

Геолого-структурная и минералого-геохимическая модели золото-серебряного оруденения Валунистого рудного района (Чукотский АО)

Аннотация. Актуальность работы связана с необходимостью повышения эффективности проводимых на территории Валунистого рудного района (ВРР) геологоразведочных работ. ВРР включает множество золото-серебряных эпитеpмальных проявлений, а также три месторождения: среднее по запасам золота Валунистое, мелкие Горное и Жильное. Цели исследования – выявление геолого-структурных и минералого-геохимических особенностей месторождений ВРР, выделение минералого-геохимических типов оруденения, исследование стадийности и зональности минералообразования. Методика работы заключалась в исследовании вещественного состава отобранных в ходе полевых работ образцов жильных, метасоматических образований, вмещающих пород. Анализ сравнения геологического строения рудных зон, минерального состава руд, их геохимической специализации, а также особенностей золота и серебра позволили выделить два минералого-геохимических типа: золото-сульфосольный (месторождение Валунистое, сформированное в породах околожерловой группы фаций) и серебро-полисульфидный (месторождение Жильное, сформированное в породах склоновой группы фаций). На разработанной минералого-геохимической модели оруденения ВРР прослеживается общая тенденция увеличения следующих параметров от нижнерудного уровня к верхнему: золото-серебряное отношение, пробность золота, количество Au и Ag содержащих теллуридов и селенидов, концентрация Au, Se, As, Bi, Sb. В то же время происходит сокращение количества сульфидов и акантита, снижение концентрации Ag, Pb, Zn, Mo, Ni. Выделяются два этапа минералообразования: кварц-полевошпатовый и кальцит-флюоритовый. Руды месторождения Жильное сформированы на кварц-полевошпатовом этапе, а руды месторождения Валунистое – последовательно на двух этапах. Начало гидротермальных процессов обусловлено образованием жил и прожилков различного состава с широким распространением брекчий и сопровождающим их околожильным метасоматозом. Осаждение сульфидов происходило после неоднократного дробления жил различного состава. Осаждение минералов Au и Ag происходило на поздних стадиях рудного процесса, после образования жильных минералов и сульфидов, в общем случае независимо от наличия или отсутствия жил разного типа.

Ключевые слова: Чукотка, эпитеpмальные, месторождения, золото, серебро, руды, Валунистое, Жильное.

ГОЛДЫРЕВ ВИТАЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, главный специалист¹, консультант², vg121297@yandex.ru

ОСОВЕЦКИЙ БОРИС МИХАЙЛОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, руководитель сектора наноминералогии, заведующий Лабораторией минералого-петрографических исследований Естественнонаучного института³, opal@psu.ru

ГОРЯКОВ КИРИЛЛ ИГОРЕВИЧ, начальник управления¹, консультант², k.goryakov@uralmine.com

¹ Управление геологоразведочных работ и развития ресурсной базы, «Уральская горно-металлургическая компания» (ОАО «УГМК»), г. Верхняя Пышма

² Технический университет УГМК, г. Верхняя Пышма

³ Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), г. Пермь

Geological-structural and mineralogical-geochemical models of gold-silver mineralization in the Valunistyi ore district, Chukotka Autonomous Okrug

V. N. GOLDYREV^{1,2}, B. M. OSOVETSKY³, K. I. GORYAKOV^{1,2}

¹ Department of Geological Exploration and Resource Base Development, Ural Mining and Metallurgical Company (OAO "UGMK"), Verkhnyaya Pyshma

² UMMC Technical University, Verkhnyaya Pyshma

³ Perm State National Research University (PGNIU), Perm

Abstract. Relevance of this study is determined by the need to improve the efficiency of geological exploration in the Valunistyi ore district (VOD). The VOD comprises numerous epithermal gold-silver occurrences, as well as three ore deposits, the Valunistoe medium-sized gold deposit and the Gornoe and Zhilnoe smaller deposits. The objectives of this study were to identify the geological-structural and mineralogical-geochemical features of the VOD deposits, to identify mineralogical and geochemical types of the mineralization, and to investigate the stages and zonality of the mineral formation. Methodology of the study consisted in analyzing the material composition of vein, metasomatic, and host rock samples collected during the fieldwork. A comparative analysis of geological structure of the ore zones, of the ore mineral composition and geochemical specialization, and of the gold and silver characteristics have allowed us to distinguish two mineralogical and geochemical types of the mineralization: the gold-sulfosalt type (Valunistoe gold deposit formed in rocks of the near-vent facies group) and the silver-polysulfide type (Zhilnoe gold deposit formed in rocks of the slope facies group). The developed mineralogical and geochemical model of the VOD mineralization demonstrates a general trend for increasing the following parameters from the lower ore level to the upper one: gold-silver ratio, gold fineness, amount of Au- and Ag-bearing tellurides and selenides, and concentration of Au, Se, As, Bi, and Sb. At the same time, the amount of sulfides and acanthite and the concentration of Ag, Pb, Zn, Mo, and Ni decrease in the same direction. Two stages of the mineral formation are distinguished, the quartz-feldspar and calcite-fluorite ones. The ores of the Zhilnoe deposit formed during the quartz-feldspar stage, while those of the Valunistoe deposit formed in two successive stages. The beginning of the hydrothermal processes brought about formation of veins and stringers of various composition, with widespread breccias and accompanying near-vein metasomatism. Sulfide precipitation occurred after repeated fragmentation of the veins of various composition. The Au and Ag minerals precipitated at the late stages of the ore process, after formation of the gangue minerals and sulfides, generally regardless of the presence or absence of veins of the various types.

Key words: Chukotka, epithermal, ore deposits, gold, silver, ores, Valunistoe, Zhilnoe.

Введение. Актуальность работы обусловлена наметившимся в последние годы спадом золотодобычи в Чукотском автономном округе (ЧАО). Существует необходимость выработки комплекса мер для наращивания прогнозных ресурсов золота Чукотки и реализации её золоторудного потенциала [5, 7, 13, 24].

Вещественный состав руд месторождений Валунистого рудного района, особенности благородно-металльной минерализации и условия её образования были детально изучены в работах [2–4, 6, 11, 19, 20, 23, 25, 26, 30]. Несмотря на это, результаты данных исследований нуждаются в дополнительном

анализе, обобщении и систематизации. Кроме того, весьма актуальным и принципиальным представляется более подробное рассмотрение пространственно-временных условий образования рудной минерализации района, что в конечном счёте позволит рационализировать проводимые геолого-разведочные работы [14].

Цели исследования: выявление геолого-структурных и минералого-геохимических особенностей месторождений ВРР, выделение минералого-геохимических типов оруденения, исследование стадийности и зональности минералогического образования.

Объект исследования. ВРР находится на территории Анадырского района Чукотского автономного округа (ЧАО) в Арктической зоне России, в 237 км к северо-востоку от окружного центра – г. Анадырь (рис. 1).

Район как перспективный был выделен сравнительно недавно [37]. Материалы по геологии территории исследования приведены во многих опубликованных источниках [1, 29, 38 и др.] и в фондовых отчётах по геолого-съёмочным, поисково-оценочным, разведочным и тематическим работам.

В геолого-структурном плане ВРР находится в пределах Анадырской кольцевой мегаструктуры и относится к Амгуэмо-Канчаланскому вулканическому полю, которое расположено в Восточно-Чукотской фланговой зоне Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. ОЧВП наложен на вещественные комплексы Кони-Танюерской складчатой системы Корьякско-Камчатской складчатой области.

Из стратифицируемых образований района выделены следующие стратоны: в различной степени метаморфизованные вулканогенно-осадочные и осадочные породы условно девона (уэленейцевская толща) и карбона (озернинская и шумнинская толщи); вулканогенно-осадочные отложения верхней юры–нижнего мела (пекульнейцевская свита); раннемеловые вулканогенные отложения (волчегорская толща); позднемеловые вулканогенные отложения (амгеньская толща, экитыкинская, леурваамская и нунлигранская свиты); палеоцен-эоценовые вулканогенные отложения (танюерская свита); рыхлые отложения среднего и верхнего звена неоплейстоцена, голоцена. Магматические образования представлены тремя плутоническими (мургальский, экитыкинский, леурваамский) и пятью вулканическими (амгеньский, экитыкинский, леурваамский, нунлигранский и танюерский) комплексами.

Основной рудоконтролирующей структурой района является Канчаланская зона глубинных разломов. В её пределах локализованы основные гидротермальные и метасоматические образования (пропилиты, аргиллизиты, вторичные кварциты), приуроченные к локальным вулканотектоническим структурам.

В металлогеническом плане район относится к Анойско-Чукотской металлогенической провинции, к Канчалано-Амгуэмской металлогенической зоне [8]. В пределах ВРР расположено множество золото-серебряных эпитеpmальных проявлений

(Огненное, Шах, Осеннее, Кремовое, Раздольное, Кузьмич и др.), а также три месторождения: среднее по запасам золота Валунистое, мелкие Горное и Жильное.

Методика исследований. Полевые работы были выполнены В. Н. Голдыревым в 2018–2019 гг. в процессе проведения поисково-оценочных работ на Кремовой площади (АО «Северо-Восточное ПГО»), разведочных работ на месторождении Жильное (ООО «Канчалано-Амгуэмская площадь»), эксплуатационно-разведочных и добычных работ на месторождении Валунистое и Горное (ООО «Рудник Валунистый»). Лабораторные работы были проведены в Центре коллективного пользования с помощью уникальной научной аппаратуры ПГНИУ и включали следующие виды аналитических исследований: сканирующая электронная микроскопия, микронзондовый анализ.

Особенности месторождения Жильное. В большинстве фондовых и опубликованных материалов существуют представления о том, что геологическое строение и минеральный состав руд являются аналогичными для всех месторождений и проявлений ВРР. Однако месторождение Жильное имеет ряд отличительных особенностей, которые необходимо учитывать при разработке геолого-структурной и минералого-геохимической моделей золото-серебряного оруденения ВРР.

Геолого-структурные особенности месторождений. В пределах зоны «Главная» месторождения Валунистое рудовмещающими породами являются риодациты жерловой фации леурваамского комплекса (λK_2Ir). Рудные тела быстро выклиниваются с выходом рудовмещающих структур в пирокластические фации вулканитов экитыкинской свиты (K_2ek). В пределах зоны «Новая» рудовмещающими являются стратифицированные вулканогенные отложения экитыкинской свиты, которые прорываются силлоподобными телами риодацитов леурваамского комплекса.

К основным геологическим особенностям месторождения Валунистое [9] относятся: 1) наличие в рудных телах большого количества брекчий и мегабрекчий с кокардовыми текстурами обрастания обломков различного петрографического состава халцедон-адуляровым агрегатом, а также разнообразие брекчий, маркирующих рудные зоны; 2) локализация оруденения преимущественно контролируется субвулканическими телами риодацитов леурваамского комплекса; 3) значительная протяжённость рудоносных зон по простиранию.

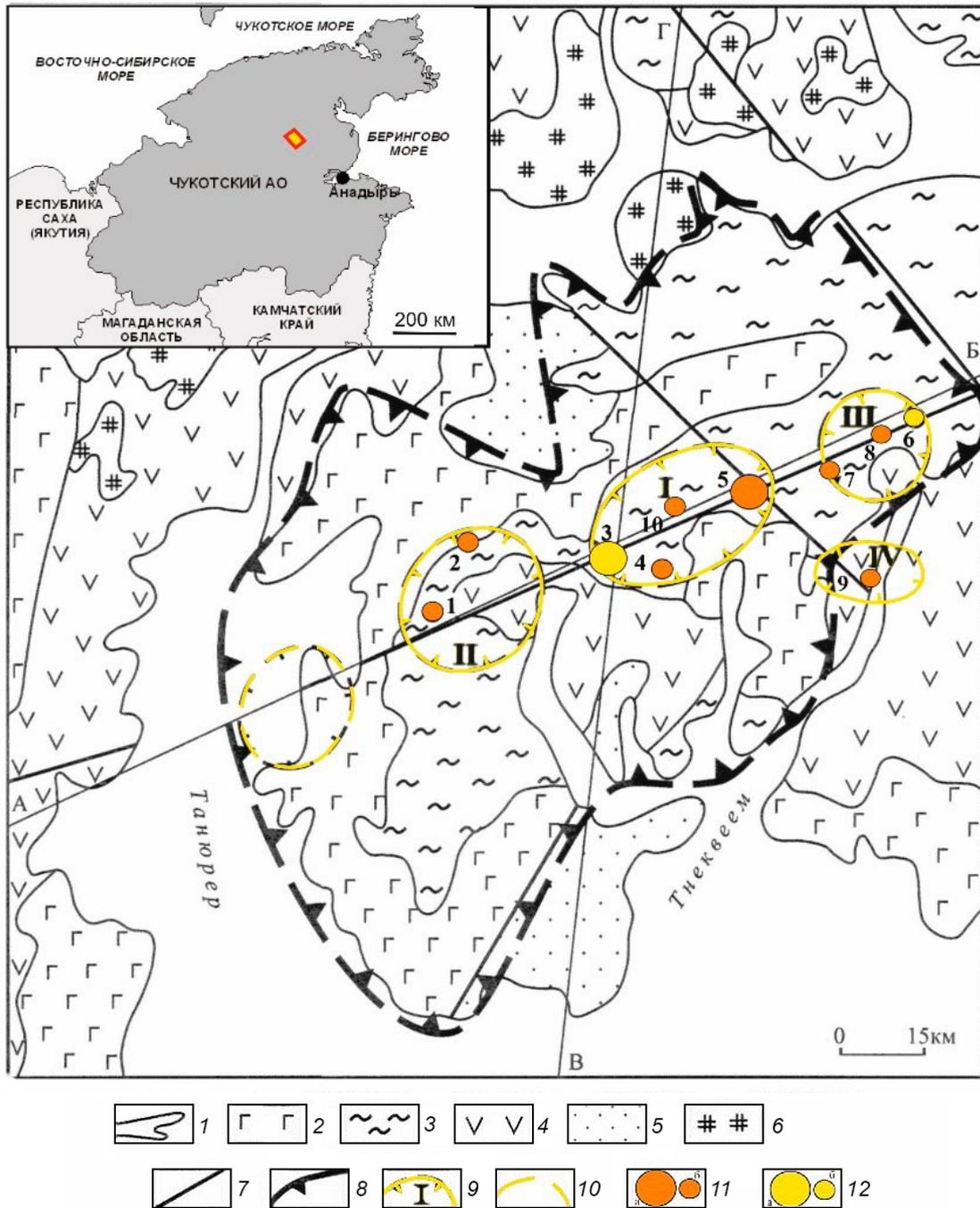


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Валунистого рудного района. По [37], с дополнениями авторов:

1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2 – верхнемеловые-палеогеновые (сеноман-датские) базальты, андезиты, риолиты (андезибазальтовая, риолитовая формация); 3 – верхнемеловые риолиты, риодациты, их туфы и игнимбристы (риолитовая, риодацитовая формация); 4 – верхнеюрские-нижнемеловые, ниже-верхнемеловые андезиты, дациты, риолиты и их туфы (андезитовая, риодацитовая формация); 5 – терригенные нижнекарбоновые отложения (карбонатно-терригенная формация); 6 – ранне- и позднемеловые гранитоиды (гранодиорит-гранитная формация); 7 – разломы; границы: 8 – рудного района, 9 – рудных узлов: I – Валунистый, II – Ныгчекваамский, III – Теркнейский, IV – Центральный; 10 – прогнозируемый рудный узел; 11 – серебряно-золотые месторождения (а) и рудопроявления (б): 1 – Осеннее, 2 – Ныгчекваам, 4 – Шах, 5 – Валунистое, Горное, 7 – Лунное, 8 – Кремовое, 9 – Центральное, 10 – Оранжевое; 12 – серебряные (с золотом) месторождения (а) и рудопроявления (б): 3 – Жильное, 6 – Теркней

Эти особенности, по-видимому, обусловлены формированием оруденения в околожерловых фациях палеовулканической постройки [18]. Аналогичные геолого-структурные особенности характерны для крупных месторождений Купол и Двойное Центрально-Чукотского сектора ОЧВП [10, 12, 34].

Для месторождения Жильное, в отличие от месторождения Валунистое, характерны чёткое стратифицированное строение пород, отсутствие субвулканических тел риолитов верхнемелового леурваамского комплекса (полевые наблюдения и буровые работы не подтвердили их наличие), присутствие порфириовидных диоритов, в том числе и в качестве рудовмещающих, широкое развитие пострудных даек андезитов, подчинённая роль колломорфно-зональных, ритмично полосчатых, крипто- и мелкозернистых, каркасно-петельчатых текстур, редкое присутствие тел брекчий неболь-

шой мощности. Данные особенности позволяют относить его к склоновой группе фаций.

Таким образом, в пределах палеовулканического сооружения Валунистого рудного узла (рис. 2), сформировавшегося на протяжении нескольких этапов, золото-серебряное оруденение связано с околожерловой (месторождение Валунистое) и склоновой (месторождение Жильное) группами фаций. Аналогичное разделение Au-Ag оруденения по группам фаций выделено [34] в пределах Кайемравеемского рудного узла (Центральная Чукотка). Околожерловая группа фаций включает жерловую, экструзивную, эффузивную и постмагматическую (интрузивные и субвулканические тела) фации, склоновая группа фаций – эффузивную, пирокластическую и лахаровую фации. Удалённая включает пирокластическую, тефроидную фацию.

Минералого-геохимические особенности месторождений. Вмещающие породы месторожде-

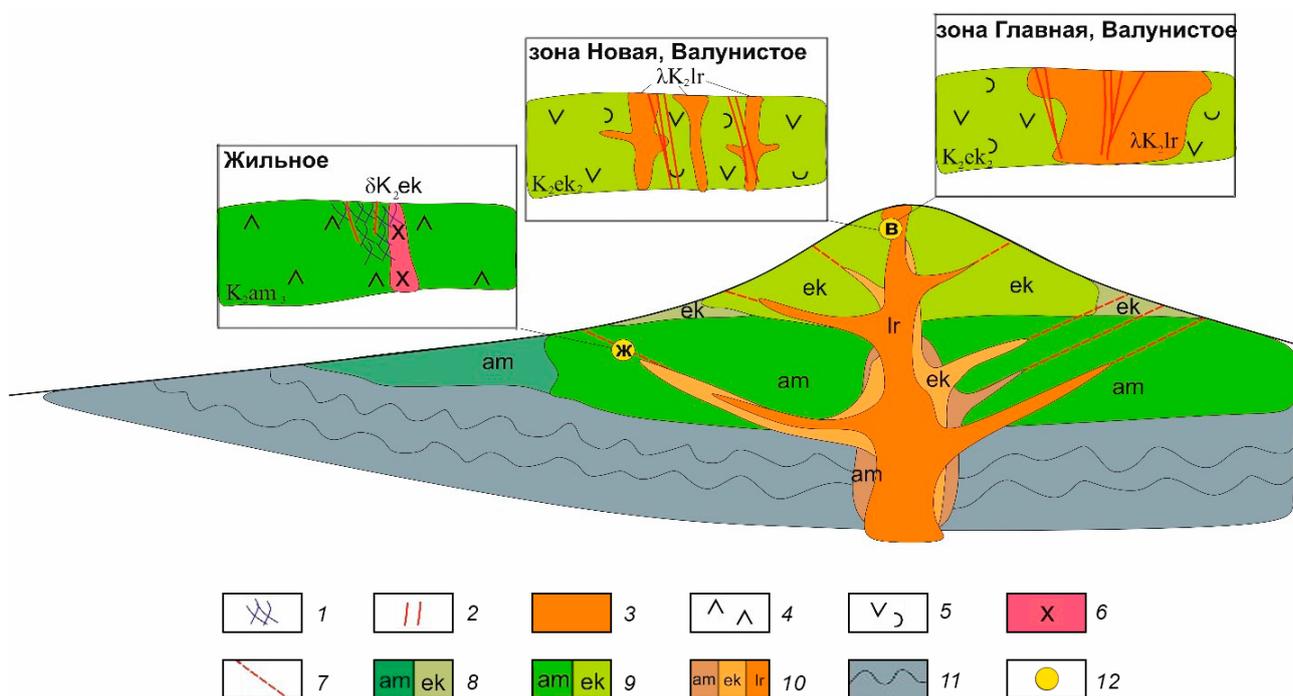


Рис. 2. Схематическая палеовулканическая реконструкция вулканического сооружения Валунистого рудного узла:

1 – полисульфидные жилы и прожилки; 2 – Au-Ag жилы; 3 – риолиты; 4 – дациты; 5 – туфы среднего состава; 6 – диоритовые порфиры; 7 – тектонические нарушения; 8–10 – породы группы фаций: 8 – удалённой, 9 – склоновой, 10 – околожерловой; 11 – складчатое основание; 12 – золото-серебряные месторождения: Жильное (Ж), Валунистое (В); вулканические комплексы: амгеньский (am), экитыкинский (ek), леурваамский (lr)

ния Жильное неравномерно гидротермально-метасоматически изменены и превращены в пропилиты эпидот-хлоритовой фации (рис. 3) и разнопроявленные вторичные кварциты. На отдельных участках породы подвержены аргиллизации. Подавляющий объём выявленных проявлений рудной минерализации в центральной части месторождения маркируются полем сплошного развития аргиллизитов. Наиболее широко на месторождениях проявлены процессы окварцевания, карбонатизации и сульфидизации.

Особенностями гидротермально-изменённых пород месторождения Жильное относительно других объектов ВРР являются очень «пёстрый» состав минеральных фаций, что обусловлено различным составом и физико-механическими свойствами эффузивов; преимущественное развитие пропилитов при слабой распространённости аргиллизитов, что может свидетельствовать о сравнительно глубоком уровне эрозионного среза.

Оруденение месторождения Жильное локализуется в минерализованных участках среди кварцевых жильно-прожилковых зон. Зоны прожилкового окварцевания являются главными составляющими выделяемых на месторождении рудных тел. Кварцевые жилы как обособленный морфоло-

гический тип рудных тел в пределах месторождения не имеют самостоятельного промышленного значения, хотя являются доминирующими на других месторождениях ВРР. Фактически данные минерализованные участки представляют собой в разной степени оруденелые вмещающие породы, лишены определённых геологических границ, а их промышленные контуры устанавливаются только по результатам сплошного опробования.

По результатам разведочных работ 2019 г. в центре месторождения была выявлена зона гидротермальных брекчий с сульфидно-кварцевым цементом (рис. 4, Б, Г). Чёрный цемент этих брекчий представляет собой гидротермальные образования, аналогичные таковым в прожилках (см. рис. 4, А). Чёрные кварц-сульфидные прожилки пересекают более ранние безрудные кварц-адуляровые прожилки предыдущей стадии минералообразования, а также внедряются в них (см. рис. 4, В, Д).

По данным бороздового и кернового опробования, содержания благородных металлов в отдельных пробах составляют 10–20 г/т Au и 100–3500 г/т Ag. Мощность зон брекчий достигает 25 м. В них, начиная от дневной поверхности, увеличиваются содержания благородных метал-



Рис. 3. Кварц-адуляровое прожилкование по хлоритизированным дацитам, месторождение Жильное.

Фото В. Н. Голдырева

лов до максимальных значений в интервале 25–75 м, которые затем снижаются до практически полного отсутствия на глубине 130 м. Далее их уровень остаётся неизменным и сопровождается высокими значениями серебряно-золотого отношения (СЗО). Максимальные содержания ($Au_{\text{усл.}}$ 40–90 г/т) отмечаются в центральной части трубок брекчий [16].

Установлено, что зоны развития брекчий связаны с участками высокой трещиноватости пород. Часто их сопровождают жильно-прожилковые зоны, участки интенсивных метасоматических изменений (окварцевание, полнопроявленные аргиллизиты). Золотоносность брекчий непостоянная, однако при появлении брекчий происходит резкое повышение содержания благородных металлов в сопровождающих зонах интенсивных метасоматических изменений и жильно-прожилковой минерализации. При этом возможно оконтуривание отдельных рудных тел. В этих же зонах, но вдали (на расстоянии 30 м и более) от брекчий, золото и серебро практически отсутствуют.

Предшественники относили данные брекчий к взрывным образованиям и считали, что они являются рудовмещающими. Подобные брекчий встречаются на многих вулканогенных объектах [32, 33, 36], в том числе и на соседнем месторождении Валунистое [9]. Однако, в отличие от Жильного, их состав более изменчив (как пиритовый, так и гематитовый).

Эти факты позволяют сделать вывод о том, что оруденение связано с наложенными зонами интенсивных метасоматических изменений и жильно-прожилковыми зонами, а брекчий с учётом их пространственной связи с благороднометалльной минерализацией являются зонами повышенной концентрации благородных металлов.

Жильная минерализация на месторождении Жильное отличается от таковой на месторождении Валунистое широким развитием адуляра (21 и 6 % соответственно), плагиоклаза (10 %) и хлорита (2 и 0,2 % соответственно). На месторождении Валунистое в жильных образованиях плагиоклаз отсутствует, зато достаточно часто при-

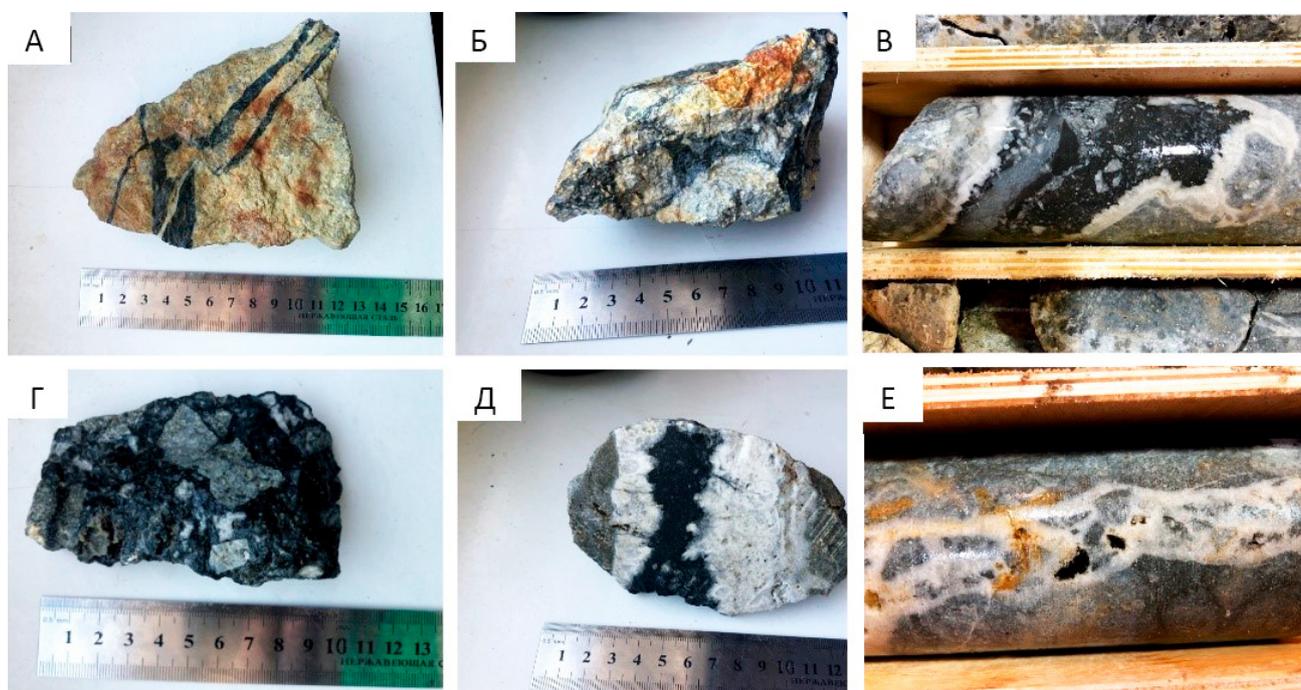


Рис. 4. Гидротермальные образования месторождения Жильное:

А – кварц-сульфидные прожилки; Б, Г – кварц-сульфидный цемент гидротермальных брекчий; В, Д – кварц-сульфидные полосы и просечки в кварц-адуляровой жиле; Е – серебряная минерализация в кварцевом прожилке

сутствуют флюорит и кальцит. На Жильном месторождении кальцит развит в значительно меньшей степени, тогда как флюорит вообще отсутствует.

Рудная минерализация отличается большей распространённостью сульфидно-полиметаллической ассоциации в рудах (см. рис. 3). Так, содержание сульфидов (преимущественно пирита) в рудах Жильного – 3,1, а в рудах Валунистого – 0,4 %. Пирит является самым распространённым (более 95 %) рудным минералом. Его химический состав [15] весьма близок к стехиометрическому, в качестве микропримесей почти постоянно присутствуют Cu, Zn, Co, реже встречаются Se, As, Pb, Cd, Bi. Такой состав элементов-примесей может указывать на нижнерудный уровень минерализации [21].

Благороднометалльная минерализация. Для руд месторождения Жильное характерно однообразие минеральных форм серебра при преобладающей роли акантита и меньшем развитии самородного серебра и полибазита.

Акантит распространён повсеместно и в самых разнообразных формах, широкой гаммы размерности, в разных минералах и участках породы. Особенно крупными (до 100 мкм и более) являются зональные включения в кварце. Относительно крупные (более 10 мкм) зёрна акантита отличаются сложной формой и встречаются в пустотах центральных частей зёрен пирита. Нередко акан-

тит замещает пирит и халькопирит. По составу акантит (Ag 77–89 %, наличие примесей As, Cu, Hg) (табл. 1) наиболее схож с акантитом, встречаемым на месторождениях Дукат, Извилистое, Аган, Утесное, Юное [31].

Самородное серебро отмечается в значительно меньшем количестве, чем акантит. По цвету самородное серебро характеризуется как стально-серое, серебристо-серое. Некоторые зёрна имеют блестящую поверхность, отмечаются чёрные зёрна за счёт окисления поверхности металла. Характерны включения других минералов на поверхности (сульфиды и самородное золото). Самородное серебро имеет нестандартный состав с наличием большого количества примесей Fe и Au (табл. 2), что указывает на ранние парагенезисы минерала [31], а присутствие Hg в его составе является не типичным для Au-Ag минерализации месторождений ОЧВП [22].

Самородное золото тонкое, компактное, с неровными контурами, размером до первых миллиметров. По цвету серебристо-серое, на поверхности имеются включения гидроксидов железа. Как правило, весьма низкопробное и низкопробное (480–650 ‰), характерным в составе золотин является наличие значительного количества серебра (41,76–48,42 мас.%) [15]. Также отмечаются примеси Cd, Fe, As, Hg. Кроме того, в пирите «распылены» субмикроскопические частицы, в

Табл. 1. Химический состав включений акантита, мас.%

| Элемент | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Fe | 0,60 | 1,14 | – | 1,05 | 6,69 | 4,40 | 1,81 | 1,03 | 1,14 | 4,32 |
| S | 9,52 | 9,74 | 11,30 | 10,98 | 15,54 | 13,41 | 12,69 | 14,01 | 9,74 | 14,32 |
| As | 0,63 | – | – | – | – | – | – | – | – | 0,29 |
| Ni | – | – | 0,08 | – | – | 0,09 | – | – | – | – |
| Zn | – | 0,13 | 0,53 | 0,14 | – | 0,55 | – | – | 0,13 | – |
| Cu | 0,27 | – | – | – | – | – | 0,17 | 1,87 | – | – |
| Hg | – | 0,28 | – | – | – | 0,24 | – | – | 0,28 | – |
| Bi | – | – | – | – | – | 0,54 | – | – | – | – |
| Pb | – | – | – | 0,64 | – | 0,48 | – | – | – | – |
| Au | 0,45 | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Ag | 88,53 | 88,70 | 88,09 | 87,19 | 77,77 | 76,68 | 84,94 | 83,09 | 88,70 | 81,06 |
| Cd | – | – | – | – | – | 3,61 | – | – | – | – |
| Se | – | – | – | – | – | – | 0,39 | – | – | – |
| Сумма | 100,00 | 99,99 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 99,99 | 99,99 |

Табл. 2. Химический состав минералов ряда Au-Ag, мас.%

| Элемент | Самородное золото (электрум) | | | | | | Самородное серебро | |
|---------|------------------------------|-------|--------|-------|--------|--------|--------------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Fe | 0,76 | 1,44 | 0,44 | 0,75 | – | 0,76 | 1,23 | 8,00 |
| Co | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Ni | – | – | – | – | – | 0,05 | – | – |
| Cu | 1,21 | 1,30 | 0,48 | 0,46 | 1,17 | 0,38 | 0,44 | 0,86 |
| Zn | 0,57 | 0,20 | 0,22 | 0,28 | 0,89 | – | – | 0,69 |
| As | 0,35 | 0,19 | 0,35 | – | – | 0,23 | – | 0,28 |
| Se | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Ag | 42,40 | 41,76 | 46,62 | 48,42 | 23,16 | 46,90 | 28,30 | 76,32 |
| Cd | 2,81 | 2,67 | 2,86 | 3,91 | 1,65 | 2,76 | 2,25 | 5,44 |
| Sn | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Sb | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Au | 51,42 | 52,04 | 48,54 | 42,94 | 72,70 | 48,39 | 67,00 | 4,74 |
| Hg | – | 0,37 | 0,49 | – | 0,44 | 0,53 | 0,38 | 0,20 |
| Pb | 0,49 | – | – | 3,22 | – | – | 0,10 | 3,16 |
| Bi | – | – | – | – | – | – | – | 0,31 |
| Сумма | 100,01 | 99,97 | 100,00 | 99,98 | 100,01 | 100,00 | 99,70 | 100,00 |

составе которых присутствуют Au и Ag [16]. Соотношение Au/Ag в этих частицах составляет 1 : 1,4 и позволяет диагностировать их как электрум.

Для руд месторождения Валунистое отмечаются два максимума пробности самородного золота (560–600 и 820–850 ‰), большое разнообразие Ag-содержащих минералов, значительные количества халькогенидов, амальгам Au и Ag и минералов пирсеит-полибазитового ряда. Это объясняется привнесением элементов Hg, Sb, Se, Te. Кроме того, на Валунистом и Горном зафиксированы [19, 20] две генерации акантита: первая генерация образует сростания с электрумом, галенитом, халькопиритом, а также включения в пирите, содержит примеси Se от 1,6 до 8,4 мас.%, тогда как вторая генерация обнаружена в виде кайм и прожилков в рудных минералах и содержит Se до 3,3 мас.%. В то же время на Жильном обнаружена одна генерация акантита, содержание Se в котором не превышает 1 %.

Характерной особенностью месторождения Жильное является резкое преобладание серебра над золотом: Ag/Au руд месторождения Жильное составляет более 50, руд месторождения Валунистое – от 5 до 50. Это отношение представляется индикаторным во многих аспектах, в частности является важным минералого-геохимиче-

ским индикатором, указывающим на определённую специфику рудной минерализации. Так, в результате проведённых исследований [15–17] установлено, что в рудных и аномальных пробах месторождения Жильное с большой величиной Ag/Au (свыше 50–70) основным рудным минералом является акантит при явно подчинённом количестве электрума. На месторождении Валунистое, в аналогичных пробах с небольшими величинами Ag/Au (от 0,6 до 15) основная рудная минерализация представлена электрумом при незначительном распространении акантита.

Минералого-геохимические типы оруденения. Результаты сопоставления (табл. 3) характеристик рудных зон, минерального состава руд, их геохимической специализации, особенностей благороднометалльной минерализации месторождений Валунистое и Жильное позволяют сделать вывод, что золото-серебряное оруденение ВРР относится к двум минералого-геохимическим типам: золото-сульфосольному и сереброполисульфидному.

1. К золото-сульфосольному типу относятся убогосульфидные (0,4 %) руды месторождения Валунистое, представленные карбонат-кварцевыми жилами и кварц-гидрослюдистыми метасоматитами в риодацитах. Для руд характерны

Табл. 3. Сравнительная характеристика золото-серебряного оруденения Валунистого рудного района

| Основные характеристики | Золото-серебряная формация | |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Золото-сульфосольный тип (месторождение Валунистое) | Серебро-полисульфидный тип (месторождение Жильное) |
| Характеристика рудных зон | | |
| Морфология | Кварцевые жилы и кварц-гидрослюдистые метасоматиты в риодацитах | Минерализованные зоны среди кварцевых жильно-прожилковых зон в пропильтизированных дацитах |
| Текстуры | Ритмично-зональные, крустификационные, колломорфно-полосчатые, брекчиевые | Вкрапленная, прожилковая, массивная, пятнистая |
| Минеральный состав руд | | |
| Породообразующие минералы** | Кварц (87 %), адуляр (6 %), глинисто-гидрослюдистые минералы (5 %), кальцит (0,2 %), хлорит (0,2 %). Руды убогосульфидные (0,4 %) | Кварц (60 %), адуляр (17 %), плагиоклазы (10 %), глинисто-гидрослюдистые минералы (5 %), хлорит (4 %). Руды малосульфидные (3,1 %) |
| Минералы Au и Ag | Главные – акантит; второстепенные – Au сам., Ag сам. *, полибазит*, минералы системы Ag–Se–S*; редкие – пирсеит*, фрейбергит*, минералы систем Ag–Te–Se–S*, Ag–Se–S*, Ag–Te–S*, Ag–Bi–Te–S*, Ag–Pb–Te–S*, гессит*, матильдит*, штрмейерит* | Главные – акантит; второстепенные – электрум, Ag сам., полибазит*; редкие – медистый акантит |
| Характеристики золота и серебра | | |
| Среднее содержание золота и серебра | Au – 5,3 г/т; | Au – 1,9 г/т; |
| | Ag – 49,8 г/т | Ag – 355,8 г/т |
| Серебряно-золотое отношение | 9,4 | 192,3 |
| Пробность золота*** | Весьма низкопробное (560–600 ‰) | Весьма низкопробное и низкопробное (480–650 ‰) |
| | Средней пробности (820–850 ‰) | |
| Геохимическая специализация**** | | |
| Главные элементы | Au, Ag | Ag, Hg, Pb |
| Элементы-спутники | Sb, As, Cu, Hg | Au, Ni, Mo, Zn |

Примечание. * – минералы, отмеченные предшественниками [2, 3, 6, 9, 11, 20, 25] (Шабалин, 1994ф); ** – данные ООО «НИПИ «ТОМС»; *** – используется классификация [Петровская, 1973]; **** – по данным (Матвеев, 1981ф; Шабалин, 1994ф; Воронец, 1995ф).

ритмично-зональные, крустификационные, коллоидно-полосчатые, брекчиевые текстуры, серебряно-золотое отношение 9,4, относительно высокое содержание Au (5,3 г/т) при среднем содержании Ag (49,8 г/т), большое разнообразие Ag-содержащих минералов, значительные количества халькогенидов Au и Ag и минералов пирсеит-полибазитового ряда.

2. К серебро-полисульфидному типу относятся малосульфидные (3,1 %) руды месторождения Жильное, представленные минерализованными зонами среди кварцевых жильно-прожилковых зон в пропильтизированных дацитах. Для руд характерны вкрапленная, прожилковая, массивная, пятнистая текстуры, проявление полиметаллической сульфидной минерализации, однообразие минеральных форм серебра при преобладающей роли сульфидов серебра (акантита), доминирование

серебра над золотом (серебряно-золотое отношение 192,3), относительно высокое содержание Ag (355,8 г/т) при низком содержании Au (1,9 г/т).

Гидротермальные образования объектов серебро-полисульфидного типа отличаются более высокой температурой формирования [34], что находит подтверждение и для объектов ВРР (рис. 5). Полная гомогенизация флюидных включений в кварце на месторождении Жильное происходит при температурах 273–350 °С [19], на Валунистом – 203–284 °С [9].

Вертикальная зональность Au-Ag оруденения установлена в работах [27, 35, 39–42, 44]. Опираясь на результаты данных работ и исследований вещественного состава руд ВРР [2–4, 6, 9, 11, 19–21, 25, 26, 31], была построена минералогическая геохимическая модель оруденения ВРР (рис. 6), на которой прослеживается общая тенденция уве-

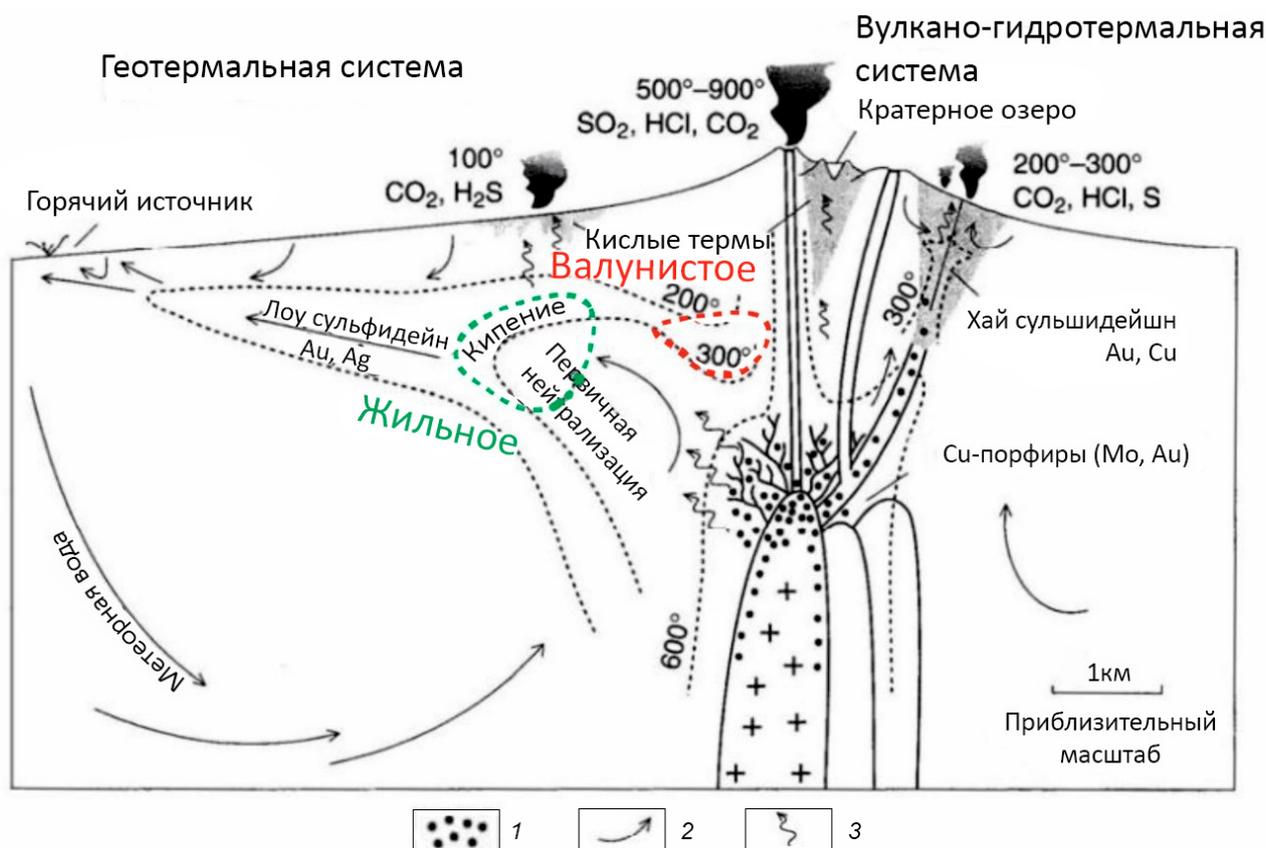


Рис. 5. Место месторождений Жильное и Валунистое на модели (Hedenquist, Lowenstern, 1994) вулканогидротермальной системы:

1 – минерализованный магматический флюид; 2 – поток жидких гидротерм; 3 – восходящий поток летучих компонентов

личения следующих параметров от нижнерудного уровня к верхнему: золото-серебряное отношение (ЗСО), пробность золота, Au- и Ag-содержащие теллуриды и селениды, концентрация Au, Se, As, Bi, Sb. В то же время происходит сокращение количества сульфидов и акантита, снижение концентрации Ag, Pb, Zn, Mo, Ni.

Нижнерудный уровень характеризуется кварц-полевошпатовыми прожилками, редко жилами с хлоритом, которые сопровождаются метасоматически изменёнными (окварцевание, пропицитизация) участками пород. На отдельных участках развита обильная сульфидно-полиметаллическая ассоциация минералов. Благороднометаллическая минерализация представлена акантитом, самородным серебром и низкопробным золотом (электрум) и кюстелит).

Рудный уровень характеризуется кварц-адуляровыми жилами, содержащими преимущественно акантит и низкопробное золото (электрум). Количество акантита и сульфидов меньше, а ЗСО выше, чем на предыдущей стадии.

Верхнерудный уровень характеризуется кальцит-кварцевыми (иногда с флюоритом) жилами. Минерализация данных образований представлена теллуридами, селенидами, сульфидами и сульфосолями Au и Ag. Количество акантита становится минимальным. Из твёрдых растворов Au-Ag широко развито высокопробное золото, иногда не содержащее Ag.

Стадийность минералообразования в пределах ВРР рассматривалась в работах [9, 11, 19, 20] и производственных отчётах. Анализ результатов исследований, а также полевые наблюдения и ком-

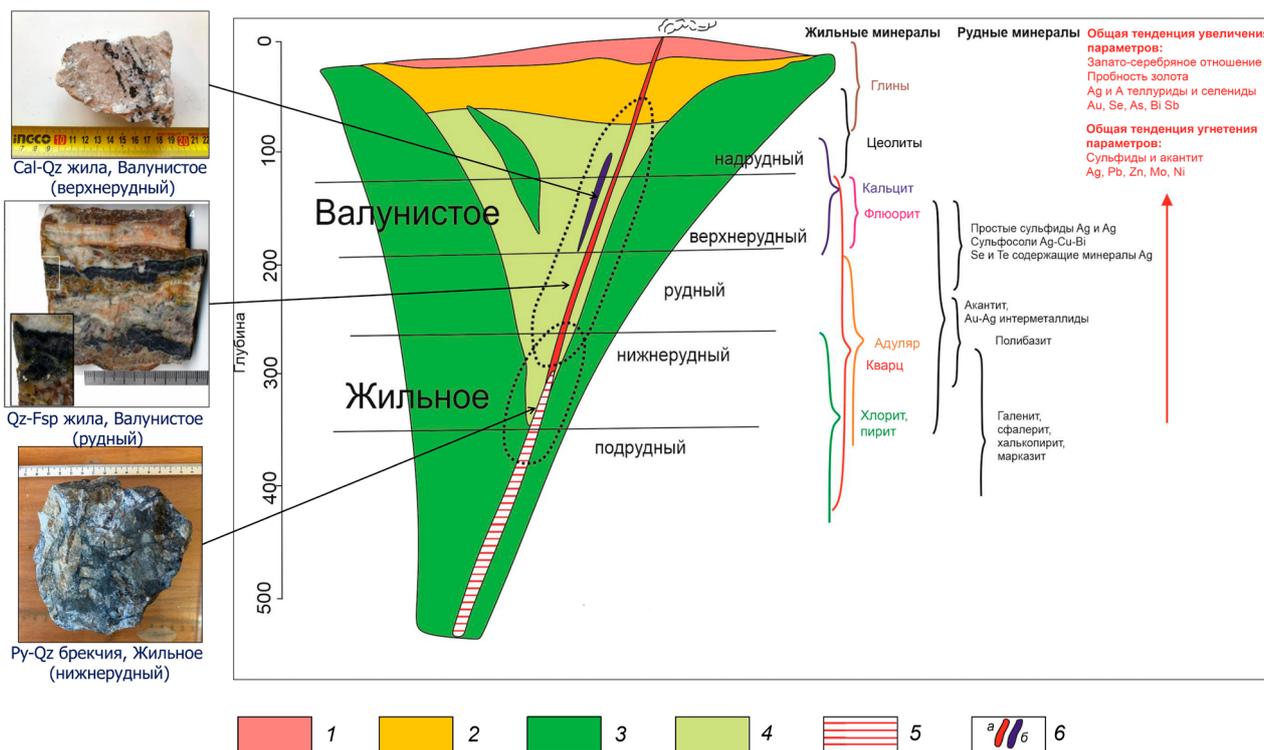


Рис. 6. Минералого-геохимическая модель золото-серебряного оруденения Валунистого рудного района:

1 – кварцевые отложения, киноварь, редко пирит; 2 – аргиллизитовая шляпа: алунит, каолинит, пирит; 3 – пропицитизация: хлорит, иллит, карбонат, пирит, монтмориллонит, эпидот увеличивается с глубиной; 4 – иллит, мусковит-серпичит, адуляр; 5 – окварцевание, обычно с адуляром, незначительная альбитизация; 6 – жильные образования: а – кварцевые, б – карбонат-флюорит-кварцевые

плексный подход к изучению минерального состава пород и руд и их взаимоотношений друг с другом [14–17] позволили модернизировать схему последовательности отложения минералов (рис. 7).

Начало гидротермальных процессов обусловлено образованием жил и прожилков различного состава с широким распространением брекчий и сопровождающим их околожилным метасоматозом (пропилитизация, окварцевание, серицитизация, аргиллизация).

Процесс образования жил включает два условно выделяемых этапа: кварц-полевошпатовый и кальцит-флюоритовый.

Кварц-полевошпатовый этап представлен гидротермальными образованиями двух типов: кварц-полевошпатовые жилы и прожилки с хлоритом, «чёрные» пирит-кварцевые прожилки с полевым шпатом и хлоритом, иногда с гематитом (см. рис. 3), характерные для глубоких горизонтов рудных тел, например для месторождения Жильное. В образованиях данного этапа с уменьшением глубины происходит увеличение содержания кварца и уменьшение содержания хлорита. Полевой шпат, как правило, представлен адуляром, на глубоких горизонтах сменяется альбитом.

Кальцит-флюоритовый этап характеризуется образованием кальцитовых жил и прожилков часто с флюоритом, иногда с гипсом, цеолитами. Появление данных образований связывают [9] с очередным тектоническим импульсом. Они типичны для верхней части жильного тела и имеют широкое развитие на месторождениях Валунистое и Горное, рудопроявлении Кремовое.

Осаждение сульфидов происходило после неоднократного дробления жил различного состава. Сульфидная минерализация преимущественно представлена тонкопрожилковыми выделениями. Отложение осуществлялось в следующей последовательности: пирит → марказит → сфалерит → халькопирит → галенит (рис. 8, А–Г).

Осаждение минералов Au и Ag происходило на поздних стадиях рудного процесса, после образования жильных минералов и сульфидов, в общем случае независимо от наличия или отсутствия жил разного типа. Жилы, очевидно, являются предпочтительными структурно-литологическими ловушками-осадителями для сульфидов и минералов Au и Ag и можно говорить лишь о парагенетической связи жил и рудной минерализации с общим гидротермально-магматическим очагом.

Генетическая независимость рудной минерализации от жил подтверждается наличием многочисленных пустых кварцевых жил, особенно на их окончаниях и на флангах месторождения, а также столбовым, ленточным и бонанцевым распределением золота в жилах, в более поздних деформационных структурах – полостях отслоения жил в зальбандах, в флексурных перегибах жил, в осложняющих жилы трещинах.

Акантит является самым ранним минералом благородных металлов. Он часто заполняет трещины и пустоты в кристаллах сульфидов, образует их в виде каёмки, деформирует, а также замещает эти минералы (см. рис. 8, Г–З). Минералы ряда Au-Ag (см. рис. 8, И, К) отлагаются позже, чем акантит. Электрум образуется в виде самостоятельных выделений, а также каёмки замещения по раннему акантиту и изометричных включений в сульфидах [17].

Халькогениды Au и Ag и сульфосоли Ag, по представлениям [44], преимущественно распространены на верхнерудном уровне оруденения и образуются после вышеописанных минералов. Это связано с тем, что их формирование происходит на самых поздних стадиях рудообразующего процесса из слабокислых растворов на фоне снижения температуры от 350 до 100 °С, уменьшения фугитивностей серы, теллура и селена, а также изменения окислительно-восстановительной обстановки минералообразования [20, 26, 33].

Продуктивность кальцитового этапа. В более ранних исследованиях [9, 11] высказано предположение, что флюорит-кальцитовые жилы являются пострудными и рудная минерализация в них скорее переотложенная нежели привнесённая. Однако в данных гидротермальных образованиях сульфиды и минералы благородных металлов отлагались позднее жильных минералов (см. рис. 8, Л, М). Следовательно, скорее всего, более поздние минералы Au и Ag (высокопробное золото, Se-акантит, халькогениды Au и Ag) имеют пространственную связь с флюорит-кальцитовыми жилами. Данное наблюдение подтверждает тот факт, что, несмотря на разубоживание жил кальцитом и флюоритом, именно в кварц-флюоритовых и кварц-кальцитовых жилах содержание Au и Ag значительно выше, чем в кварц-адуляровых. Наиболее ярко этот факт демонстрирует следующая вертикальная зональность оруденения проявления Кремовое:

1. Флюорит-кварцевые жилы и прожилки (содержание Au – до 6,0–81,9 г/т, Ag – до 150,0–5002,6 г/т).

| Этап Стадия Мин. ассоциация Минерал | Гидротермальный | | | Гипергенный |
|----------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| | Кварц-полевошпатовая | | Кальцит-флюоритовый | |
| | Доруд- ная | Ag-акантит- сульфидно- полиметаллич- еская | Au-Ag акантит- сульфосольная | Au-Ag акантит- селенидно- сульфосольная |
| Кварц | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Хлорит | ██████████ | ██████████ | ----- | ----- |
| Полевой шпат | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Флюорит | ██████████ | ██████████ | ----- | ██████████ |
| Кальцит | ----- | ----- | ----- | ██████████ |
| Глинисто-гидрослюдистые минералы | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Гематит | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Магнетит | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Пирит | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Марказит | ██████████ | ----- | ----- | ----- |
| Арсенопирит | ██████████ | ----- | ----- | ----- |
| Сфалерит | ██████████ | ██████████ | ----- | ----- |
| Халькопирит | ██████████ | ██████████ | ----- | ----- |
| Галенит | ██████████ | ██████████ | ----- | ----- |
| Акантит | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ----- |
| Сульфосоли Ag* | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Se и Te минералы Ag* | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Сульфиды Au-Ag* | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Тв. растворы Au-Ag | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ----- |

Примечание. Толщина линий указывает на относительную степень распространения минерала, штриховая линия – минерал встречается спорадически; * – минералы, отмеченные предшествующими исследованиями [2, 3, 6, 9, 11, 20, 25] (Шабалин, 1994ф; Новоселов, 2018)

Рис. 7. Схема последовательности минералообразования Валунистого рудного района

2. Адуляр-кварцевые жилы и прожилки (содержание Au – до 1,8–10,2 г/т, Ag – до 50,0–873,0 г/т).

3. Жилы разноразмерного кавернозного кварца с убогой сульфидной минерализацией (содержание Au – до 1,2 г/т, Ag – до 106,5 г/т).

Заключение. В пределах палеовулканического сооружения Валунистого рудного узла, имеющего несколько этапов развития, золото-серебряное оруденение связано с околожерловой и склоновой группами фаций и относится к двум минералогеохимическим типам: золото-сульфосольному (месторождение Валунистое) и серебро-полисульфидному (месторождение Жильное).

Выделяются два этапа минералообразования: кварц-полевошпатовый и кальцит-флюоритовый.

Руды месторождения Жильное сформированы на кварц-полевошпатовом этапе, а руды месторождения Валунистое – последовательно на двух этапах.

С прогнозно-поисковых позиций полевошпатохлорит-кварцевые жилы распространены на более глубоких горизонтах рудных тел, а карбонат-кварцевые жилы с гипсом, цеолитами и флюоритом типичны для верхней части жильного тела и являются показателем уровня эрозионного среза. Золото-серебряное оруденение с кондиционными параметрами, как правило, концентрируется именно в жилах среди вторичных кварцитов и аргиллизитов и в меньшей мере отмечается в околожильных метасоматитах. Рудоносные метасоматиты чаще встречаются на более глубоких горизонтах отра-

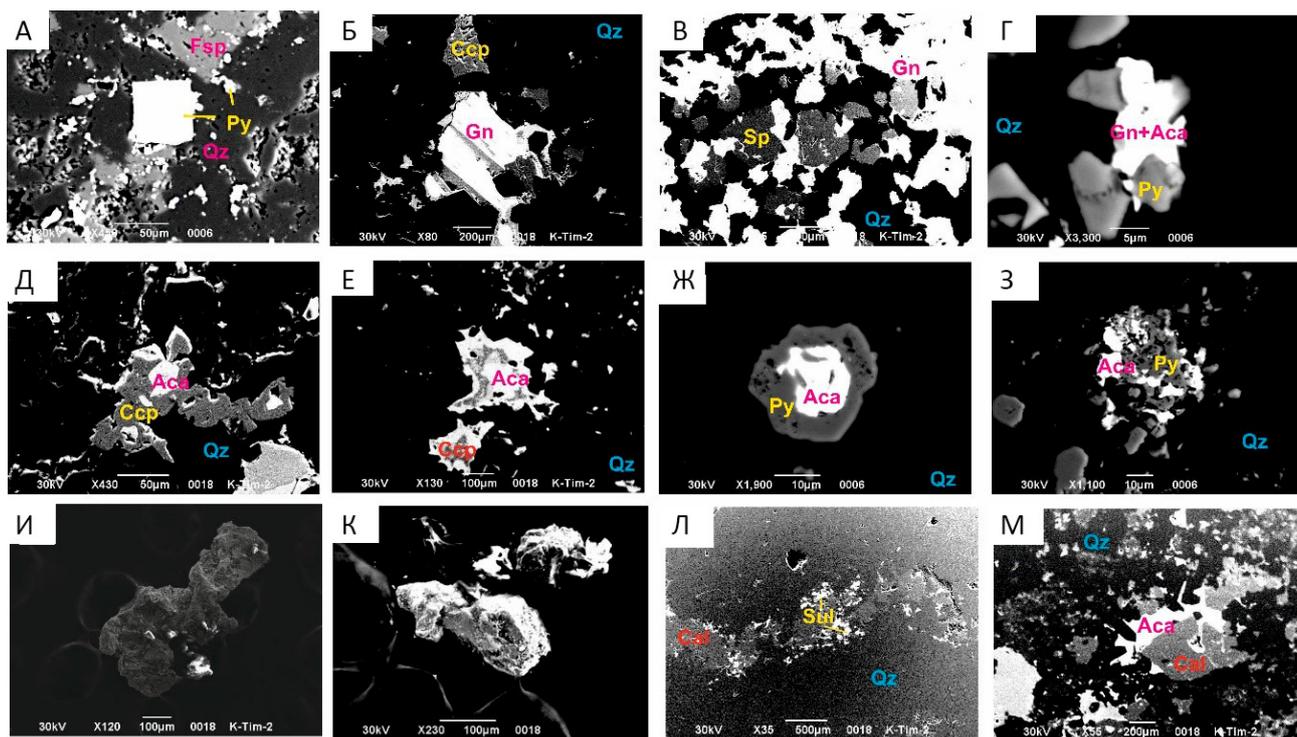


Рис. 8. Выделения минералов Валунистого рудного района:

А – кубический кристалл пирита и сплошная зона пиритизации на контакте кварца и адуляра (Жильное), Б – сросток халькопирита и галенита (Валунистое), В – сростания сфалерита и галенита (Валунистое), Г – сросток галенита с акантитом на пирите (Жильное), Д – сросток халькопирита и акантита (Валунистое), Е – замещение халькопирита акантитом (Валунистое), Ж – акантит в пирите (Жильное), З – акантит в корродированном кристалле пирита (Жильное), И – низкопробное золото (Жильное), К – самородное серебро (Жильное), Л – карбонатный прожилок с сульфидами в кварце (Валунистое), М – акантит в кальците и кварце (Кремовое); Qz – кварц, Fsp – полево шпат, Cal – кальцит, Py – пирит, Csp – халькопирит, Gn – галенит, Sp – сфалерит, Aca – акантит, Sul – сульфиды

ботки месторождения на уровне развития полевошпат-хлорит-кварцевых жил. Вертикальный размах оруденения в пределах ВРР составляет 300 м.

Таким образом, с учётом более благоприятных геологических (количество и концентрации золота, выдержанность по простиранию и мощности

рудных тел) и экономико-технологических условий (показатели извлечения полезных компонентов, простота оконтуривания и разработки рудных тел) целесообразно проводить геологоразведочные работы только на объектах золото-сульфосольного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белый В. Ф.* Геология Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1994. – 76 с.
2. *Беляева Т. В.* Условия образования халькогенидов серебра на эпитеpмальных месторождениях северо-востока России : специальность 25.00.05 «Минералогия, кристаллография» : дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Татьяна Владимировна Беляева. – Новосибирск : ФГАОУ ВО НГУ, 2022. – 136 с.
3. *Беляева Т. В., Пальянова Г. А.* Сульфиды и селениды серебра в рудах Au–Ag эпитеpмальных месторождений Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Геология рудных месторождений. – 2023. – Т. 65, № 1. – С. 74–108.
4. *Бортников Н. С., Волков А. В., Савва Н. Е., Прокофьев В. Ю., Колова Е. Е., Долманова-Тополь А. А., Мурашов К. Ю.* Эпитеpмальные Au-Ag-Te-Se месторождения Чукотки (арктическая зона России): металлогения, минеральные парагенезисы, флюидный режим // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63 (4). – С. 522–549.
5. *Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В., Галямов А. Л., Мурашов К. Ю.* Арктические ресурсы цветных и благородных металлов в глобальной перспективе // Арктика: экология и экономика. – 2015. – № 1(17). – С. 38–46.
6. *Брызгалов И. А., Кривицкая Н. Н.* Особенности состава минералов серебра системы Ag-Pb-Bi-Te-S месторождения Валунистое (Северо-Восток России) // Роль минералогии в развитии минерально-сырьевой базы благородных металлов и алмазов XXI века. – М. : ИГЕМ РАН, 1998. – С. 28–30.
7. *Волков А. В., Галямов А. Л., Сидоров А. А.* Перспективы развития добычи золота в Чукотском автономном округе // Арктика: экология и экономика. – 2017. – № 4 (28). – С. 83–97.
8. *Волков А. В., Гончаров В. И., Сидоров А. А.* Месторождения золота и серебра Чукотки. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2006. – 221 с.
9. *Волков А. В., Прокофьев В. Ю., Винокуров С. Ф.* [и др.] Эпитеpмальное Au-Ag месторождение Валунистое (Восточная Чукотка, Россия): геологическое строение, минералого-геохимические особенности и условия рудообразования // Геология рудных месторождений. – 2020. – Т. 62, № 2. – С. 107–113.
10. *Волков А. В., Прокофьев В. Ю., Савва Н. Е.* [и др.] Рудообразование на Au-Ag месторождении Купол, по данным изучения флюидных включений (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2012. – Т. 54, № 4. – С. 350–359.
11. *Волков А. В., Прокофьев В. Ю., Сидоров А. А.* [и др.] Условия формирования эпитеpмальной Au-Ag минерализации Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля (Восточная Чукотка) // Вулканология и сейсмология. – 2019. – № 5. – С. 68–80.
12. *Волков А. В., Савва Н. Е., Колова Е. Е.* [и др.] Au-Ag эпитеpмальное месторождение Двойное (Чукотка) // Геология рудных месторождений. – 2018. – Т. 60, № 6. – С. 590–609.
13. *Гермаханов А. А., Черных А. И., Танин Е. В., Казанов О. В., Бурдин Д. Б.* Новые горизонты. Минерально-сырьевой потенциал Чукотского автономного округа // Недропользование XXI век. – 2023. – № 3–4 (100). – С. 8–14.
14. *Голдырев В. Н.* Минералого-геохимическая и прогнозно-поисковая модели золото-серебряного оруденения Валунистого рудного района (Восточная Чукотка) : специальность 1.6.10. «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Виталий Николаевич Голдырев. – Новосибирск : ИГМ СО РАН, 2024. – 27 с.
15. *Голдырев В. Н.* Серебро-сульфидно-полиметаллическая стадия минералообразования Амгуэмо-Канчаланской металлогенической зоны (Центральная Чукотка) // Геология в развивающемся мире : сборник научных трудов по материалам XVI Междунар. научно-практ. конф. – Пермь, 2023. – С. 20–25.
16. *Голдырев В. Н., Осовецкий Б. М., Наумов В. А.* Золотоносные эксплозивные брекчии месторождения Жильное (Чукотка) // Металлогения древних и современных океанов. – 2022. – Т. 28. – С. 129–133.
17. *Голдырев В. Н., Осовецкий Б. М., Наумов В. А., Артемьев А. Л., Заводов А. В.* Пирит эпитеpмального Au-Ag месторождения Жильное (Чукотский АО): морфология, стадийность образования, продукты преобразования // Отечественная геология. – 2023. – № 3. – С. 42–56.
18. *Дьяконов В. В.* Фанерозойские палеовулканические сооружения и рудная минерализация медно-молибден-порфиrowого типа : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. докт. геол.-минерал. наук / Виктор Васильевич Дьяконов. – М. : Рос. ун-т дружбы народов, 2011. – 50 с.
19. *Елманов А. А., Прокофьев В. Ю., Волков А. В., Сидоров А. А., Воскресенский К. И.* Первые данные об условиях формирования Ag-Ag эпитеpмальной минерализации месторождения Жильное (Восточная Чукотка) Россия // ДАН. – 2018. – Т. 480, № 6. – С. 693–697.

20. Журавкова Т. В., Пальянова Г. А., Калинин Ю. А., Горячев Н. А., Зинина В. Ю. Физико-химические условия образования минеральных парагенезисов золота и серебра на месторождении Валунистое (Чукотка) // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 11. – С. 1565–1576.
21. Кравцова Р. Г. Геохимия и условия формирования золото-серебряных рудно-магматических систем северного Приохотья : специальность 25.00.09 «Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» : автореф. дис. на соискание учён. степ. докт. геол.-минерал. наук / Раиса Григорьевна Кравцова. – Иркутск : Ин-т геохимии, 2005. – 23 с.
22. Кравцова Р. Г., Таусон В. Л., Пальянова Г. А., Макшаков А. С., Павлова Л. А. Особенности состава самородного серебра золото-серебряного месторождения Роговик (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2017. – Т. 59, № 5. – С. 385–400. – DOI : 10.7868/S0016777017050045.
23. Кузнецов Ю. А., Дубков А. А., Калинин В. Н., Жабин А. В., Варфоломеев С. Д. Исследования микроформ кристаллических соединений благородных металлов в золоторудных месторождениях Евразии // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2023. – № 111. – С. 27–37.
24. Машковцев Г. А., Спорыхина Л. В., Быховский Л. З. Состояние, перспективы использования и развития сырьевой базы твердых полезных ископаемых Арктической зоны России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2019. – № 3. – С. 34–45.
25. Новоселов К. А., Котляров В. А., Белогуб Е. В. Сульфоселенид серебра из руд Валунистого золото-серебряного месторождения (Чукотка) // Зап. РМО. – 2009. – Ч. 138, Вып. 6. – С. 56–61.
26. Пальянова Г. А. Минералы золота и серебра в сульфидных рудах // Геология рудных месторождений. – 2020. – Т. 62, № 5. – С. 426–449.
27. Петренко И. Д. Золото-серебряная формация Камчатки : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. докт. геол.-минерал. наук / Игорь Диамидович Петренко. – Петропавловск-Камчатский : ЦНИГРИ, 2004. – 25 с.
28. Петровская Н. В. Самородное золото. – М. : Наука, 1973. – 347 с.
29. Полин В. Ф. Петрология контрастной серии Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля Чукотки. – Владивосток : ДВО АН СССР, 1990. – 228 с.
30. Русанов Р. В., Янникова Ю. Ю., Янникова Л. Ю. Платиноносность Au-Ag формации на примере месторождения Валунистое (Чукотский автономный округ) // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Серия Геол. – 2019. – № 4. – С. 71–78.
31. Савва Н. Е. Минералогия серебра Северо-Востока России // СВК-НИИ ДВО РАН. – М. : Изд-во «Триумф», 2018. – 544 с.
32. Савва Н. Е., Колова Е. Е., Фомина М. И. [и др.] Золото-полиметаллическое оруденение в эксплозивных брекчиях: минералого-генетические аспекты (месторождение Сентябрьское, СВ, Чукотка) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2016. – № 1. – С. 16–36.
33. Савва Н. Е., Пальянова Г. А., Бянкин М. А. К проблеме генезиса сульфидов и селенидов золота и серебра на месторождении Купол (Чукотка, Россия) // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53 (5). – С. 597–609.
34. Сергиевский А. П. Геология Кайемравеемского рудного узла и условия локализации золото-серебряного оруденения: специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Александр Петрович Сергиевский. – М. : Рос. ун-т дружбы народов (РУДН), 2006. – 27 с.
35. Сидоров А. А. Золото-серебряная формация Восточно-Азиатских вулканогенных поясов. – Магадан : СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1978. – 85 с.
36. Сидоров А. А., Сидоров В. А., Волков А. В. Золотоносные эксплозивные брекчии штока Ванин – новый тип оруденения на Северо-Востоке России // ДАН. – 2010. – Т. 435, № 6. – С. 780–785.
37. Стружков С. Ф., Константинов М. М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – М. : Научный мир, 2005. – 320 с.
38. Тихомиров П. Л. Меловой окраинно-континентальный магматизм Северо-Востока Азии и вопросы генезиса крупнейших фанерозойских провинций кремнекислого вулканизма. – М. : ГЕОС, 2020. – 376 с.
39. Хомич В. Г., Иванов В. В., Фатьянов В. В. Типизация золото-серебряного оруденения. – Владивосток : ДВО АН СССР, 1989. – 289 с.
40. Bodnar R. J., Lecumberri-Sanchez P., Moncada D., Steele-MacInnes P. Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits // Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Treatise on Geochemistry / 2nd Edition. Amsterdam; San Diego, CA. – USA : Elsevier, 2014. – P. 119–142.
41. Buchanan L. Precious metal deposits associated with volcanic environments in the Southwest // Ariz Geol Soc Dig XIV. – 1981. – P. 237–262.
42. Hedenquist J. W., Browne P. R., Allis R. G. Epithermal gold mineralization. – Wairakei, New Zeland. – 1988. – 169 p.
43. Hedenquist J. W., Lowenstern J. B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore-deposits // Nature. – 370. – 1994. – P. 519–527.
44. Sowkins F. J. Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics. 2-d Revised. – Berlin : Springer Verlag, 1990. – 461 p.

REFERENCES

1. *Belyy V. F.* Geologiya Okhotsko-Chukotskogo vulkanogenogo poyasa [Geology of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt], Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 1994, 76 p. (In Russ.)
2. *Belyayeva T. V.* Usloviya obrazovaniya khalkogenidov serebra na epitermalnykh mestorozhdeniyakh severovostoka Rossii [Conditions of formation of silver chalcogenides at epithermal deposits of northeastern Russia], Novosibirsk, FGAOU VO NGU publ., 2022, 136 p. (In Russ.)
3. *Belyayeva T. V., Palyanova G. A.* Sulfidy i selenidy serebra v rudakh Au–Ag epitermalnykh mestorozhdeniy Okhotsko-Chukotskogo vulkanogen-nogo poyasa [Silver sulfides and selenides in ores of Au–Ag epithermal deposits of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2023, V. 65, No. 1, pp. 74–108. (In Russ.)
4. *Bortnikov N. S., Volkov A. V., Savva N. Ye., Prokofyev V. Yu., Kolova Ye. Ye., Dolmanova-Topol A. A., Murashov K. Yu.* Epitermalnyye Au-Ag-Te-Se mestorozhdeniya Chukotki (arkticheskaya zona Rossii): metallogeniya, mineralnyye paragenezisy, flyuidnyy rezhim [Epithermal Au-Ag-Te-Se deposits of Chukotka (Arctic zone of Russia): metallogeny, mineral parageneses, fluid regime], *Geologiya i geofizika*, 2022, V. 63 (4), pp. 522–549. (In Russ.)
5. *Bortnikov N. S., Lobanov K. V., Volkov A. V., Galyamov A. L., Murashov K. Yu.* Arkticheskiye resursy tsvet-nykh i blagorodnykh metallov v globalnoy perspektive [Arctic resources of non-ferrous and precious metals in a global perspective], *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2015, No. 1(17), pp. 38–46. (In Russ.)
6. *Bryzgalov I. A., Krivitskaya N. N.* Osobnosti sostava mineralov serebra sistemy Ag-Pb-Bi-Te-S mestorozhdeniya Valunistoye (Severo-Vostok Rossii) [Features of the composition of silver minerals of the Ag-Pb-Bi-Te-S system of the Valunistoye deposit (North-East of Russia)], *Rol mineralogii v razvitii mineralno-syryevoy bazy blagorodnykh metallov i almazov XXI veka*, Moscow, IGM RAN publ., 1998, pp. 28–30. (In Russ.)
7. *Volkov A. V., Galyamov A. L., Sidorov A. A.* Perspektivy razvitiya dobychi zolota v Chukotskom avtonomnom okruge [Prospects for the Development of Gold Mining in the Chukotka Autonomous Okrug], *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2017, No. 4 (28), pp. 83–97. (In Russ.)
8. *Volkov A. V., Goncharov V. I., Sidorov A. A.* Mestorozhdeniya zolota i serebra Chukotki [Gold and silver deposits of Chukotka], Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 2006, 221 p. (In Russ.)
9. *Volkov A. V., Prokofyev V. Yu., Vinokurov S. F.* [et al.] Epitermalnoye Au-Ag mestorozhdeniya Valunistoye (Vostochnaya Chukotka, Rossiya): geologicheskoye stroeniye, mineralogo-geokhimicheskiye osobennosti i usloviya rudoobrazovaniya [Epithermal Au-Ag deposit Valunistoye (Eastern Chukotka, Russia): geological structure, mineralogical and geochemical features and ore formation conditions], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2020, V. 62. No. 2, pp. 107–113. (In Russ.)
10. *Volkov A. V., Prokofyev V. Yu., Savva N. Ye.* [et al.] Rudoobrazovaniye na Au-Ag mestorozhdenii Kupol, po dannym izucheniya flyuidnykh vlyucheniye (Severo-Vostok Rossii) [Ore formation at the Kupol Au-Ag deposit, based on fluid inclusion studies (North-East Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2012, V. 54, No. 4, pp. 350–359. (In Russ.)
11. *Volkov A. V., Prokofyev V. Yu., Sidorov A. A.* [et al.] Usloviya formirovaniya epitermalnoy Au-Ag mineralizatsii Amguemo-Kanchalanskogo vulkanicheskogo polya (Vostochnaya Chukotka) [Conditions of formation of epithermal Au-Ag mineralization of the Amguemo-Kanchalan volcanic field (Eastern Chukotka)], *Vulkanologiya i seysmologiya*, 2019, No. 5, pp. 68–80. (In Russ.)
12. *Volkov A. V., Savva N. Ye., Kolova Ye. Ye.* [et al.] Au-Ag epitermalnoye mestorozhdeniye Dvoynoye (Chukotka) [Au-Ag epithermal deposit Dvoynoye (Chukotka)], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2018, V. 60, No. 6, pp. 590–609. (In Russ.)
13. *Germakhanov A. A., Chernykh A. I., Tanin Ye. V., Kazanov O. V., Burdin D. B.* Novyye gorizonty. Mineralno-syryevoy potentsial Chukotskogo avtonomnogo okruga [New Horizons. Mineral Resource Potential of the Chukotka Autonomous Okrug], *Nedropolzovaniye XXI vek*, 2023, No. 3–4 (100), pp. 8–14. (In Russ.)
14. *Goldzyrev V. N.* Mineralogo-geokhimicheskaya i prognozno-poiskovaya modeli zoloto-serebryanogo orudneniya Valunistogo rudnogo rayona (Vostochnaya Chukotka) [Mineralogical-geochemical and forecast-search models of gold-silver mineralization of the Valunisty ore region (Eastern Chukotka)], Novosibirsk, IGM SO RAN publ., 2024, 27 p. (In Russ.)
15. *Goldzyrev V. N.* Srebro-sulfidno-polimetallicheskaya stadiya mineraloobrazovaniya Amguemo-Kanchalanskoy metallogenicheskoy zony (Tsentralnaya Chukotka) [Silver-sulfide-polymetallic stage of mineral formation of the Amguemo-Kanchalan metallogenic zone (Central Chukotka)], *Geologiya v razvivayushchemsya mire, sbornik nauchnykh trudov po materialam XVI Mezhdunar. nauchno-prakt. konf*, Perm, 2023, pp. 20–25. (In Russ.)
16. *Goldzyrev V. N., Osovetkiy B. M., Naumov V. A.* Zolotonosnyye eksplozivnyye brekchii mestorozhdeniya Zhilnoye (Chukotka) [Gold-bearing explosive breccias of the Zhilnoye deposit (Chukotka)],

- Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov, 2022, V. 28, pp. 129–133. (In Russ.)
17. *Goldyrev V. N., Osovetskiy B. M., Naumov V. A., Artemov A. L., Zavodov A. V.* Pirit epitermalnogo Au-Ag mestorozhdeniya Zhilnoye (Chukotskiy AO): morfologiya, stadiynost obrazovaniya, produkty preobrazovaniya [Pyrite of the epithermal Au-Ag deposit Zhilnoye (Chukotka Autonomous Okrug): morphology, stages of formation, transformation products], *Otechestvennaya geologiya*, 2023, No. 3, pp. 42–56. (In Russ.)
 18. *Dyakonov V. V.* Fanerozoyskiye paleovulkanicheskiye sooruzheniya i rudnaya mineralizatsiya mednomolibden-porfirovogo tipa [Phanerozoic paleovolcanic structures and ore mineralization of the copper-molybdenum-porphyry type], Moscow, Ros. un-t družby narodov publ., 2011, 50 p. (In Russ.)
 19. *Yelmanov A. A., Prokofyev V. Yu., Volkov A. V., Sidorov A. A., Voskresenskiy K. I.* Pervyye dannyye ob usloviyakh formirovaniya Ag-Ag epitermalnoy mineralizatsii mestorozhdeniya Zhilnoye (Vostochnaya Chukotka) Rossiya [First data on the conditions of formation of Ag-Ag epithermal mineralization of the Zhilnoye deposit (Eastern Chukotka) Russia], *DAN*, 2018, V. 480, No. 6, pp. 693–697. (In Russ.)
 20. *Zhuravkova T. V., Palyanova G. A., Kalinin Yu. A., Goryachev N. A., Zinina V. Yu.* Fiziko-khimicheskiye usloviya obrazovaniya mineralnykh paragenezisov zolota i serebra na mestorozhdenii Valunistoye (Chukotka) [Physicochemical conditions of formation of mineral parageneses of gold and silver at the Valunistoye deposit (Chukotka)], *Geologiya i geofizika*, 2019, V. 60, No. 11, pp. 1565–1576. (In Russ.)
 21. *Kravtsova R. G.* Geokhimiya i usloviya formirovaniya zoloto-serebryanykh rudno-magmaticheskikh sistem severnogo Priokhotya [Geochemistry and conditions of formation of gold-silver ore-magmatic systems of the northern Priokhotye region], *Irkutsk, In-t geokhimii publ.*, 2005, 23 p. (In Russ.)
 22. *Kravtsova R. G., Tauson V. L., Palyanova G. A., Makshakov A. S., Pavlova L. A.* Osobennosti sostava samorodnogo serebra zoloto-serebryanogo mestorozhdeniya Rogovik (Severo-Vostok Rossii) [Features of the composition of native silver of the Rogovik gold-silver deposit (North-East of Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2017, V. 59, No. 5, pp. 385–400, DOI: 10.7868/S0016777017050045. (In Russ.)
 23. *Kuznetsov Yu. A., Dubkov A. A., Kalinichenko V. N., Zhabin A. V., Varfolomeyev S. D.* Issledovaniya mikroform kristallicheskh soyedineniy blagorodnykh metallov v zolorudnykh mestorozhdeniyakh Yevrazii [Studies of microforms of crystalline compounds of noble metals in gold ore deposits of Eurasia], *Nedra Povolzhya i Prikaspiya*, 2023, No. 111, pp. 27–37. (In Russ.)
 24. *Mashkovtsev G. A., Sporykhina L. V., Bykhovskiy L. Z.* Sostoyaniye, perspektivy ispolzovaniya i razvitiya syryevoy bazy tverdykh poleznykh iskopayemykh Arkticheskoy zony Rossii [Status, Prospects for Use and Development of the Raw Material Base of Solid Minerals in the Arctic Zone of Russia], *Mineralnyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye*, 2019, No. 3, pp. 34–45. (In Russ.)
 25. *Novoselov K. A., Kotlyarov V. A., Belogub Ye. V.* Sulfoselenid serebra iz rud Valunistogo zoloto-serebryanogo mestorozhdeniya (Chukotka) [Silver sulfoselenide from the ores of the Valunistoye gold-silver deposit (Chukotka)], *Zap. RMO*, 2009, Pt. 138, Is. 6, pp. 56–61. (In Russ.)
 26. *Palyanova G. A.* Mineraly zolota i serebra v sulfidnykh rudakh [Gold and silver minerals in sulfide ores], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2020, V. 62, No. 5, pp. 426–449. (In Russ.)
 27. *Petrenko I. D.* Zoloto-serebryanaya formatsiya Kamchatki [Gold-silver formation of Kamchatka], *Petropavlovsk-Kamchatskiy, TSNIIGRI publ.*, 2004, 25 p. (In Russ.)
 28. *Petrovskaya N. V.* Samorodnoye zoloto [Native gold], Moscow, Nauka publ., 1973, 347 p. (In Russ.)
 29. *Polin V. F.* Petrologiya kontrastnoy serii Amguemo-Kanchalanskogo vulkanicheskogo polya Chukotki [Petrology of the contrast series of the Amguemo-Kanchalan volcanic field of Chukotka], *Vladivostok, DVO AN SSSR publ.*, 1990, 228 p. (In Russ.)
 30. *Rusanov R. V., Yannikova Yu. Yu., Yannikova L. Yu.* Platinonosnost Au-Ag formatsii na primere mestorozhdeniya Valunistoye (Chukotskiy avtonomnyy okrug) [Platinum-bearing Au-Ag formation on the example of the Valunistoye deposit (Chukotka Autonomous Okrug)], *Vestnik Voronezh. gos. un-ta. Seriya Geol*, 2019, No. 4, pp. 71–78. (In Russ.)
 31. *Savva N. Ye.* Mineralogiya serebra Severo-Vostoka Rossii [Mineralogy of silver in the North-East of Russia], *SVK-NII DVO RAN, Moscow, Triumph publ.*, 2018, 544 p. (In Russ.)
 32. *Savva N. Ye., Kolova Ye. Ye., Fomina M. I.* [et al.] Zoloto-polimetallicheskiye orudneniye v eksplozivnykh brekchiyakh: mineralogo-geneticheskiye aspekty (mestorozhdeniye Sentyabrskoye, SV, Chukotka) [Gold-polymetallic mineralization in explosive breccias: mineralogical and genetic aspects (Sentyabrskoye deposit, NE, Chukotka)], *Vestnik SVNTS DVO RAN*, 2016, No. 1, pp. 16–36. (In Russ.)
 33. *Savva N. E., Palyanova G. A., Byankin M. A.* K probleme genezisa sulfidov i selenidov zolota i serebra na mestorozhdenii Kupol (Chukotka, Rossiya) [On the problem of genesis of gold and silver sulfides and selenides at the Kupol deposit (Chukotka, Russia)], *Geologiya i geofizika*, 2012, V. 53 (5), pp. 597–609. (In Russ.)
 34. *Sergiyevskiy A. P.* Geologiya Kayemraveyemskogo rudnogo uzla i usloviya lokalizatsii zoloto-serebryanogo orudneniya [Geology of the Kayemraveem ore

- cluster and conditions of localization of gold-silver mineralization], Moscow, Ros. un-t druzhby narodov (RUDN) publ., 2006, 27 p. (In Russ.)
35. *Sidorov A. A.* Zoloto-serebryanaya formatsiya Vostochno-Aziatskikh vulkanogennykh poyasov [Gold-silver formation of the East Asian volcanic belts], Magadan, SVKNII DVNTS AN SSSR publ., 1978, 85 p. (In Russ.)
 36. *Sidorov A. A., Sidorov V. A., Volkov A. V.* Zolotonosnyye eksplozivnyye brekchii shtoka Vanin – novyy tip orudeneniya na Severo-Vostoke Rossii [Gold-bearing explosive breccias of the Vanin stock – a new type of mineralization in the North-East of Russia], DAN, 2010, V. 435, No. 6, pp. 780–785. (In Russ.)
 37. *Struzhkov S. F., Konstantinov M. M.* Metallogeniya zolota i srebra Okhotsko-Chukotskogo vulkanogenogo poyasa [Metallogeny of gold and silver of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt], Moscow, Nauchnyy mir publ., 2005, 320 p. (In Russ.)
 38. *Tikhomirov P. L.* Melovoy okrainno-kontinentalnyy magmatizm Severo-Vostoka Azii i voprosy genezisa krupneyshikh fanerozoyskikh provintsiy kremnekislogo vulkanizma [Cretaceous continental margin magmatism of Northeast Asia and issues of the genesis of the largest Phanerozoic provinces of silicic volcanism], Moscow, GEOS publ., 2020, 376 p. (In Russ.)
 39. *Khomich V. G., Ivanov V. V., Fatyanov V. V.* Tipizatsiya zoloto-serebryanogo orudeneniya [Typification of gold-silver mineralization], Vladivostok, DVO AN SSSR publ., 1989, 289 p. (In Russ.)
 40. *Bodnar R. J., Lecumberri-Sanchez P., Moncada D., Steele-MacInnes P.* Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Treatise on Geochemistry, 2nd Edition. Amsterdam; San Diego, CA, USA, Elsevier, 2014, pp. 119–142.
 41. *Buchanan L.* Precious metal deposits associated with volcanic environments in the Southwest, Ariz Geol Soc Dig XIV, 1981, pp. 237–262.
 42. *Hedenquist J. W., Browne P. R., Allis R. G.* Epithermal gold mineralization, Wairakei, New Zeland, 1988, 169 p.
 43. *Hedenquist J. W., Lowenstern J. B.* The role of magmas in the formation of hydrothermal ore-deposits, Nature, 370, 1994, pp. 519–527.
 44. *Sowkins F. J.* Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics. 2-d Revised, Berlin, Springer Verlag, 1990, 461 p.

Статья поступила в редакцию 11.11.25; одобрена после рецензирования 24.11.25; принята к публикации 24.11.25.
The article was submitted 11.11.25; approved after reviewing 24.11.25; accepted for publication 24.11.25.