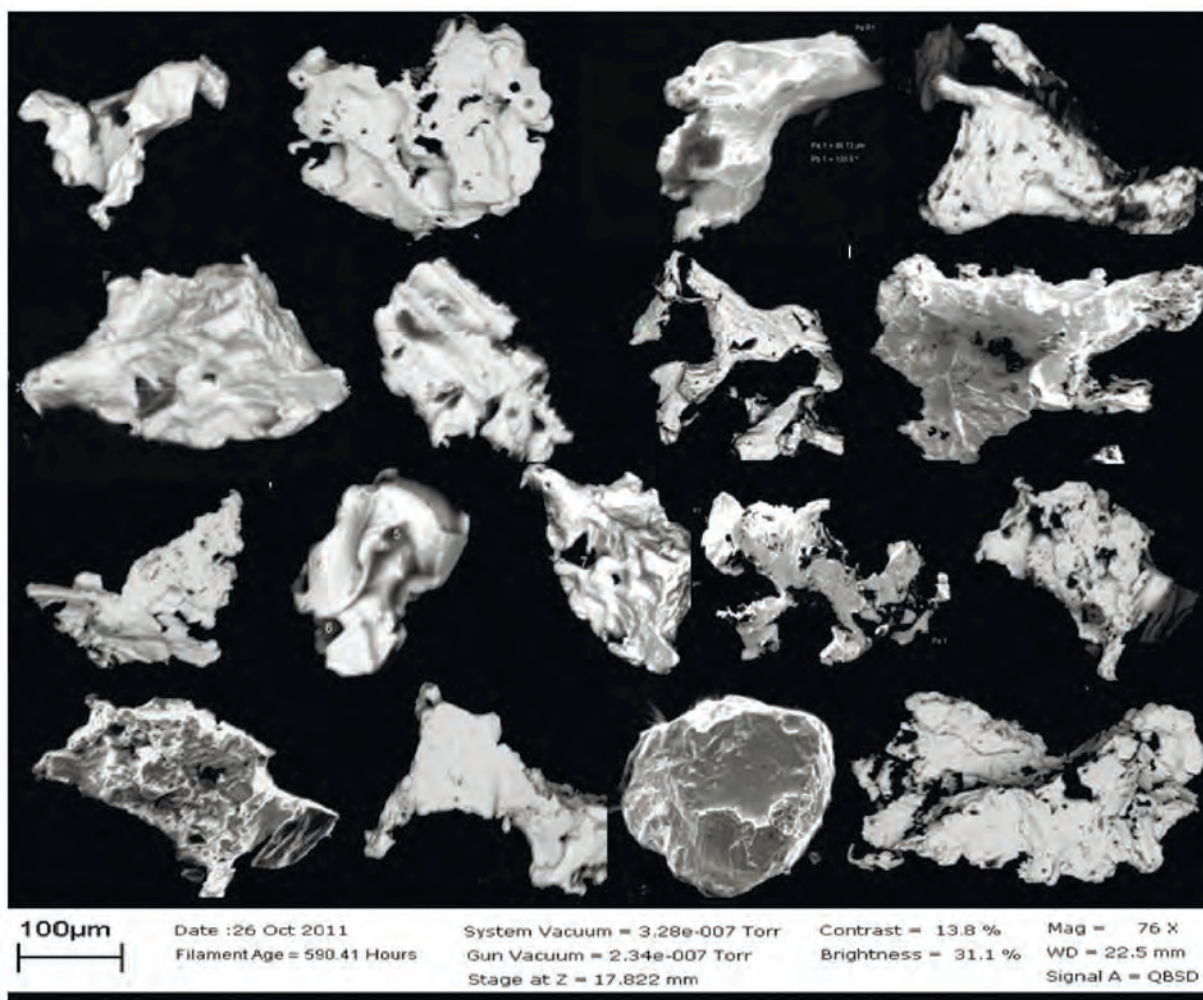


Рис. 10. Морфология частиц самородного золота из зон 75 и 74:

выделено из протоочки плавиковой кислотой, снято в отраженных электронах

IV – друзовидное на кристаллах горного хрусталя – 1–3%. Типоморфные особенности самородного Au жил и зон приведены в табл. 4. Морфология частиц Au из зон 74а и 75а обычно комковидная с многочисленными выступами и отпечатками матрицы. В хлорит-серицитовый массе отмечаются мелкие монокристаллы Au (рис. 10). По пробности оно практически не отличается от Au и жил. Золотосеребряное отношение колеблется от 6:1 до 1:1. Изучение крупности Au из зоны 75а показало, что преобладает его мелкая фракция 10–50 мкм (рис. 11). В табл. 5 показаны содержания Au и сопутствующих ему рудных компонентов в зоне 75а по результатам атомно-абсорбционного анализа, характеризующие неравномерное распределение Au в плоскости рудных зон и преобладание Co над Ni на горизонте 430 и Ni над Co на горизонте 480.

*Пирит* – главный рудный минерал зон. Он корродирует арсенопирит и почти полностью псевдоморфно за-

мещает его. В межблоковом пространстве пирита отлагаются мелкие выделения самородного золота (рис. 12). Благодаря блоковому строению пирита при дроблении он легко разрушается, переходя в пылевидную фракцию, при этом золото практически полностью высвобождается. Это делает руды метасоматических зон легкообогатимыми. Тонковкрапленная золотая минерализация сосредоточена в основном в пирите, в меньшей степени в хлорите, сериците, кварце (см. рис. 12), в отличие от жильных тел, где золото часто находится в тесном сростании с арсенопиритом и галенитом.

На основе изучения пространственно-временных отношений минералов и минеральных парагенезисов построена схема последовательности минералообразования, по существу являющаяся геолого-генетической моделью оруденения. С учетом полученных новых фактов в гипогенном этапе выделена новая стадия – рудоотложение в зонах. Этой стадии сопутствовала

#### 4. Результаты атомно-абсорбционного анализа штучных проб из зоны 75а (в г/т)

Номера		Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Ni	Co
анализов	проб							
<i>Горизонт 430 м</i>								
0	КРВ-II-1г	0,48	1,9	90,2	125,6	30,3	8,7	23,4
1	КРВ-II-2г	1,84	1,8	37,3	135,0	20,4	10,3	18,6
2	КРВ-II-3г	2,06	2,0	68,7	116,8	20,8	8,2	18,0
3	КРВ-II-4г	8,85	2,3	43,1	116,9	12,4	6,9	17,1
4	КРВ-II-5г	0,52	1,2	34,0	85,0	20,3	6,8	19,0
5	КРВ-II-6г	0,55	1,24	42,4	69,1	3,6	6,8	13,4
6	КРВ-II-7г	0,28	1,7	31,2	93,3	15,3	9,2	20,7
7	КРВ-II-8г	0,13	2,7	74,5	75,2	15,1	21,4	19,5
8	КРВ-II-9г	0,13	1,2	69,1	56,7	13,3	38,6	16,6
9	КРВ-II-10г	3,20	2,1	111,3	70,7	13,0	44,7	20,3
10	КРВ-II-11г	0,30	1,2	133,5	80,0	20,4	50,5	24,7
11	КРВ-II-12г	0,34	1,2	131,2	80,6	17,9	51,7	23,5
12	КРВ-II-13г	0,31	1,3	139,6	93,4	26,9	53,0	24,4
<i>Горизонт 480 м</i>								
0	КРВ-II-15г	0,16	1,2	14,6	201,0	35,9	9,9	11,2
1	КРВ-II-16г	0,52	37,1	21,6	156,4	31,7	7,7	8,4
2	КРВ-II-17г	0,25	1,8	45,4	200,0	32,0	9,2	10,3
3	КРВ-II-18г	0,12	1,3	15,9	158,6	25,3	8,0	9,6
4	КРВ-II-19г	0,78	2,6	15,1	113,9	19,8	14,4	8,3
5	КРВ-II-20г	4,70	1,8	64,1	159,4	19,0	50,1	8,9
6	КРВ-II-21г	5,00	2,5	98,8	145,3	18,3	35,9	8,8
7	КРВ-II-22г	5,80	2,0	76,6	174,2	13,8	34,1	9,5
8	КРВ-II-23г	4,50	1,8	123,3	142,6	19,0	27,3	10,3
9	КРВ-II-24г	4,38	1,5	80,6	181,0	23,0	27,7	8,9
10	КРВ-II-25г	20,60	3,1	73,8	170,5	22,5	24,1	7,5
11	КРВ-II-26г	0,63	1,5	41,6	170,4	18,4	23,0	8,9
12	КРВ-II-27г	8,86	1,8	153,6	223,7	46,5	21,5	9,6
13	КРВ-II-28г	0,47	1,1	82,0	72,1	27,6	35,9	18,9



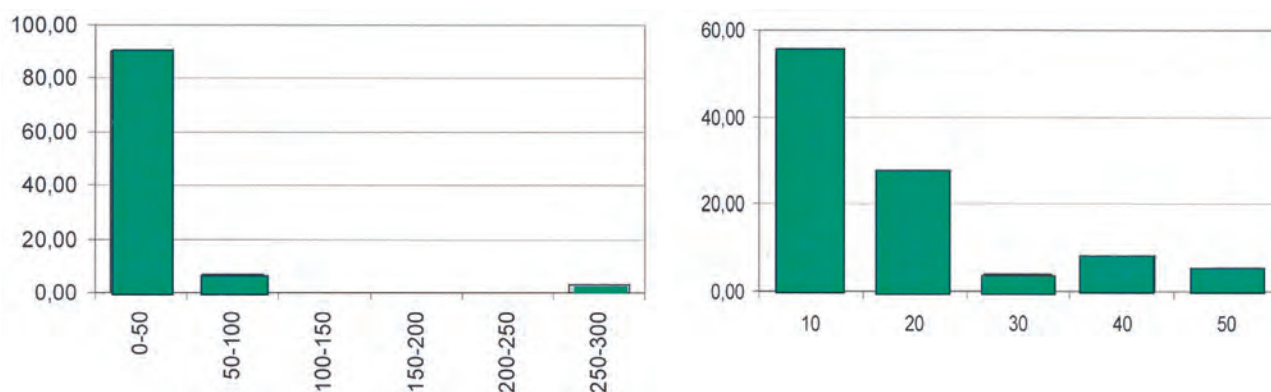


Рис. 11. Гистограммы крупности золота зоны 75а:

для всего золота (слева); для тонкого золота (справа); по оси: ординат – частота встречаемости (в %), абсцисс – классы крупности (в мкм)

### 5. Типоморфные особенности самородного золота в рудах месторождения Каральвеем

Характеристики	Участок Безымянный		Участок Промонна	
	Жилы 36 и 45	Зона 75	Жилы 3-3а	
Морфология частиц	<b>1-й тип:</b> ксеноморфное, интерстициальное в кварце; <b>2-й тип:</b> округлые, неправильной формы и пластинчатое по трещинам катаклаза в арсенопирите и галените; <b>3-й тип:</b> мелкие точки, каплевидное в арсенопирите	<b>1-й тип:</b> микрокристаллы (идиоморфные) в кварце, хлорите и сериците; <b>2-й тип:</b> комковидное неправильной формы и каплевидное в пирите, реже арсенопирите	<b>1-й тип:</b> ксеноморфное, интерстициальное в кварце; <b>2-й тип:</b> округлые, неправильной формы и пластинчатое по трещинам катаклаза в арсенопирите и галените; <b>3-й тип:</b> мелкие точки, каплевидное в арсенопирите; <b>4-й тип:</b> сростки октаэдрических кристаллов на горном хрустале	
Пробность, %	Жила 36	Жила 45	1-й тип <u>951–827</u> 904	1-й тип 828, 857,903
	1-й тип <u>902–895</u> 900	1-й тип <u>902–895</u> 900		
	2-й тип <u>893–873</u> 880	2-й тип (сростки с галенитом) <u>914–899</u> 908	2-й тип <u>869–932</u> 888	2-й тип <u>893–873</u> 880

структурная перестройка (см. табл. 2), изменение минерального состава метасоматитов, с отложением золота в пирите и обеднение рудообразующей системы As. (табл. 6).

**Термобарогеохимическая характеристика руд.** Кварц месторождения Каральвеем характеризуется высокой насыщенностью флюидными включениями (ФВ), в основном размером от 2 до 20 мкм. Для кварца из рудных жил 3а и 45 характерно преобладание ФВ размером от 10 до 50 мкм.

Температурный интервал гомогенизации ФВ – 310°–181°С, при наиболее распространенных температурах

гомогенизации ФВ – 250°–220°С. Все изученные флюидные включения заполнены низко концентрированным – 2,35–5,86 мас. % экв. NaCl ( $T_{пл.л.} = -2^{\circ} \dots -3,6^{\circ}C$ ) соевым раствором гидрокарбонатно-сульфатного состава ( $T_{эвт.} = -21^{\circ} \dots -37^{\circ}C$ ) с примесями углекислоты, что сопоставимо с данными валового анализа состава ФВ, проведенного в ФГУП ЦНИГРИ С.Г.Кряжевым [14]. По его данным, первичные флюидные включения в кварце имеют следующий состав (г/кг H<sub>2</sub>O): (Na 0,87, K 0,07, Ca 0,03, Mg 0,03)/(Cl 0,03, SO<sub>4</sub> 0,06, HCO<sub>3</sub> 0,91), минерализация 25 г/л, с примесью цветных металлов (мг/кг H<sub>2</sub>O): Li 40, B 550, Rb 2, Sr 2, Sb 4,

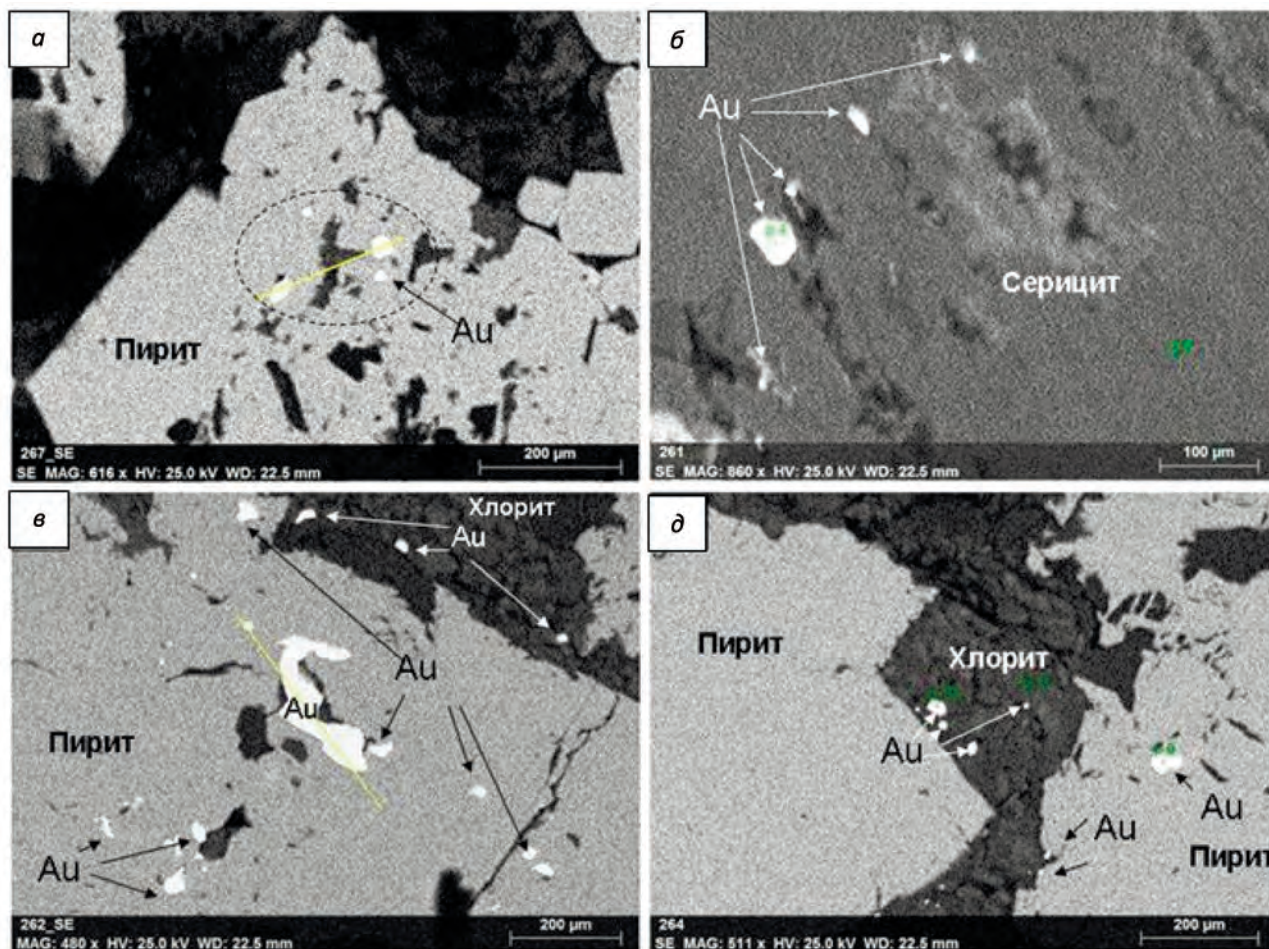


Рис. 12. Вкрапленное золото в рудах зоны 75а (растровое изображение):

золото: а, в – в пирите, б – сериците, г – хлорите

As 335, Ba 1, Pb 6, Zn 160, Cu 80, Ni 3, Sn 1, W 1. По термометрическим характеристикам выделяются ФВ из кварца жил 45 и 3а. Для них характерны наличие газогидратов  $\text{CO}_2$ , повышенные температуры гомогенизации ФВ –  $265^\circ\text{--}310^\circ\text{C}$ , низкие концентрации растворов и наличие в них ионов Mg ( $T_{\text{эвт.}} = -32,5^\circ\text{C}$ ) (табл. 7). Выявленные отличительные особенности, возможно, связаны со структурной позицией данных рудных тел (зоны повышенной трещиноватости). Проведенные термо- и криометрические исследования позволяют сделать следующие выводы. Формирование рудных жил месторождения Каральвеем происходило в условиях равномерного поступления низко концентрированного гидрокарбонатно-сульфатного флюида с примесью углекислоты при давлении порядка 600–1200 бар [11, 14, 16]. В трещиноватых зонах при резком снижении давления до 200–300 бар происходило вскипание углекислотно-водного флюида, о чем свидетельствует преобладание крупных ( $>20\ \mu\text{m}$ ), существенно газовых ФВ

в кварце жил 45 и 3а. Наличие микровзрывов и «расшнуровки» флюидных включений указывает на поздние эманации более высокотемпературного флюида, но их небольшое распространение позволяет говорить о незначительности этих событий.

В заключение отметим следующее. В результате проведенного детального анализа структуры золоторудного месторождения Каральвеем намечена поэтапная эволюция формирования структуры. Рудный этап разделяется на два подэтапа: на первом этапе формировались рудные тела в кварцевых жилах, на втором – рудные зоны (74а и 75а) (см. табл. 2).

Выявлены элементы-индикаторы рудных зон 74а и 75а – Nb, Fe, Zn и сделано предположение о существовании еще одной подобной зоны на горизонте штольни 8. Показано, что волновая геохимическая зональность характерна для рудных зон, прямая, в разной степени контрастная – для жил. Следует обратить внимание на поведение Nb, Sn и Be, максимальные содержания

Таблица 6. Схема последовательности минералообразования на месторождении Каральвеем

МИНЕРАЛЫ	ЭТАПЫ				Вторичное минералообразование
	ГИПОГЕННЫЙ			Рудоотложение в зонах	
	Допродуктивный	Рудоотложение в жилах			
		1-стадия	2-стадия		
Эпидот	██████████				
Аксинит	██████████				
Мусковит	██████████				
Хлорит	██████████			██████████	
Серицит	██████████			██████████	
Берилл		██████████			
Актинолит				██████████	
Апатит				██████████	
Кварц	██████████	██████████	██████████	██████████	
Анкерит	██████████		██████████		
Сидерит			██████████		
Кальцит	██████████		██████████	██████████	
Шеелит			██████████		
Пирротин	██████████				
Арсенопирит		██████████	██████████		
Пирит		██████████		██████████	
Сфалерит			██████████		
Галенит			██████████		
Халькопирит	██████████		██████████		
Блѣклая руда			██████████		
Ширмерит?			-----		
Самородный Вi			██████████		
Самородное Au		██████████	██████████	██████████	
Гидрооксиды Fe					██████████
Гидрооксиды Mn					-----
Скородит					██████████
Англезит					██████████
Церуссит					██████████
Каламин					██████████
Гипс					██████████

которых тяготеют к центральным частям указанных рудных зон, что позволяет предположить генетическую связь оруденения с гранитоидами. На флангах месторождения установлены аномалии Au и Вi, которые не исключают того, что здесь проявлено оруденение золото-висмутового типа.

Изучена минералогия рудно-метасоматических зон 74а и 75а (оруденение нового типа для Каральвеемского месторождения), которая охарактеризована в

сравнительном плане с жильными телами. Формирование зон выделено в отдельную стадию (см. табл. 6), которой сопутствовала структурная перестройка, а также изменение минерального состава метасоматитов, с отложением золота в пирите и обеднение рудообразующей системы As. Основными минералами, образующими сростания с золотом в жильных телах 45 и 36, являются арсенопирит, галенит и кварц, а в зонах вкрапленных руд 74а и 75а – пирит. Преобладающая



7. Результаты термо- и криометрических исследований индивидуальных флюидных включений в кварце рудных жил месторождения Каральвеем

Пробы	Привязка	Температуры фазовых переходов, °С							Расчетные	
		Тип ГЖВ	$T_{\text{звт.}}$	$T_{\text{пл. л.}}$	$T_{\text{пл. ГГ}}$	$T_{\text{пл. CO}_2}$	$T_{\text{гом. CO}_2}$	$T_{\text{гом. (Ж-Г)}}$	С солей, мас. %-экв. NaCl	Компонентный состав водно-солевой системы
3002	Жила 36, гор. 520, шт-19	L	-22,6	-2,8	н	н	н	230–250	4,65	NaCl–Na <sub>2</sub> B <sub>2</sub> O <sub>8</sub> –H <sub>2</sub> O
3006-2	Жила 45, гор. 520, шт-19	LC	-32,5	-3,5	8,7	-57,7	24Г	265–310	2,35	MgCl <sub>2</sub> –H <sub>2</sub> O
3015	Зона 75, гор. 480, шт-6	L	-37,6	-2	н	н	н	245	3,39	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> –K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> –H <sub>2</sub> O
		L	-20	-3,6	н	н	н	181–270	5,86	NaCl–H <sub>2</sub> O
		L	-23,2	-2,9	н	н	н	220–270	4,8	NaCl–KCl–H <sub>2</sub> O
		L	-33	-2	н	н	н	270–281	3,39	MgCl <sub>2</sub> –H <sub>2</sub> O
3032	Жила 3а, гор. 680, шт-5	LC*	-33	-3,1	10,8	-59,2	24,8Г	265	4,5	MgCl <sub>2</sub> –H <sub>2</sub> O
		L*	-21	-2,5	н	н	н	250	4,18	NaCl–H <sub>2</sub> O
		L	-27,8	-3	н	н	н	212	4,96	NaCl–KCl–H <sub>2</sub> O
		L	-21	-3,1	н	н	н	227–252	5,11	NaCl–H <sub>2</sub> O

**Примечание.** Каждая строчка в таблице характеризует группу включений (не менее 5) с близкими *P-T-X*-параметрами, присутствующих в одном или нескольких образцах; н – соответствующий фазовый переход отсутствует или неясно выражен; LC – углекислотно-водные; С – газодные; L – двухфазовые газод-жидкие; Ж – гомогенизация углекислоты в жидкую фазу; Г – в газовую фазу; \* – данные, полученные совместно с д-ром геол.-минер. наук В.Ю.Прокофьевым на базе лаборатории рудных месторождений им. А.Г.Бетехтина ИГЕМ.

размерность самородного золота в зонах 10–50 мкм, пробность – 827–951%. Составлена схема стадийного минералообразования. Отличительной чертой рудных зон 74а и 75а также являются увеличенные содержания апатита до 1–2%, что, вероятно, связано с выносом F из осадочных толщ триаса.

Проведены термо- и криометрические исследования индивидуальных флюидных включений в кварце рудных жил месторождения Каральвеем, которые показали, что формирование рудных жил описываемого месторождения происходило в условиях равномерного поступления низкоконцентрированного гидрокарбонатно-сульфатного флюида с примесью углекислоты при давлении порядка 600–1200 бар, а наличие микровзрывов и «расшнуровки» флюидных включений указывает на поздние эманации более высокотемпературного флюида, возможно, связанные с формированием рудно-метасоматических зон.

*Авторы выражают благодарность главному геологу ООО «Рудник Каральвеем» В.В.Гаитольду за предоставленную возможность проведения работ на месторождении Каральвеем.*

*Работа выполнена при частичной поддержке РФФ, проект № 14-17-00170 и гранта ДВО РАН (программа Дальний Восток) № 15-1-2-038.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Г.В. Гипсометрический анализ в металлогении. – Л.: Недра, 1990.
2. Борисенко А. С. Изучение солевого состава газод-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
3. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Зональность изменения типоморфных свойств минералов одного из золоторудных месторождений Восточной Якутии // Типоморфные особенности рудных минералов эндогенных образований Якутии. – Якутск, 1983. С. 6–19.
4. Гамянин Г.Н. Минералого-генетические аспекты золотого оруденения Верхояно-Колымских мезозоид. – М.: Геос, 2001.
5. Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алтаев В.В. Нежданское золоторудное месторождение – уникальное месторождение Северо-Востока России. – М.: ГЕОС, 2000.
6. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2 кн. / Под ред. А.И.Ханчука. – Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 1–572+цвет. карта.
7. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. – М.: Недра, 1975.
8. Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998.
9. Горячев Н.А. Происхождение золото-кварцевых жильных поясов северной Пацифики. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003.

10. *Гущенко О.И.* Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений // Поля напряжений и деформаций в литосфере / Под. ред. А.С.Григорьева. – М.: Наука, 1979. С. 7–25.
11. *Давиденко Н.М.* Минеральные ассоциации и условия формирования золотоносных кварцевых жил Мало-Аннуйского района Западной Чукотки. – Новосибирск: Наука, 1975.
12. *Золоторудное* месторождение Каральвеем: новые данные о геологии, минералогии и условиях формирования / Н.А.Горячев, В.В.Гаштольд, Н.Е.Савва и др. // Мат-лы докл. всерос. научной конференции 26–28 ноября 2013 г. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2013. С. 94–96.
13. *Кондратьев М.Н.* Структурная модель формирования золоторудного месторождения Каральвеем // Третья тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН / Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле // Тез. докл. всерос. конф. В 2 томах. – М., 2012. Т. 2.
14. *Кряжев С.Г., Двуреченская С.С., Уютов В.И.* Формирование золоторудного месторождения Кекура // Мат-лы всерос. конф. (с международным участием), посвященной 100-летию Н.А.Шило: «Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений». – М.: ИГЕМ РАН, 2013. С. 89.
15. *Мельников Ф. П., Прокофьев В. Ю., Шатагин Н. Н.* Термобарогеохимия. – М.: Академический проект, 2008.
16. *Минералогические* особенности золоторудного месторождения Кекура (Чукотка) / С.С.Двуреченская, С.Г.Кряжев, Г.Н.Нурғалиев, А.А.Елманов // Минералогические исследования и минерально-сырьевые ресурсы России. Мат-лы годичной сессии Российского минералогического общества. – М.: ИГЕМ РАН, 2007. С. 92–93.
17. *Николаев П.Н.* Методика тектонодинамического анализа. – М.: Недра, 1982.
18. *О возрасте* гранитных интрузий Аннуйско-Чукотской складчатой системы / С.М.Катков, А.Стрикленд, Э.Л.Миллер, Дж.Торо // ДАН. 2007. Т. 414. № 2. С. 219–222.
19. *Ползуненков Г.О., Кондратьев М.Н.* Патент 137609 Российская Федерация, МПК G 01 С 17/00. Геологический электронный компас. Патентообладатель СВКНИИ ДВО РАН. № 2013130074/28. Заявл. 01.07.2013. Оpubл. 20.02.2014. Бюл. № 5.
20. *Поля напряжений* в зонах разломов и формирование структуры рудных полей // Поля напряжений и деформаций в земной коре. – М.: Наука, 1987. С. 151–158.
21. *Смирнов В.Н.* Развитие морфоструктуры Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий / Мат-лы XI сессии Северо-Восточного отделения ВМО. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. С. 39–41.
22. *Тюкова Е.Э., Ворошин С.В.* Состав и парагенезисы арсенопирита в месторождениях и вмещающих породах Верхне-Кольмского региона (к интерпретации генезиса сульфидных ассоциаций). – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2007.
23. *Seminsky K.Zh.* 2014. Specialized mapping of crustal fault zones. Part 1: Basic theoretical concepts and principles // Geodynamics & Tectonophysics 5 (2). 445–467. doi:10.5800/GT 2014520136.16.
24. *Darling R. S.* An extended equation to calculate NaCl contents from final clathrate melting temperatures in H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl fluid inclusions: Implications for *P-T* isochore location // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1991. Т. 55. № 12. С. 3869–3871.
25. *Bodnar R.J.* Reequilibration of fluid inclusions // Fluid inclusions: Analysis and interpretation. 2003. Vol. 32. Pp. 213–230.
26. *Bodnar R.J., Vityk M.O.* Interpretation of microthermometric data for H<sub>2</sub>O-NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and application. Ed. by: Benedetto De Vivo, Maria Luce Frezzotti. Pontignano-Siena. 1994. Pp. 117–130.