

УДК 553.411(571.651)

ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В ЭКСПЛОЗИВНЫХ БРЕКЧИЯХ: МИНЕРАЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ (МЕСТОРОЖДЕНИЕ СЕНТЯБРЬСКОЕ СВ, ЧУКОТКА)

Н. Е. Савва¹, Е. Е. Колова¹, М. И. Фомина¹, В. В. Курашко², А. В. Волков³

¹Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН,
г. Магадан

E-mail: savva@neisri.ru

²ООО «Кинросс ДВ», г. Магадан

³Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
г. Москва

E-mail: tma2105@mail.ru

Представлены результаты детальных минералогических и микротермометрических исследований золото-полиметаллических руд, локализованных в трубчатом теле взрывной брекчии на месторождении Сентябрьское СВ (Центральная Чукотка). Выявлено два этапа формирования руд: ранний – золото-полиметаллический, прослеженный по керну скважин на глубину 250 м, и поздний – золото-серебро-свинцово-теллуридный, проявленный на поверхности. Руды раннего этапа, заполняющие трубчатое тело, низкосеребристые (Au:Ag – 2:1–10:1), обедненные As и Sb; позднего этапа – высокосеребристые (Au:Ag до 1:30), богатые гесситом. Пробность Au раннего парагенезиса 755–810‰, позднего – 820–860‰. Выявлены признаки взрывных процессов в теле брекчии в виде многочисленных сфероидных образований. По результатам изучения флюидных включений установлено, что процесс рудообразования проходил в открытой системе на фоне развития двух гидродинамических режимов, соответствующих мезоэпитермальному и геотермальному типам при неоднократном разбавлении минерализованных гидротерм вадозными водами и вскипании растворов.

Ключевые слова: золото-полисульфидное оруденение, трубчатое рудное тело, взрывные брекчии, сфероиды, микротермометрия.

ВВЕДЕНИЕ

Месторождения, локализованные в телах взрывных брекчий, как правило, имеют промышленную значимость. Их перспективность определяется большим размахом оруденения и специфическими условиями концентрирования полезных компонентов. Формирование рудной минерализации характеризуется определенными особенностями метасоматоза, рудоотложения, сопровождается взрывными явлениями и вскипанием растворов, а также растрескиванием пород и образованием различного рода сфероидов. Воронкообразная морфология рудовмещающей полости и ее субвертикальное положение благоприятствуют проникновению вадозных вод и последующему смешению их с глубинным флюидом. Образующиеся при этом эпитеральные руды отличаются высокой сульфидностью. Месторождения подобного типа отмечаются в раз-

личных регионах мира – США (штат Колорадо), Папуа Новая Гвинея и других, а также на ряде объектов России – в Восточном Забайкалье, на Дальнем Востоке и Курильской гряде. Это могут быть как золоторудные – Крипл-Крик, Колорадо (Thompson et al., 1985), Дельмакчинское, Дарасунский район (Тимофеевский, 1972; Абрамов, 2014; Прокофьев и др., 2010), золотое оруденение на о. Уруп Большекурильской гряды (Кириллов, 2008), так и оловорудные – Хинган-Олонойский оловорудный район (Копылов, Плотницкий, 2004), Красногорское (Симаненко и др., 2015).

Исследование подобных месторождений на разных континентах мира позволило провести их систематизацию и классификацию по типам геологических структур и брекчий (Tamas, Milešić, 2002). Первоначально рудоносные взрывные брекчии изучались как алмазоносные кимберлитовые трубки взрыва. Находки в них металлических полезных ископаемых, таких как золото, олово, полиметаллы, показали, что они могут

быть перспективными в связи с образованием богатых рудных столбов и распространением оруденения на значительные глубины (Константинов, 2015). Большое значение имеют форма, размер и пространственное положение обломков внутри трубчатых тел. Центральная их часть, как правило, более подвижна и проницаема для флюидов, поэтому к ней может быть приурочено богатое оруденение. Б. Н. Абрамов (2014) рассматривает флюидно-эксплозивные брекчии как гибридные, возникшие при взаимодействии мантийных и коровых источников на начальных стадиях посторогенного развития территорий.

Настоящая статья представляет собой результаты первого детального исследования минералогии и условий образования золото-полиметаллических руд, локализованных в трубчатом теле эксплозивных брекчий на месторождении Сентябрьское СВ (Центральная Чукотка). Этот район в последние два десятилетия привлекает к себе внимание геологов. Именно там в 1998 г. было открыто, а затем разведано и введено в эксплуатацию крупное эпитермальное Au-Ag месторождение Купол. В настоящее время на площади разведан еще ряд **Au-Ag месторождений** – Двойное, Морошка, Сентябрьское и другие, которые в совокупности образуют рудный район, расположенный в Центрально-Чукотском секторе внешней зоны Охотско-Чукотского вулканогенного пояса.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Месторождение расположено в восточной части Илirianейского рудного района, геологическое строение которого изучалось в процессе разномасштабных геолого-съёмочных и поисковых работ с 1976 по 1995 г. На их основании выделен рудный узел Водораздельный в север-северо-западном экзоконтакте многофазного Илirianейского гранитоидного массива. В Водораздельном узле к настоящему времени оконтурены два рудных поля – Сентябрьское (рис. 1 А) и Двойное, что объясняется, в первую очередь, большей степенью изученности этой части площади. Нами проведены детальные минералогические и термобарогеохимические исследования руд месторождения Сентябрьское СВ Сентябрьского рудного поля (см. рис. 1 А, Б).

Месторождение Сентябрьское СВ выявлено компанией «Кинросс» в ходе проведения поисково-оценочных работ на Водораздельной площади в 2010 г. Оно расположено в 3,5 км к северо-востоку от ранее известных золото-полиметаллических штокерков в контакте гранитоидов Сентябрьского массива и в 16 км по прямой от рудника Двойной.

Месторождение локализовано в восточном обрамлении вулканического купола, приуроченного к западной части Илirianейской вулканотектонической структуры обрушения раннего этапа становления Центрально-Чукотской зоны Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Эта структура в плане имеет овально-кольцевую форму и размеры 5×4 км (см. рис. 1А). В ее центральной части располагаются интрузии Илirianейского интрузивного комплекса и рудопроявление Сентябрьское Центр.

На площади месторождения Сентябрьское СВ развиты вулканыты тытыльвеемской свиты (K_1), представленные тремя подсвитами. Нижняя – преимущественно андезитовая, средняя – сложена преимущественно туфами риолитов, кластолавами и лавобрекчиями дацитов; верхняя, наиболее широко распространенная, – андезитами, кластолавами, лавобрекчиями и туфами среднего состава. Вулканыты прорываются комагматичными экструзивными телами андезитов, которые сложены оруденелыми эксплозивными брекчиями, а возможно, агломератовыми туфами жерловой фации, а также дайкам диоритов и субвулканическими телами риолитов (см. рис. 1Б). Разломом восток-северо-восточного простирания (60–70°) участок разбит на два блока – южный и северный. Блоки имеют разную степень эрозионного среза, южный – более приподнятый. Предположительная амплитуда – 60 м. Метасоматические изменения пород кварц-полевошпат-хлоритовые и хлорит-гидрослюдистые.

Основная часть оруденения приурочена к трубообразным телам эксплозивных брекчий с обломками пород различного состава (туфами андезитов, андезибазальтов и кварца) и редко выходит за их пределы. Морфология рудных тел на месторождении Сентябрьское СВ определяется наложением на эксплозивные брекчии золото-кварц-полиметаллической минерализации. Наиболее интенсивно рудные образования развиваются по цементу брекчии. Нередко они обтекают обломки, образуя кокардовые обрастания. Обломочная часть брекчии также пронизана тонкими кварц-карбонатными и кварц-полевошпатовыми прожилками. Пространство, где между мегаобломками образовались более крупные пустоты, заполнено рудами с концентрически-полосчатым агапоподобным строением. В объеме брекчии гидротермалиты создают прожилковидный рисунок с раздувами и пережимами, мощность образовавшихся прожилков от 3–5 мм до 2–5 см. Протяженность интенсивно оруденелых участков достигает 100 м, мощность – до 40 м. Они прослежены скважинами на глубину более 250 м. Содержания Au в сульфидных рудах от 6 до 400 г/т, при Au:Ag – 2:1–10:1.

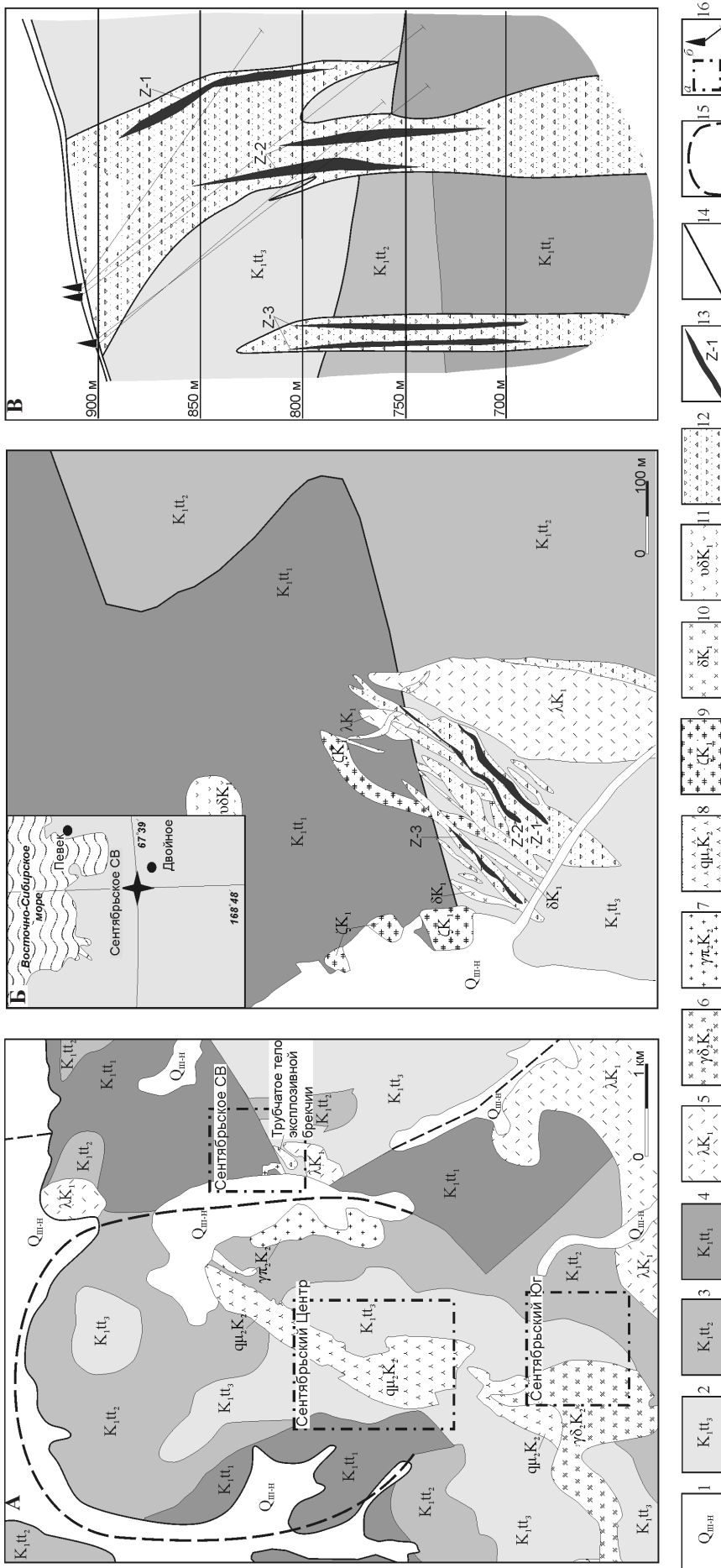


Рис. 1. Геологическое строение Сентябрьского рудного поля: **А** – геологический план Сентябрьского рудного поля; **Б** – геологический план месторождения Сентябрьское СВ (в верхнем левом углу врезка с координатами объекта); **Б'** – строение трубчатого тела рудоносной брекчи в разрезе. 1 – объединенные ледниковые и аллювиальные отложения ($Q_{плн-п'}$), валунистики, галечники, гравий, пески, глины; 2–4 – тыгильвеевская свита: 2 – андезиты, их туфы и кластолавы (K_1tt_3), 3 – риолиты, риодациты, дациты, андезиты, их туфы, игнимбриты, туфоконгломераты, туфопесчаники, туфоаргиллиты (K_1tt_2), 4 – андезиты, андезитазальты, трахандезиты, их кластолавы и туфы, туфопесчаники, туфоаргиллиты, редко – туфоконгломераты (K_1tt_1); 5 – субвулканические образования, риолиты; 6 – гранодиориты и граниты ($\gamma\delta_2K_2$); 7 – гранитпорфиры ($\gamma\pi_2K_2$); 8 – кварцевые монзониты (qm_2K_2); 9 – риодациты (δK_1); 10 – диориты (δK_1); 11 – андезиты (δK_1); 12 – экзсплозивные брекчи; 13 – обогатенные участки рудоносной брекчи; 14 – разломы разного порядка; 15 – граница купольной структуры; 16 – участки детальных поисковых и разведочных работ (а), скважины (б)

Fig. 1. Geological structure of the September ore field; **Б** – geological plan of the September SV (in the upper left corner of the sidebar to the object coordinates); **Б'** – structure of the ore-bearing breccia pipe body in the cut. 1 – combined glacial and alluvial deposits ($Q_{плн-п'}$), boulder, gravel, sand, clay; 2–4 – tytylvveemskaya suite: 2 – andesites, andesite tufts and klastolavy (K_1tt_3), 3 – rhyolites, tufopeschchaniki, tufoargillity, rarely tufokonglomeraty, tufoargillity, rarely tufokonglomeraty (K_1tt_2), 4 – andesites, andesite tufts them, ignimbrites, tufokonglomeraty, tufopeschchaniki, tufoargillity (K_1tt_1); 5 – andesites, andesite tufts and klastolavy (K_1tt_1), 3 – rhyolite, rhyodacites, dacite, andesite tufts them, ignimbrites, tufokonglomeraty, tufopeschchaniki, tufoargillity (K_1tt_2), 4 – andesites, andesite tufts and klastolavy and their tufts, tufopeschchaniki, tufoargillity, rarely tufokonglomeraty (K_1tt_1); 5 – subvolcanic education, rhyolite; 6 – granites and granodiorites ($\gamma\delta_2K_2$); 7 – granite-porphury ($\gamma\pi_2K_2$); 8 – quartz monzonite (qm_2K_2); 9 – rhyodacites (δK_1); 10 – diorites (δK_1); 11 – andesites (δK_1); 12 – explosive breccia; 13 – ore-bearing breccia-rich areas; 14 – faults of different orders; 15 – boundary of the dome structure; 16 – boundary detailed prospecting and exploration (a) wells (b)

МЕТОДИКА

Изучение руд проведено оптическим методом на микроскопах **Meiji Techno** и **Axioplan**. Анализ состава минералов выполнен микрорентгеноспектральным методом на микроанализаторе Camebax, оборудованном системой микроанализа INCA Energy 450+ и волновым спектрометром INCA Wave 500, Oxford Instruments Nanoanalysis Ltd, и на приборе Camscan с аналитической приставкой Quantax (аналитики Е. М. Горячева, Т. В. Субботникова, г. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН). В качестве эталонов использованы: на Ag – чистый металл Ag; на S, Cu, Fe – CuFeS_2 ; на Se, Pb – PbSe; на Zn – ZnS. Рудные образцы из керна скважин проанализированы ICP-MS и рентгенофлюоресцентными методами в ИГЕМ РАН при поддержке гранта РФФИ № 14-17-00170. Определение пробности самородного золота выполнено оптическим методом на спектрофотометре ПООС-1 с высокой степенью стабилизации тока и внутренним стандартом, а также на рентгеновском электронно-зондовом микроанализаторе Camebax (аналитик Е. М. Горячева, СВКНИИ ДВО РАН).

Микротермометрические исследования флюидных включений осуществлены с использованием измерительного комплекса на основе микротермокамеры THMSG-600 фирмы «Linkam», микроскопа Motic, снабженного длиннофокусным объективом 50× фирмы «Olimpus», и видеокамеры Moticam solution 3 Mpx в соответствии с имеющимися методиками (Ермаков, Долгов, 1979; Калужный, 1982; Реддер, 1987; Мельников и др., 2008). Отнесение флюидных включений (ФВ) к генетическим типам проведено в соответствии с установленными критериями (Реддер, 1987; Ермаков, Долгов, 1979; Мельников и др., 2008). Солевой состав растворов и их концентрация определялись методом криометрии, согласно экспериментальным данным (Борисенко, 1977; Vodnar, Vityk, 1994). Плотность флюида и давление рассчитывались с помощью программы Flinco (Brown, 1989a) по методике Занга И. Г., Франца Дж. Д. (Zhang, Frantz, 1987). КР-спектроскопия выполнена в ИГМ СО РАН (при поддержке грантов РФФИ № 14-17-00170 и ДВО № 15-1-2-038 и 15-1-2-073) на дисперсионном раман-микроскопе Lab Ram HR в широком спектральном диапазоне 150–3800 см^{-1} , с возбуждающей линией 514 нм He-Ne лазера и спектральной шириной щели 2 см^{-1} (аналитик Е. Е. Колова, СВКНИИ ДВО РАН). Разложение сложных контуров проведено с помощью программы Origin 7.5.

МИНЕРАЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ РУД

Особенности метасоматитов

По обломкам пород развиты метасоматические изменения, представленные пропилитами кварц-хлорит-серицитового состава. Хлорит раз-

вит также и в рудных образованиях, где нередко текстурирует выделения сульфидных минералов, создавая их псевдопластинчатые агрегаты за счет тесных хлорит-сульфидных сростаний (рис. 2А, е). Выявлены незначительные двуполовые изменения – калишпатизация и альбитизация обломков пород и цемента взрывчатой брекчии (см. рис. 2А, з, д), что, вероятно, связано с разнообразием их состава. В раздувах прожилков встречены гнезда карбоната. При изучении петрографических шлифов часто наблюдается катаклаз обломочного материала с образованием сети тонких трещин, по которым развита гидростлюда (см. рис. 2А).

Текстурные особенности

Среди текстур руд преобладают брекчиевые, кокардовые, колломорфно-полосчатые и прожилковые. Трещиноватость обломочного материала и контракционные трещины в породах позволяют предположить взрывной характер формирования гидротермальных брекчий. Точная диагностика пород в обломках бывает затруднена из-за их интенсивной метасоматической проработки (хлоритизация, калишпатизация, серицитизация). Обломки мега- и микрогабаритности обычно цементируются гидротермально-метасоматическим материалом, образующим кокардовое обрастание (см. рис. 2А, б, в) кварцем, хлоритом, серицитом и белым калишпатом с небольшим количеством позднего карбоната. В непосредственно прилегающих местах кокардового обрастания возникают гнездовые рудные скопления с появлением колломорфно-полосчатого текстурного рисунка. Рудная массивная и гнездовая минерализация сосредоточена в цементе брекчии в виде линзовидных прожилков с раздувами, а вкрапленная сульфидная минерализация распространена по краям метасоматически измененных обломков. На глубоких горизонтах в центральных частях трубчатых тел взрывчатых брекчий отмечается мелкообломочная брекчия с рудной минерализацией.

Минеральный состав руд

По образцам из поверхностных горных выработок и керна скважин изучен минеральный состав руд до глубины 216 м. В табл. 1 приведены минералы (в порядке распространенности), установленные в процессе исследований.

Характеристика минералов

Нерудные

Кварц – наиболее распространенный минерал. Установлены три его генерации: кварц-I – мелкозернистый (0,5–1,0 мм), встречается совместно с хлоритом в цементе брекчий, а также в чередующихся полосах колломорфно-полосчатых образований; кварц-II – средне-крупнозернистый (1,0–3,0 мм по удлинению) – шестоватый, нередко с зональным строением, образующий кокардовое обрастание обломков брекчии; сростается с ка-

А

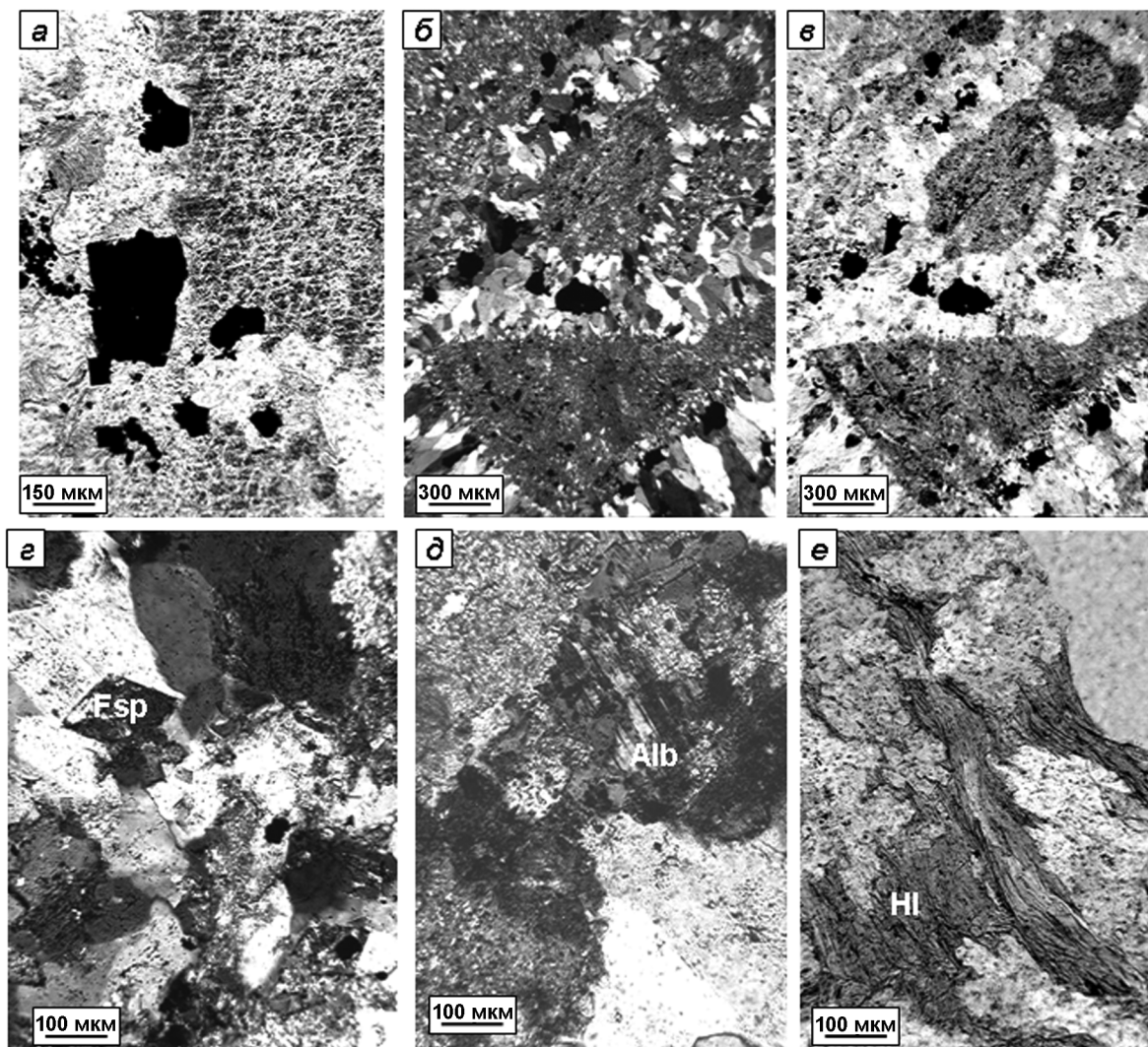


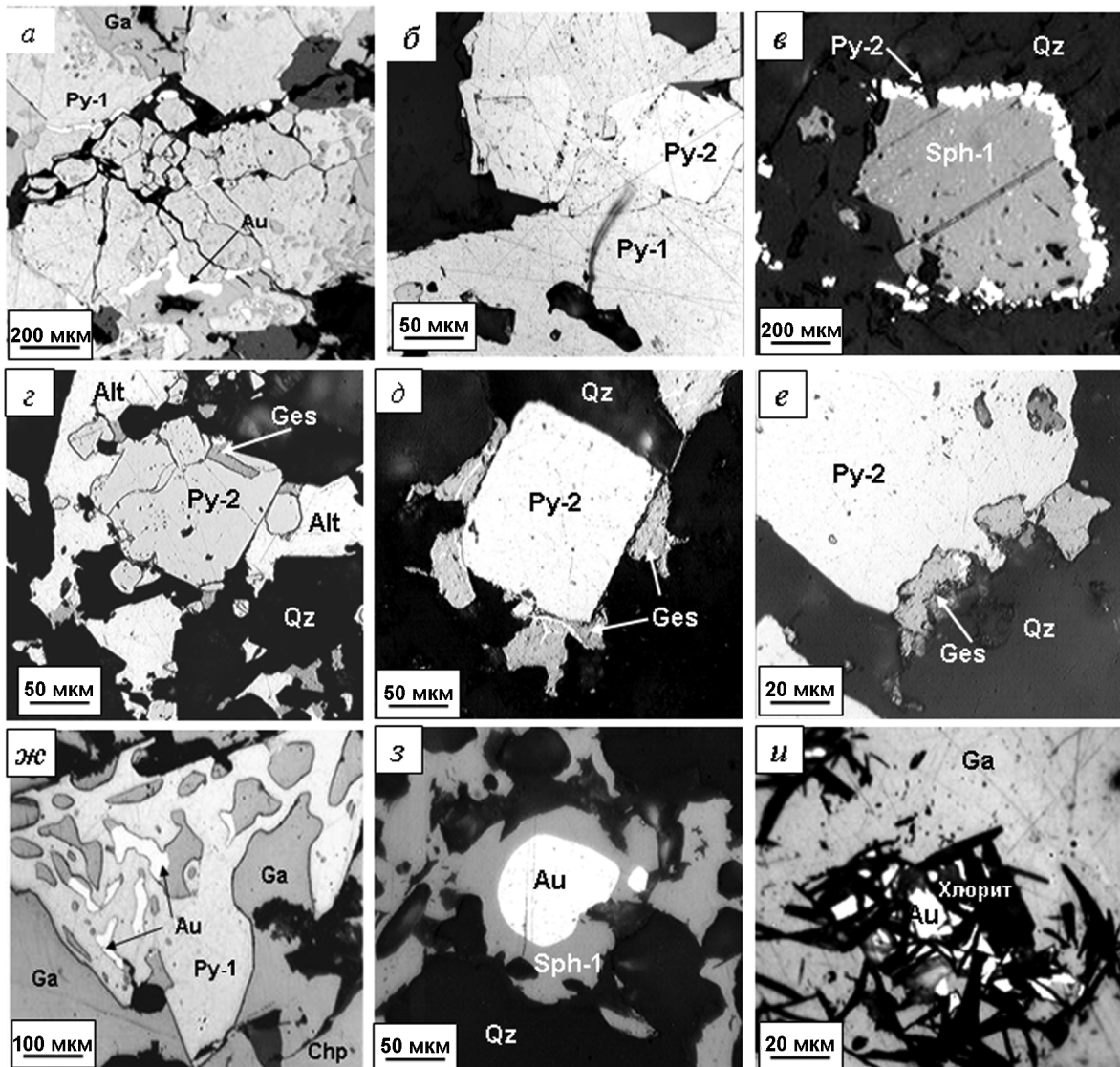
Рис. 2. Срастание жильно-метасоматических и рудных минералов: А – фрагменты флюидно-эксплозивной брекчии в проходящем свете: а – тонкая трещиноватость в обломочном материале брекчии (правый верхний угол), черное – пирит; б, в – кокардовое обрастание микрообломков брекчии (б – с анализатором, в – без анализатора); г – калишпатизация; д – альбитизация и гидрослюдизация – верхний левый угол; е – крупночешуйчатый хлорит; Б – срастания рудных минералов: а – катаклизированный пирит-I в срастании с галенитом и самородным золотом; б – выделение пирита-II поперек трещины катаклаза в пирите-I; в – обрастание зерна сфалерита-I пиритом-II; г – наложение золото-серебро-теллуридной минерализации на пирит-II; д – обрастание пирита-II гесситом по периметру; е – катаклиз пирита-II гесситом; жс – сложное срастание пирита-I с галенитом и золотом; з – идиоморфный кристалл золота в сфалерите-II; и – срастание самородного золота с галенитом, текстурированное крупночешуйчатым хлоритом

Fig. 2. Accretion of vein metasomatic and ore minerals: А – fragments of a fluid-explosive breccia in the transmitted light: а – thin fracture in clastic breccia material (upper right corner), black – pyrite; б-в – cocarde fouling of breccia microfragments (б – with the analyzer, в – without analyzer); г – feldspathization; д – albitization and hydromica-tization – top left corner; е – large-flake chlorite; Б – accretion of ore minerals: а – cataclastic pyrite-I inter-grown with galenites and native gold; б – allocation of pyrite-II across a cataclase crack in pyrite-I; в – pyrite-II fouling of a sphalerite-I grain; г – imposition of gold-silver telluride mineralization on pyrite-II; д – hessite fouling of pyrite-II on the perimeter; е – hessite cataclasis of pyrite-II; жс – complex fusion of pyrite-I with galena and gold; з – idiomorphic gold crystal in sphalerite-II; и – fusion of native gold with galena, textured by large-flake chlorite

лишпатом, цементирует полисульфидный минеральный агрегат; кварц-III – гребенчатый, белый полупрозрачный удлиненно-призматический, до 15 мм по удлинению, слагает зальбанды кварц-теллуридных жил.

Хлорит – в рудах месторождения Сентябрьское СВ преобладает над серицитом (оптически положительный, по свойствам – клинохлор). Минерал образует чешуйчатые скопления, нередко в тесном срастании с сульфидами, часто имеет

Б



пластические деформации, указывающие на тектоническую активность в рудовмещающих брекчиях. Размеры его от мелкочешуйчатого (десятые и сотые доли миллиметра) до 1,5–2,0 мм по удлинению (см. рис. 2А, е).

Серицит – преимущественно развит в метасоматически измененных обломках брекчии в виде светлого мелкочешуйчатого агрегата, в незначительном объеме присутствует также в сростании с хлоритом в рудных образованиях и развивается по тонким трещинам катаклазированных обломков взрывчатой брекчии (см. рис. 2А, а).

Калиевый полевой шпат – развивается по хлоритизированным и серицитизированным обломкам брекчии, а также сростается с шестоватым кварцем в колломорфно-полосчатых рудных образованиях. Обладает высокой степенью идиоморфизма (см. рис. 2А, г).

Альбит – отмечается наряду с калишпатом как вторичный минерал (см. рис. 2А, д). Раз-

вит по обломкам брекчии, сростается с хлоритом и серицитом. Первичный состав пород обломков установить сложно из-за интенсивных изменений.

Карбонат – образует небольшие гнезда (до 3 мм) в цементе брекчии. По цвету и оптическим свойствам ближе всего к кальциту.

Рудные

В рудах выделены два основных минеральных парагенезиса: золото-полисульфидный и золото-серебро-свинцово-теллуридный. Наиболее распространен золото-полисульфидный. Он проявлен как на поверхности, так и на глубоких горизонтах. Золото-серебро-свинцово-теллуридный парагенезис характерен в основном для приповерхностного оруденения. Составы минералов приведены в табл. 2.

Ранняя золото-полисульфидная ассоциация

Пирит – представлен тремя генерациями. **Пирит-I** в различной степени катаклазирован

Таблица 1. Минеральный состав руд месторождения Сентябрьское СВ
Table 1. Mineral composition of September SV ore

Группа минералов	Главные	Второстепенные	Редко встречающиеся
Жильно-метасоматические	Кварц Калишпат Хлорит	Карбонат Серицит Альбит	Апатит
Рудные	Пирит Халькопирит Галенит Сфалерит	Марказит Самородное золото	Петцит Пирротин Арсенопирит Борнит Антракосилит Самородное серебро Блеклая руда Акантит Гессит Алтаит
Гипергенные	Лимонит Халькозин	Англезит	Церуссит

(иногда обломки растащены). По трещинам катаклаза развиты галенит, сфалерит, халькопирит и самородное золото (см. рис. 2Б, а). Пирит-I содержит каплевидные включения пирротина, халькопирита, золота и галенита, сростается со всеми сульфидами и блеклой рудой. Отмечается также отложение самородного золота и галенита по зонам роста пирита-I. **Пирит-II** – слагает идиоморфные кристаллы и сростки кристаллов кубического габитуса размером от десятых долей миллиметра до 2 мм. Вкрапленность пирита отмечается не только в оруденелом кварц-хлорит-полевошпатовом цементе брекчий, но и часто приурочена к краям обломочного материала гидротермальных брекчий, он слагает также прожилковидные цепочки мелких кристаллов, иногда образует обрастания интерстициальных выделений сфалерита с наружной стороны (см. рис. 2Б, б, в). Состав пирита-I отличается нестабильностью: Fe (42,85–48,27 мас.%), S (49,85–56,34 мас.%) и содержит постоянные примеси: Cu (0,34–1,8 мас.%), Pb (2,25–4,92 мас.%), в некоторых зернах встречены Zn (0,18–1,55 мас.%), As (0,61–0,69 мас.%), единственное зерно содержит Au (3,27 мас.%) и Ag (1,05 мас.%) (см. табл. 2). **Пирит-III** отмечается в сфероиде, образовавшихся при взрывных процессах в трубчатом теле взрывной брекчии. Чаще всего сфероиды развиты в халькопирите, и пирит-III слагает в них концентрические агрегаты мелких кристаллов кубического габитуса размером до 0,1 мм.

Нами встречен также *фрамбоидальный пирит*, локализующийся на стенках рудовмещающих полостей. Размеры выделений не более 0,05 мм. Предположительно, механизм этих об-

разований связан с попаданием железобактерий с вадозными водами и последующим преобразованием их в пирит при проникновении серосодержащих флюидов. Мы не относим этот пирит ни к одной из генераций, т. к. он не образует сростаний с другими рудными минералами.

Сфалерит – представлен двумя генерациями. **Сфалерит-I** – темный, со слабыми внутренними рефлексами, насыщен эмульсионной вкрапленностью халькопирита. Выполняет интерстиции в кварце, размером 0,3–1,5 мм, часто содержит включения галенита и самородного золота. В зоне окисления окружен каймами халькозина. Сла-

бо катаклазирован, обломки смещены. В составе сфалерита установлены примеси: Fe – 0,39–3,94 и Cd – 0,00–1,1 мас.%, высокосернистый. **Сфалерит-II** светлее сфалерита-I, с белыми внутренними рефлексами. Выделения идиоморфные (кубооктаэдрического габитуса) и ксеноморфные размером до 0,5 мм. Характеризуется отсутствием примеси Fe, стабильной примесью Cd – 0,98–1,05 мас.% (см. табл. 2).

Халькопирит – широко развит в рудах, его выделения ксеноморфны и достигают 4 мм в поперечнике. Он образует также эмульсионную вкрапленность в сфалерите-I и округлые включения в пирите-I, отлагается в интерстициях кварц-хлоритового агрегата. Сростается с галенитом, сфалеритом-I, самородным золотом и пиритом-I. В пирите развивается по трещинам катаклаза и цементирует его обломки. Содержит микровключения самородного золота. Размеры обособлений сфалерита от 0,01 до 1,4 мм. Состав отличается стехиометричностью, при небольшом дефиците Fe (см. табл. 2). Установлены пластинчатые сростания халькопирита с борнитом в виде структуры распада твердого раствора. На краях крупных зерен подобные образования частично замещены халькозином. В скважинах в интервале 34–35 м установлены единичные выделения *борнита*.

Галенит – широко развит в рудах, часто преобладает над пиритом, его количество резко увеличивается на верхних горизонтах и в поверхностных горных выработках (массивная галенитовая руда). Размеры его выделений в полисульфидных рудах 0,1–7,0 мм. Галенит сростается с халькопиритом, сфалеритом, пиритом. Образует вкрапленность в пирите, реже сфалерите. Галенит чаще других сульфидов содержит

Таблица 2. Результаты рентгеноспектрального микроанализа рудных минералов, месторождение Сентябрьское СВ
 Table 2. The results of X-ray spectral microanalysis of ore minerals, September SV site

№ п/п	Номер траншеи (TSP), скважины (SP); интервал, м	Сумма	Весовая концентрация, %				Формульный коэффициент					
			Cu	Fe	Pb	S	Cu	Fe	Zn	As	Sb	S
<i>Галенит (Pb_{1,015}Cu_{0,004}Fe_{0,003})_{1,022}S_{0,978} (n-60)*</i>												
1	TSP-12-008-9	99,79			87,18	12,61					1,030	0,970
2	TSP-12-008-4	99,73	0,55		86,45	12,73	0,021				1,010	0,960
3	SP-13-030; 52,6	99,82			87,01	12,81					1,025	0,980
4	SP-14-021; 54,9-55,0	99,92			86,86	13,06					1,014	0,990
5	SP-14-016; 106,5-106,7	100,03			87,33	12,70					1,031	0,970
6	SP-13-019; 116,1	100,23	1,29	0,77	85,40	12,77	0,048			0,033	0,976	0,940
<i>Халькопирит Cu_{0,999}Fe_{0,983}S_{2,004} (n-41)*</i>												
7		100,38	35,05	30,29								2,000
8	TSP-12-008-4	99,20	34,43	29,95								2,010
9	SP-13-002; 36,0	99,42	34,46	30,17								2,000
10		98,94	34,59	29,65								2,010
11	SP-13-030; 52,6	99,64	34,69	30,07								2,000
12	SP-12-23; 34,27-34,4	99,16	34,16	30,26								2,004
13	SP-13-019; 116,1	99,80	34,44	30,48								2,000
14	SP-14-016; 113,3-113,4	99,93	32,99	18,06	8,59	2,51	5,22	1,005	0,626	0,254	0,060	1,970
<i>Сфалерит (Zn_{0,94}Cu_{0,021}Fe_{0,027}Cd_{0,008})_{0,996}S_{1,004} (n-20)*</i>												
15		99,07	4,46	3,94	57,07							S
16	TSP-12-00650	100,62	1,75	1,83	62,79							S
17		98,52	0,72	1,18	63,46							S
18	SP-13-002; 36,0	100,38	0,75	0,72	65,03							S
19		99,93	17,23	14,4	33,66							S
20	SP-14-016; 113,3-113,4	99,46	0,00	0,47	65,06							S
21		98,95	0,00	0,00	65,43							S
22	SP-13-018; 118,6	99,56	0,00	0,42	65,40							S
<i>Пирит (Fe_{0,988}Cu_{0,007}Pb_{0,003}Zn_{0,001})_{0,999}S_{1,999} (n-41)*</i>												
23	TSP-12-006	98,58		45,55	2,34							S
24	TSP-12-008-4	100,09		46,41								S
25	TSP-12-008-8	99,65		46,53								S
26	SP-13-013; 46,0	99,24		46,23								S
27		99,84	0,37	43,92	4,60							S
28	SP 12-23; 34,27-34,40	99,34	0,53	45,22		0,66						S

Окончание таблицы 2

№ п/п	Номер траншеи (TSP), скважины (SP); интервал, м	Сумма	Весовая концентрация, %										Формульный коэффициент						
			Ag	Cu	Fe	Zn	As	Sb	S	Ag	Cu	Fe	Zn	As	Sb	S			
Тенантит-тетраэдрит $(Fe_{0,506}Zn_{1,662}Sb_{1,317}As_{2,52}S_{3,837}I_{2,676})_{(n-37)}$ *																			
29	SP-13-002; 36,0	99,94	39,41	1,38	6,82	6,01	20,64	25,68					9,993	0,398	1,681	1,290	2,730	12,900	
30	SP-13-030; 52,6	99,89	42,28	1,19	7,49	17,40	3,75	27,78					9,994	0,320	1,721	3,490	0,460	13,000	
31		99,92	42,55	1,71	7,17	16,68	4,18	27,64					10,07	0,460	1,649	3,350	0,520	13,000	
32	SP 12-23; 34,27-34,40	99,74	42,39	1,05	8,09	16,94	4,14	27,14					10,096	0,285	1,873	3,422	0,515	12,811	
33	SP-13-019; 116,1	99,75	41,61	5,84	1,71	13,27	10,24	27,08					10,04	1,603	0,401	2,720	1,290	13,000	
Серебросодержащий тенантит-тетраэдрит $(Ag_{0,189}Cu_{0,888}Fe_{0,42}Zn_{1,634}Sb_{2,054}As_{2,413}S_{1,508}I_{3,927}I_{2,973})_{(n-4)}$ *																			
34		99,55	39,86	1,36	6,92	11,30	11,97	26,79					9,808	0,381	1,655	2,360	1,540	13,100	
35		100,37	40,42	1,43	6,94	11,83	11,97	26,68					9,846	0,398	1,651	2,450	1,530	12,900	
36	TSP-12-008-4	99,84	40,20	1,36	6,81	11,66	11,94	26,50					9,895	0,381	1,629	2,430	1,530	12,900	
37		98,61	39,79	1,84	6,66	11,48	11,07	26,56					9,844	0,518	1,602	2,410	1,430	13,000	
Алтайт $(Pb_{1,071}Ag_{0,008}I_{0,79}Te_{0,92})_{(n-17)}$ *																			
38	TSP-12-008-9	100,15	Ag	Ag		Pb	Te	Te				Au	Ag	Pb	Te				
39	Поверхность – штуф	99,39	0,03	0,47	62,24	60,47	37,90	38,42				0,001	0,015	0,977	1,008				
Гессит $(Ag_{1,223}Au_{0,012}I_{1,233}Te_{0,856})_{(n-22)}$ *																			
40	TSP-12-008-9	99,70	Au	Ag	62,77	Te	36,93					Au	Ag	Te					
41	TSP-12-008-6	99,54	3,53	61,37	34,65							0,063	1,988	0,950					
42	Поверхность – штуф	99,96		62,26	37,70								1,323	0,677					
Петцит $(Au_{0,368}Ag_{1,613}Pb_{0,001}I_{2,182}Te_{0,818})_{(n-9)}$ *																			
43	Поверхность – штуф	99,12	Au	Ag	44,58	Te	27,77					Au	Ag	Te					
44		101,66	61,42	28,67	11,57							0,532	1,617	0,851					
Самородное золото (n-9)*																			
45		98,72	Au	Ag	14,79	Te						Au	Ag	Te					
46		100,30	84,80	15,51								0,757	0,243						
47	TSP-12-008-9	97,21	81,66	15,55								0,750	0,250						
48		102,95	85,55	15,78	1,63							0,742	0,258						
49	TSP-12-008-8	97,48	81,91	15,58								0,732	0,247					0,020	
50		99,81	76,87	22,94								0,742	0,258						
51	SP-14-021; 54,9-55,0	100,99	77,83	23,16								0,647	0,353						
52	SP 12-23; 34,27-34,40	101,22	75,82	25,41								0,648	0,352						
53	SP 12-23; 34,27-34,40	102,00	75,56	26,44								0,620	0,380						

Примечание. Звездочка – количество выполненных анализов. Аналитики: Субботникова Т. В., Горячева Е. М., СВКНИИ ДВО РАН.

включения самородного золота, особенно в образцах с поверхности. Галенит развивается в виде интерстициальных обособлений в кварце и текстурированных сростаний с хлоритом (рис. 2Б, а, ж, и). В отдельных зернах галенита установлена примесь Cu (0,55–1,65 мас.%) (см. табл. 2).

Самородное золото – встречается как в свободной форме в кварце, так и в сростаниях с различными минералами, кроме того, микровключения самородного золота отмечены в пирите, галените, сфалерите и халькопирите. Примерно 80% золота заключено в сульфиды – пирит и галенит. В золото-гесситовом парагенезисе самородное золото образует неупорядоченную структуру распада твердого раствора гессит + золото. Основная размерность частиц золота от 5 до 500 мкм. Относительно крупные золотины размером 0,5–2,0 мм встречаются реже. Золото по составу, в сравнении с эпitherмальными **Au-Ag месторождениями**, относительно однородно и большая его часть отвечает пробыности 830–850‰, среднее – 801,8‰ (55 анализов) (рис. 3Б). Золото относительно пониженной пробыности отмечается на глубине 50 м от поверхности и его пробыность составляет 755,6–778,3‰, средняя – 765,4‰. Понижение пробыности на верхнем горизонте можно рассматривать как элемент зональности. Золото из поверхностных горных выработок имеет пробыность 810,4–869,3‰, при средней 834,89‰, что связано с гипергенным обогащением.

Теннантит-тетраэдрит – встречается в незначительных количествах, сростается с халькопиритом, реже пиритом. Минерал слабо катклазирован. Размеры выделений 0,1–0,8 мм. В зоне окисления в незначительной степени замещается халькозином. Состав минерала характеризуется нестабильностью. По составу это As-Sb разновидность, содержащая мышьяк и сурьму примерно в равных пропорциях (см. рис. 3А). По Н. Н. Мозговой, А. И. Цепину (1983), отвечает разновидности теннантит-тетраэдрит, редко приближаясь к конечным членам ряда – теннантиту и тетраэдриту. Встречаются цинкистые и железистые разновидности – Zn до 12,62, Fe до 19,54 мас.%, а в одном из анализов установлена примесь

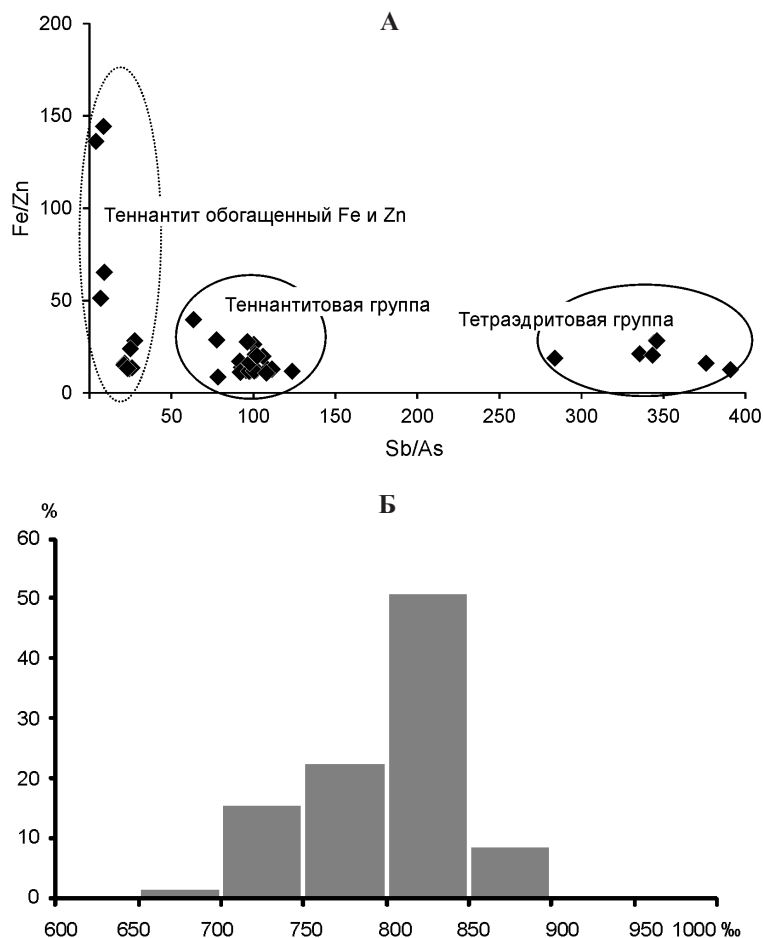


Рис. 3. Характеристики состава минералов: А – соотношение концентраций металлов Fe/Zn и Sb/As в блеклых рудах по 35 анализам (областями обозначены – слева теннантитовая группа, справа – тетраэдритовая, по вертикали обведена область железистых и цинкистых разновидностей в теннантите); Б – гистограмма пробыности самородного золота месторождения Сентябрьское СВ по 55 анализам (по оси абсцисс – интервалы пробыности, ‰, по оси ординат – частота встречаемости, %)

Fig. 3. Characteristics of mineral compositions: А – the concentration ratio of metals Fe/Zn and Sb/As in faded ores by 35 analyses (designated areas: left – tennantite group, right – tetraehdrite; vertical contour shows the area of Zn- and Fe-fahlores in tennantite); Б – histogram of native gold fineness at the September SV site by 55 analyses (horizontal axis presents the range of fineness, ‰; the vertical axis, frequency of occurrence, %)

Te 1,63 мас.%, в единичных случаях отмечается примесь Ag 1,2–1,37 мас.% (см. табл. 2). В сферических образованиях, широко развитых в халькопирите, сурьмяно-мышьяковая руда образует каймы по периферии сфер толщиной не более 50 мкм. Они хорошо видны на растровых снимках в характеристических лучах As и Sb.

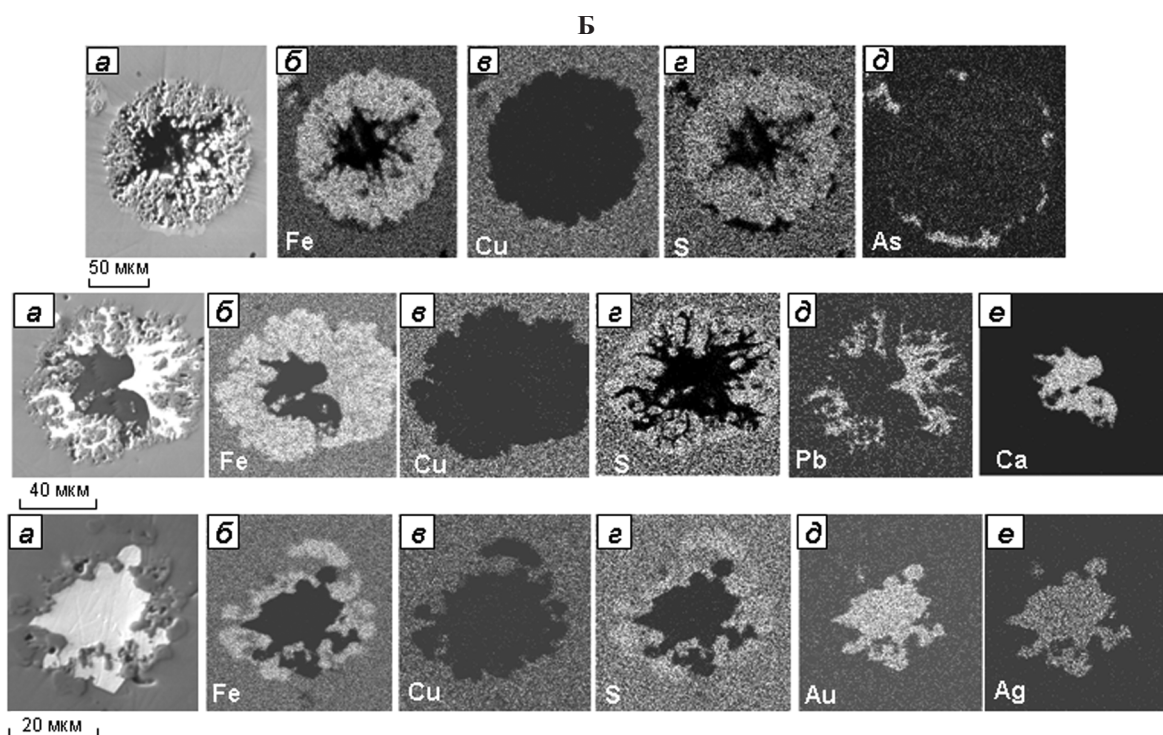
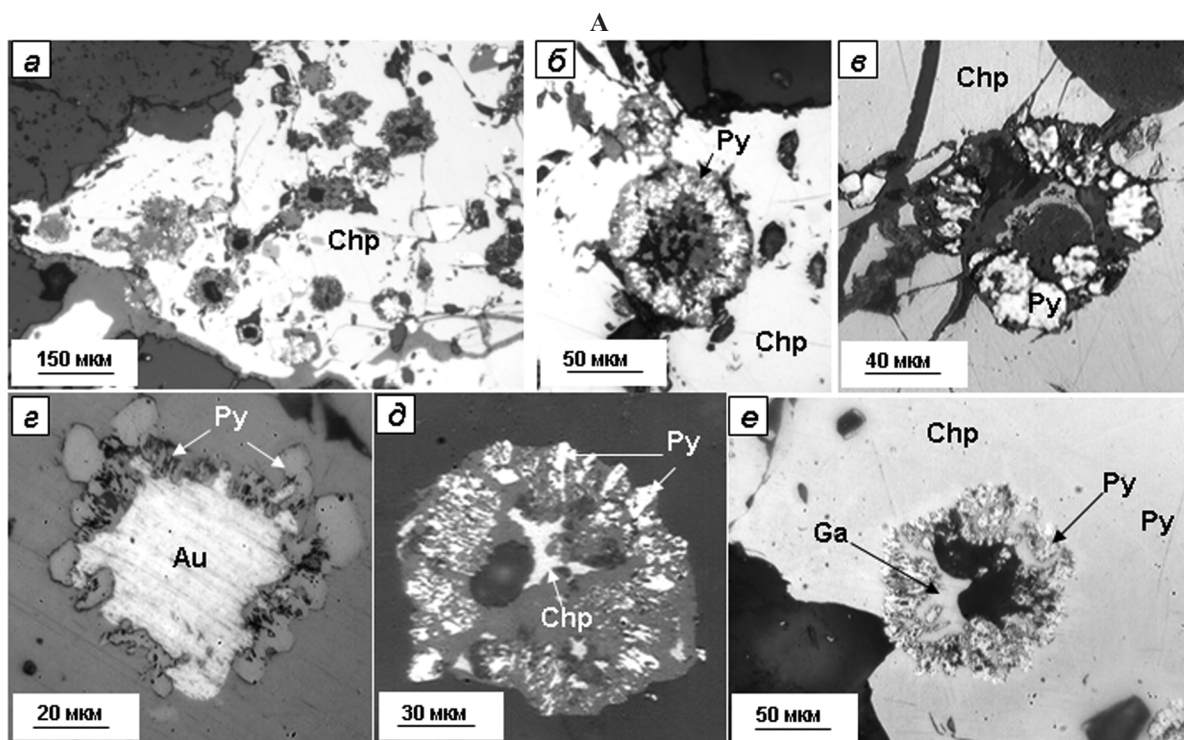
Антраколит – выявлен в образцах с поверхности. Представляет собой слабоуглефицированное органическое вещество, которое в виде остроугольных обломков отлагается в кварц-гидрослюдистом цементе. Размер обломков до 0,1 мм.

Сфероидные образования

Сфероиды широко развиты в рудах месторождения Сентябрьское СВ и чаще всего приурочены к халькопириту, но также отмечаются и непосредственно в жильном кварце (Савва и др., 2014). Они сложены агрегатом пирита, располагающимся по кругу (рис. 4А). Размеры сфероидов не превышают 100 мкм. В аншлифах и отраженных электронах видно, что они в центральной части пустотелые и, вероятно, были запол-

нены газом (см. рис. 4А, в), но впоследствии частично или полностью в этих пустотах отлагались более поздние по отношению к халькопириту рудные и жильные минералы: пирит-II → галенит, сфалерит → самородное золото → карбонат (см. рис. 4А, а-е).

Границы сфероидов в ряде случаев подчеркнуты тонкой каймой теннантита. Это связано с проникновением As-содержащих флюидов по внешней оболочке сфероидов, находящихся в матрице



халькопирита, это хорошо видно в характеристических лучах As (см. рис. 4Б, *верхний ряд*).

Золото-серебро-свинцово-теллуридная ассоциация

Установлена только в поверхностных горных выработках и по пространственно-временным отношениям отчетливо наложена на раннюю – золото-полиметаллическую. Ассоциация представлена гесситом, алтаитом, петцитом, самородным серебром, самородным золотом, акантитом. Наиболее распространены гессит и алтаит.

Гессит – отлагается в интерстициях гребенчатого кварца-III и образует включения в халькопирите. Срастается с алтаитом, петцитом, самородным золотом и минералами золото-полисульфидной ассоциации. Для него характерны наличие сетчатого агрегата самородного золота (неупорядоченная структура распада твердого раствора), а также сингенетические включения алтаита и петцита. Размер от 0,05 до 1,5 мм. Важным наблюдением являются его пространственно-временные отношения с сульфидами раннего золото-полисульфидного минерального парагенезиса. Отмечено, что теллуридный парагенезис отлагается в трещинах катаклаза пирита-II и халькопирита, а также слабо корродирует поверхность кристаллов пирита-I (см. рис. 2Б, *z-e*). Характеризуется нестабильностью состава и содержит примеси Au – 3,53–11,1 и Pb – 0,01–0,1 мас.% (см. табл. 2).

Алтаит – образует интерстициальные включения в кварце. Установлены его сростания с гесситом, петцитом, самородным золотом, галенитом, сфалеритом, пиритом и халькопиритом. Размеры выделений от 0,03 до 0,85 мм. По составу характеризуется дефицитом Te и избытком Pb, содержит примесь Ag – 0,06–1,06 мас.% (см. табл. 2).

Петцит – отмечается в виде мелких включений в алтаите, реже срастается с гесситом и самородным золотом. В гессите отлагается вдоль двойниковых швов. Размер включений от 0,015 до 0,15 мм. По составу отличается от стехиометричного избытком Ag и Au при дефиците Te (см. табл. 2), в нескольких зернах встречена примесь Pb 0,12–0,24 мас.%.

Акантит – образует редкие выделения в виде кайм толщиной до 0,002 мм, окружающих выделения галенита.

Самородное серебро – слагает гипергенные каймы на выделениях галенита наряду с англезитом. Толщина их не более 0,02 мм.

Самородное золото – в этой ассоциации присутствует только в гессите, образуя сеть тонких прожилков неупорядоченной структуры распада твердого раствора. Пробность этого золота по данным зондового анализа 860–870‰.

Схема последовательного поэтапного формирования руд может быть такой (табл. 3).

Вулканогенный этап

I стадия (первый продуктивный парагенезис) – характеризуется ритмично-полосчатым отложением кварц + калишпат → хлорит → серицит → пирит-I → (катаклаз) → сфалерит-I + халькопирит + галенит → сфалерит-II → самородное золото.

II стадия – незначительный катаклаз и формирование тонких прожилков: пирит-II → сфалерит-II → кварц + арсенопирит.

Плутоногенный этап

III стадия (второй продуктивный парагенезис) – катаклаз и формирование сети золото-кварц-теллуридных жил и прожилков гессит + золото-II (как продукт распада гессита) → галенит-II + акантит → алтаит.

Гипергенный этап: лимонит + халькозин + ярозит + церуссит.



Рис. 4. Сфероидные образования в рудах месторождения Сентябрьское СВ: А – вид в отраженном свете оптического микроскопа; Б – состав сфероидных образований по результатам изучения на микроанализаторе Camebax с приставкой INCA, Oxford instrument (оператор Е. М. Горячева, СВКНИИ ДВО РАН): *верхний ряд*: а – вид в отраженных электронах, б-д – в характеристическом рентгеновском излучении; *средний ряд* – сфероиды с наложенной пирит-галенит-карбонатной минерализацией: а – вид в отраженных электронах, б-е – в характеристическом рентгеновском излучении; *нижний ряд* – сфероиды с наложенной пиритовой и золотой минерализацией: а – вид в отраженных электронах, б-е – в характеристическом рентгеновском излучении

Fig. 4. Spheroid formations in September SV ores: А – Spheroid type in the reflected light of an optical microscope: а – numerous pyrite spheroids in chalcopyrite; б – spheroids composed of pyrite and filled with carbonate in the center; в – hydroxide shell of a primary gas bubble inside a spheroid; г – filling the central part of a pyrite spheroid with native gold (z), chalcopyrite (d), galena and carbonate (e) in a chalcopyrite matrix; Б – distribution of elements in spheroid formations by the results of the study on the Camebax microanalyzer with an INCA, Oxford instrument (operator E. M. Goryacheva, NEISRI FEB RAS): *top row*: а – pyrite spheroid viewed in reflected electrons, б-д – in the characteristic X-rays, on the edge, faded ore fringe in the As rays; *middle row* – spheroid overlaid with galena-carbonate mineralization: а – viewed in reflected electrons, б-е – in the characteristic X-rays; *bottom row*: а – spheroid with superimposed gold mineralization: а – viewed in reflected electrons, б-е – in the characteristic X-ray

Таблица 3. Последовательность минералообразования руд месторождения Сентябрьское СВ
Table. 3. Succession of mineral formation in September SV ores

→ Время

Минерал	Этап			
	вулканогенный		плутоногенный (?)	гипергенный
	I	II		
Кварц	██████████	██████████	██████████	
Калишпат	██████████			
Альбит	██████████			
Хлорит	██████████			
Серицит	██████████			
Карбонат	██████████			
Антраксолит	-----			
Арсенопирит		—————		
Пирротин	—————			
Марказит	—————			
Пирит	██████████	██████████		
Галенит		████████████████████		
Сфалерит		-----	—————	
Халькопирит		██████████		
Блеклые руды		—————		
Борнит	—————			
Гессит			██████████	
Алтаит			██████████	
Пеццит			—————	
Акантит			—————	-----
Самородное Au	██████████		██████████	
Au-Ag интерметаллиды		██████████	██████████	
Лимонит				██████████
Халькозин				██████████
Ярозит				██████████
Церуссит				██████████

Примечание. Толщина линий указывает на относительную степень распространенности минерала.

ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОРУДЕНЕНИЯ

В целях выявления условий образования экзогенных для Северо-Востока России рудных тел месторождения Сентябрьское СВ были отобраны 8 образцов с разных горизонтов, имеющих по данным пробирного анализа различные содержания Au. Методами термобарогеохимии в этих образцах изучено 70 индивидуальных ФВ, результаты их исследований приведены в табл. 4.

ФВ распределены в кварце неравномерно,обладают преимущественно округлыми, реже

изометричными и неравновесными формами. Размер включений от 2 до 40 мкм (преобладают от 5 до 15 мкм). При визуальном изучении ФВ в кварце в условиях комнатной температуры по фазовому составу установлены три вида сингенетичных ФВ: двухфазовые газожидкие (L-тип); газовые, заполненные паром (V-тип); трехфазовые газожидкие, содержащие дочерние фазы, представленные неидентифицированным прозрачным минералом (LK-тип). Наиболее распространены ФВ первого типа.

В температурном диапазоне от 308 до 127°C (здесь и далее без поправки на давление) ФВ го-

могенизируются, при среднем показателе 224°C. Распределение температур гомогенизации включений имеет бимодальный характер, причем наибольшее количество случаев их гомогенизации происходит в двух температурных интервалах – 160–180 и 240–260°C.

Измерение $T_{эвт.}$ во ФВ в кварце с разных горизонтов позволило установить в них разный состав водных растворов. Так, на горизонтах 825 и 900 м в растворах преобладают хлориды магния ($T_{эвт.} = -30^\circ\text{C}$), на горизонтах 875–910 м – хлориды натрия и калия ($T_{эвт.} = -26 \dots -20^\circ\text{C}$) (см. табл. 4). Различие в составе водных растворов, вероятно, обусловлено составом вадозных вод, участвующих в рудообразовании, и во многом зависит от состава пород, через которые они проникали.

Концентрации растворов, оцененные по температурам плавления последнего кристаллика льда ($T_{пл. льда}$), весьма неравномерны – 7,4 до 0,0 мас. %-экв. NaCl. Плотность растворов от 0,6 до 0,96 г/см³ (см. табл. 4; рис. 5).

По результатам КР-спектроскопии газовая фаза ФВ представлена смесью малоплотной

(плотность менее 0,2 г/см³) углекислоты – 97,7, азота – 1,5 и метана – 0,8 моль%. Дочерние фазы представлены минералами из группы галогенов (не имеют рамановского спектра) и сфеном (пики – 238, 609, 872 см⁻¹). Наличие последнего во ФВ предположительно является свидетельством захвата пыли, образовавшейся при взрыве.

Рассчитанные давления, существовавшие при рудообразовании, не превышали 100 бар, что позволяет отнести рудообразующую систему месторождения Сентябрьское СВ к классу открытых (Прокофьев, 2000). Руды таких систем образуются в открытых трещинах, где общее давление в системе определяется давлением паров воды, а рудообразование происходит на фоне кипения и смешивания минерализованных гидротерм с вадозными водами.

Анализ полученных физико-химических параметров позволяет смоделировать протекание рудообразующего процесса. Сопоставление температур гомогенизации ФВ с концентрациями растворов и плотностью флюида выявило наличие четырех групп ФВ, имеющих сравнительно

Таблица 4. Результаты микротермометрических исследований ФВ в кварце рудного тела месторождения Сентябрьское СВ

Table 4. Results of microthermometric studies of fluid inclusions in the quartz of the September SV ore body

№ образца, горизонт, м	Видимая фаза	$T_{гом.}, ^\circ\text{C}$	$T_{эвт.}, ^\circ\text{C}$	$T_{пл. льда}, ^\circ\text{C}$	С мас. %-экв. NaCl	d, г/см ³	Au*, г/т
SP-013-013, 900	L	228...213	-24	-1,1...-0,1	1,9...0,2	0,83...0,86	0,3
		235...233	-24	-0,7	1,2	0,83	
		257...240	-30,2...-20	-0,4...-0,2	0,7...0,4	0,78...0,8	
		296...267	н	0,0	0,0	0,69...0,76	
SP-013-030, 900	L	177...137	-30	-2,6...-0,6	4,3...1,1	0,92...0,96	186,4
		253	н	-3,5	5,7	0,85	
SP-013-002, 910	L	235...127	-24	-0,7...0,0	1,2...0,0	0,83...0,94	12,9
		247...240	-28...-23	-4,7...-2,6	7,4...4,3	0,87...0,84	
		258...256	-28...-26	-2,6	4,3	0,83	
		277...269	-26...-22	-1,6...0,0	2,7...0,0	0,74...0,79	
SP-013-003, 912	L	171...146	-25...-20	-0,6...0,0	1,1...0,0	0,9	0,8
SP-013-044, 925	L	165	н	-0,1	0,2	0,91	19,0
		273...246	н	-0,1...0,0	0,2...0,0	0,75...0,79	
SP-013-019, 940	L	240...167	-28...-24	-2,0...-0,4	3,4...0,7	0,82...0,92	66,3
		264...243	-28...-24	-2,7...-0,4	4,5...0,5	0,81...0,78	
SP-013-018, 875	L	145	-23	+3,2	н	0,93	10,9
	LK	179	н	1,8	3,1	0,91	
	L	219...180	-23...-21	-0,9...-0,5	1,6...0,9	0,85...0,89	
		267	н	-1,8	3,1	0,79	
SP-013-024, 825	L	143	-28	+6,2	н	0,93	88,1
		266...252	-30	-1,0...-0,1	1,7...0,2	0,78...0,8	
		308	-30	-3,8	6,2	0,77	

Примечание. Каждая строчка характеризует группу включений (не менее трех) с близкими РТХ-параметрами; L – двухфазовые газовой-жидкие флюидные включения; LK – трехфазовые газовой-жидкие флюидные включения с дочерней фазой; н – соответствующий фазовый переход отсутствует или неясно выражен; звездочка – по данным пробирного анализа лабораторией рудника Купол.

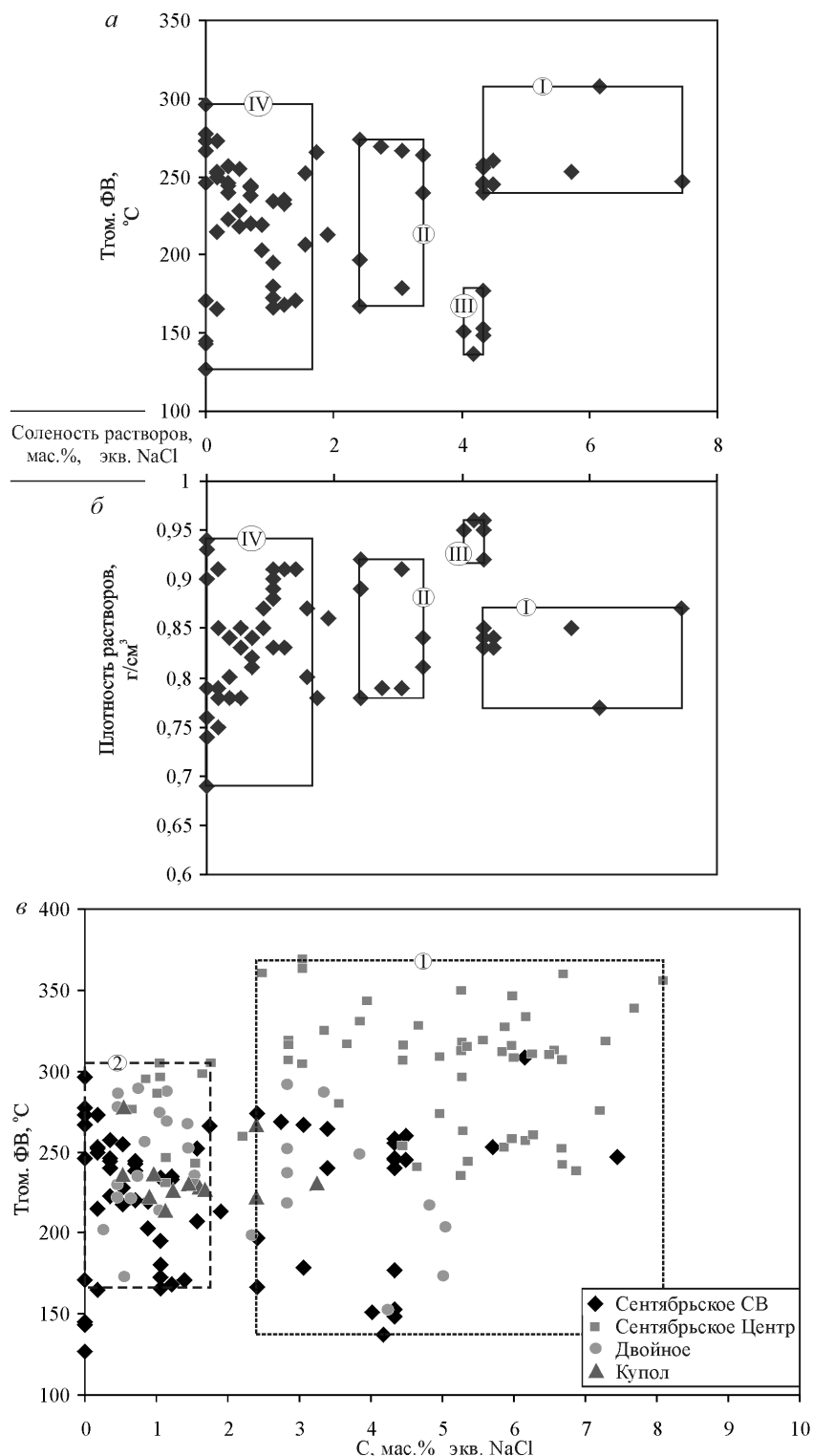


Рис. 5. Диаграммы зависимостей: *a* – температура гомогенизации – соленость растворов; *b* – плотность растворов – соленость растворов, по данным крио- и термометрического анализа ФВ в кварце рудных тел месторождения Сентябрьское СВ (на диаграммах римскими цифрами обозначены группы включений со схожими параметрами); *v* – температура гомогенизации – концентрация раствора для рудообразующего флюида рудопроявления Сентябрьское Центр, месторождений Сентябрьское СВ, Двойное, Купол (2–4-й объекты – по данным: Николаев и др., 2013; Прокофьев и др., 2012)

Fig. 5. Dependence diagrams: *a* – homogenization temperature– solution salinity; *b* – solution density– solution salinity, by the cryo thermometric FI analysis in quartz ore bodies at the September SV site (Roman numerals mark group inclusions with similar parameters); *v* – homogenization temperature – concentration of the solution for the ore-forming fluid at the September SV, September Center Dvoynoye, Kupol (objects 2–4 after Николаев и др., 2013; Прокофьев и др., 2012)

одинаковые параметры (см. рис. 5,а, б), а выделенные группы четко объединяются в две ассоциации, отличающиеся друг от друга (см. рис. 5,а, б; 6), которые, возможно, фиксируют два гидродинамических режима рудообразования. Первая ассоциация (I–III группы) объединяет ФВ, захваченные в температурном интервале от 308 до 137°C, заключающие в себе растворы средней концентрации (от 7,4 до 2,4 мас. %-экв. NaCl) и плотности (0,77–0,96 г/см³). В этот период происходили процессы разбавления (свидетельством чего является резкое снижение температур на 30–60°C (интервалы 308–274 и 240–179°C) и концентраций растворов на 4–2 порядка) и прогрессивного кипения флюида (интервал 250–240°C), за счет потери газовой составляющей при кипении резко увеличилась концентрация (до 7,4 мас. %-экв. NaCl) и плотность растворов (до 0,84 г/см³). С 240°C система активно остывала, соленость стабилизировалась и держалась на уровне 4, редко снижаясь до 2 мас. %-экв. NaCl, флюид устойчиво переходил в жидкое состояние и его плотность в конце достигла 0,96 г/см³.

Вторая ассоциация (IV группа) охватывает ФВ, захваченные при температурах 296–127°C, заключающие в себе растворы стабильно очень низкой концентрации, в среднем 0,6 мас. %-экв. NaCl, и изначально низкой плотности – 0,69 г/см³ (по мере остывания флюида она увеличилась до 0,94 г/см³). В этот период на фоне инверсии температур происходили незначительные эпизоды вскипания флюида, на что указывают периодические увеличения солености растворов до 1,6 мас. %-экв. NaCl.

Данные, полученные по месторождению Сентябрьское СВ, и аналогичные материалы по другим месторождениям Чукотки (Николаев и др., 2013; Прокофьев и др., 2012) (см. рис. 5,б) говорят о том, что динамика изменений физико-химических параметров рудообразования объектов в целом близка. Диаграмма соотношений «температура гомогенизации ФВ – концентрация заключенных в них растворов» (см. рис. 5,б) наглядно иллюстрирует, что ФВ из руд всех сравниваемых месторождений образуют две группы, которые можно соотнести с двумя гидродинамическими режимами рудообразования (возможно, и типами гидротермального флюида), отличающимися в первую очередь концентрациями и плотностями растворов. ФВ первой группы захвачены при температурах 360–137°C, содержат растворы соленостью преимущественно 5,5–2,5 мас. %-экв. NaCl, начальная плотность которых 0,75–0,78 г/см³. В этой группе выделяется подгруппа ФВ, гомогенизирующихся при температурах 360–250°C и содержащих растворы концентрацией 5,5–8 мас. %-экв. NaCl. Эти ФВ фиксируют как параметры начала процессов ру-

дообразования, так и процессы прогрессивного кипения. Для данной группы характерна обратная пропорциональная зависимость концентрации от температуры, что типично для мезоэпитептермальных и вулканогенных месторождений (Прокофьев, 2000). ФВ второй группы, захваченные в температурном диапазоне 300–150°C, заключают в себе растворы очень низкой концентрации – 1,6–0,0 мас. %-экв. NaCl с низкой начальной плотностью 0,65–0,69 г/см³ (по сути, это водяной пар). Эта группа включений характеризуется прямой пропорциональной зависимостью концентраций от температур, что наблюдается как для современных геотермальных, так и для палеогидротермальных месторождений. Наличие во ФВ второй группы ⁻²SO₄ и его отсутствие во ФВ первой группы также свидетельствуют об участии в рудообразовании фуморол и сольфатар (Николаев и др., 2013; Прокофьев и др., 2012; Савва и др., 2012).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Всестороннее изучение оруденения в телах флюидно-взрывчатых брекчий позволяет говорить о том, что их образование сопровождалось взрывными явлениями с дегазацией андезитового магматического расплава, а гидротермальная деятельность – вскипанием растворов с участием газо-паровой фазы.

Проведенные крио- и термометрические исследования ФВ в кварце, отобранном с разных горизонтов рудных тел месторождения Сентябрьское СВ, позволили выявить, что процесс рудообразования проходил в открытой системе при двух гидродинамических режимах (рис. 6), соответствующих мезоэпитептермальному и геотермальному типам, на фоне неоднократных эпизодов разбавления минерализованных гидротерм вадозными водами (состав которых повлиял на составы флюидов) и прогрессивного кипения, что приводило к резким изменениям физико-химических параметров (концентрация и плотность растворов, температура, давление). Подобные ситуации, по данным зарубежных ученых (Brown, 1978; Brown, 1989b; Drummond, Ohmoto, 1985; Hedenquist, Henley, 1985; André-Mayer et al., 2002), являются наиболее эффективными процессами, приводящими к отложению минералов и осаждению Au и Ag, что подтвердилось и нашими исследованиями. На рис. 6,г видно, что наивысшие значения содержания Au в образцах характерны для периодов резких изменений какого-нибудь из параметров или их совокупности.

Построенная нами модель морфологии рудного тела, где рудная минерализация отлагается в трещинах и пустотах между обломками брекчии, согласуется с одной из моделей, рассматривае-

мой С. Г. Тамас, Дж. П. Милези (Tamas, Mileši, 2002), названной «**open space breccians**». Взрывной характер формирования таких рудных тел подтверждается не только разнообразием состава и размеров обломков, но и наличием тонкой трещиноватости в наиболее хрупком обломочном материале брекчии (см. рис. 2А, а), которая хорошо видна в прозрачных шлифах, а также присутствием в рудах большого количества сфероидных образований (см. рис. 4А, а), приуроченных в основном к халькопириту (Савва и др., 2014).

Сфероиды, по мнению Е. И. Сандимировой (2008), формируются во флюидных и флюидно-магматических системах в результате быстро протекающих газотранспортных реакций. Сохранившиеся газовые камеры внутри изученных сфероидов на месторождении Сентябрьское СВ (см. рис. 4А, в) свидетельствуют о первичном газоконденсатном механизме их образования в условиях повышенного флюидного давления. Пузырьки газа сферической формы создавали сеть пустот, заполненных в дальнейшем гидротермальными растворами, из которых впоследствии отлагались сульфиды Fe, Pb, Zn, самородное Au и карбонат (см. рис. 4А, з–е). Можно говорить о том, что подобные сфероидные образования служат индикаторами приуроченности оруденения к телам флюидно-эксплозивных брекчий. Так, Ю. К. Воробьев (1990), описывая подобные сфероиды в эксплозивных брекчиях на месторождении Дарасун в Восточном Забайкалье, объяснял их происхождение эффектом Френкеля – сульфуризацией халькопирита по тонким трещинам. Данные исследований флюидных включений подтвердили транспортировку вещества на этапе существенно газовой составляющей.

В 3,5 км к юго-западу от месторождения Сентябрьское СВ находится золото-теллуридное рудопоявление Сентябрьское Центр (см. рис. 1А), подробно охарактеризованное в статье Ю. Н. Николаева с соавторами (2013), но на Сентябрьском СВ на всю разведанную глубину выявлено только золото-полисульфидное (золото-полиметаллическое) оруденение, а золото-теллуридное встречено только в поверхностных горных выработках (траншея ТСП-13-03, интервал 5,7 м) и в делювии, и, как показали исследования, золото-серебро-свинцово-теллуридная ассоциация более поздняя по отношению к золото-полисульфидной.

Изучение пространственно-временных отношений минералов и минеральных парагенезисов позволило нам выделить две стадии золото-полисульфидной минерализации, которые зафиксированы также по температурному режиму минералообразования, и к отдельному этапу отнести серебро-свинец-теллуридную минерализацию.

Поведение химических элементов не выявило четкой зональности в их распределении по вертикали (табл. 5). К верхнему горизонту трубообразного тела брекчий тяготеют Ag, Pb, Zn, Cu, что, возможно, связано с разуплотнением брекчии на верхних горизонтах, увеличением цементирующего материала и вторичным сульфидным обогащением. Как и в большинстве рудоносных брекчий трубчатых эксплозивных тел, отмечаются повышенные концентрации Cd, Ba и Sr (см. табл. 5). Важно отметить также отсутствие Bi и теллуридов Bi, которые нередко сопутствуют рудообразующим системам, связанным с гранитоидами.

Среди метасоматических новообразований, наряду с хлорит-серицитовыми, отмечаются альбитизация и калишпатизация. Это отразилось и в составе флюидов. Измерение $T_{эвт. ФВ}$ показало, что растворы, заключенные во ФВ в кварце с разных горизонтов, различаются по составу – на горизонтах 825 и 900 м в растворах преобладают хлориды Mg ($T_{эвт.} = -30^{\circ}\text{C}$), на горизонтах 875–910 м – хлориды Na и K ($T_{эвт.} = -26...-20^{\circ}\text{C}$) (см. табл. 4). Различия предположительно обусловлены геохимической спецификой вадозных вод, участвующих в рудообразовании и зависящих как от состава пород, через которые они проникали, так и от изначальной минерализации поверхностных вод. То, что такие воды существовали, не оставляет сомнений, так как над телом взрывной брекчии всегда образуется кальдера, которая впоследствии может быть захоронена более поздними вулканическими образованиями, либо осадочными отложениями. Это наглядно показали в своей работе С. Тамас и Дж. Милези (Tamas, Mileši, 2002).

Сравнительный анализ термобарометрических данных, полученных по месторождению Сентябрьское СВ, с аналогичными данными по другим месторождениям Чукотки (Комарова и др., 2012; Николаев и др., 2013; Прокофьев и др., 2012) (см. рис. 5) показал, что руды сравниваемых объектов формировались на фоне двух гидродинамических режимов рудообразования – мезоэпитермального и геотермального, что характеризует Центрально-Чукотскую зону Охотско-Чукотского вулканогенного пояса как территорию с длительной историей развития интенсивного палеовулканизма, при этом месторождения образовались в последнюю стадию развития пояса, для которой характерны миграция вулканизма к осевым зонам поясов, широкое развитие в них кальдерообразования и концентрация вулканической активности на отдельных участках (Лаверов и др., 2005).

Полученные нами новые факты по золото-полиметаллическому оруденению месторождения Сентябрьское СВ подтвердили ранее высказанные

занные предположения (Николаев и др., 2013) о принадлежности рассматриваемых объектов к порфирово-эпитермальной системе, связанной с щелочным магматизмом калиевой специализации. Месторождения Сентябрьское СВ и Двойное можно считать классическими элементами зональности в направлении на юго-восток от центра: сначала Au-Pb-Zn (Сентябрьское СВ), а на большем удалении Au-Ag (Двойное). В минералого-геохимическом плане эти объекты сближают наличие гессита в рудах, низкая серебримость блеклых руд (преимущественно теннантит-тетраэдрит), отсутствие арсениопирита и Sb-As-серебряных сульфосолей в рудах, близкий температурный режим рудообразования. Не исключено, что золото-серебро-свинцово-теллуридная минерализация участка «Сентябрьский Центр» является вершиной (не срезанной частью) оруденения золото-полисульфидного типа (его поздней стадией) по аналогии со слабо вскрытой золото-гесситовой минерализацией Агинского месторождения на Камчатке (Округин и др., 2014). Так, подобно Агинскому оно отличается большим количеством теллуридов золота и серебра, а также широким спектром гипергенных минералов, установленных Ю. Н. Николаевым с соавторами (2013). В таком случае можно предполагать на участке «Сентябрьское Центр» наличие перспективных на золотое оруденение и не выходящих на дневную поверхность трубчатых взрывчатых тел, подобных глубоко эродированным телам месторождения Сентябрьское СВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили сделать ряд выводов об условиях формирования золото-полисульфидного оруде-

Таблица 5. Концентрации элементов в рудных пробах месторождения Сентябрьское СВ по результатам анализа ISP-MS, г/т

Table 5. Element concentrations in ore samples from September SV by the ISP MS analysis, g/t

Оксиды и металлы	Номер образца; горизонт, м					
	Штольня 1, 950 м	SP-13-030; 898	SP-12-23; 867	SP-13-019; 849	SP-13-024; 754	SP-13-047; 700
Li	58	49	58	64	39	83
Be	0,3	0,47	0,32	0,17	1,5	0,75
P	< ПО	< ПО	2036	< ПО	< ПО	< ПО
Sc	3,7	17	9,1	7,6	12	6,6
Ti	5,4	4036	1327	97	2324	377
V	98	83	41	27	68	74
Cr	31	60	26	39	36	24
Mn	1036	1036	811	591	349	604
Co	10	15	11	2,6	6,8	5,4
Ni	< ПО	12	2,2	< ПО	7,3	< ПО
Zn	52866	1784	14671	7485	7077	16259
Ga	11	82	14	6,2	31	16
As	18	133	99	15	34	130
Se	8,5	1,4	8,3	4,2	4,8	11
Rb	8	371	56	4,7	87	33
Sr	58	424	86	24	57	41
Y	0,81	13	4,4	4,7	8,8	4,5
Zr	0,75	147	57	4,8	111	15
Nb	0,031	8,6	2,6	0,16	4,9	0,63
Mo	12	5,7	0,026	0,048	1	< ПО
Ag	154	12	16	16	16	35
Cd	6,31	25	264	116	114	188
In	0,15	1,1	1,3	1,5	0,75	0,43
Sn	0,21	6,9	0,24	0,36	0,51	0,15
Sb	76	7,4	4,1	5,5	6	48
Te	6,1	4,4	5	1,3	2,4	4,5
Cs	3,6	16	9,7	1,9	24	23
Ba	19	1705	160	44	484	117
La	0,41	23	2,9	2,9	11	5,1
Ce	0,73	46	6,8	5,9	18	11
Pr	0,1	5,4	0,9	0,76	3	5,4
Nd	0,38	21	3,8	2,8	12	21
Sm	0,085	3,6	0,79	0,51	2,2	3,6
Eu	0,061	1,1	0,28	0,23	0,56	1,1
Gd	0,077	3	0,76	0,54	1,8	3
Tb	0,017	0,46	0,12	0,1	0,29	0,46
Dp	0,11	2,5	0,74	0,67	1,6	2,5
Ho	0,28	0,52	0,15	0,14	0,33	0,52
Er	0,053	1,5	0,45	0,42	0,95	1,5
Tm	0,009	0,22	0,062	0,068	0,15	0,048
Vb	0,03	1,7	0,43	0,42	0,92	0,28
Lu	0,008	0,24	0,066	0,059	0,14	0,045
Hf	0,002	4,4	1,4	0,15	2,9	0,44
Ta	< ПО	0,64	0,21	0,017	0,37	0,66
W	< ПО	6,5	0,37	0,13	2,4	0,72
Tl	0,13	3,4	0,73	0,05	1,5	0,29
Pb	124941	955	7636	3791	3472	10664
Bi	0,13	0,14	0,08	< ПО	< ПО	0,11
Th	0,06	14	2,7	0,4	6,5	0,12
U	0,088	3,1	1,2	0,15	1,3	0,29
Au	113	497,42	16,22	114,74	116,94	30,44
Cu	7290	450	1390	920	1480	1050

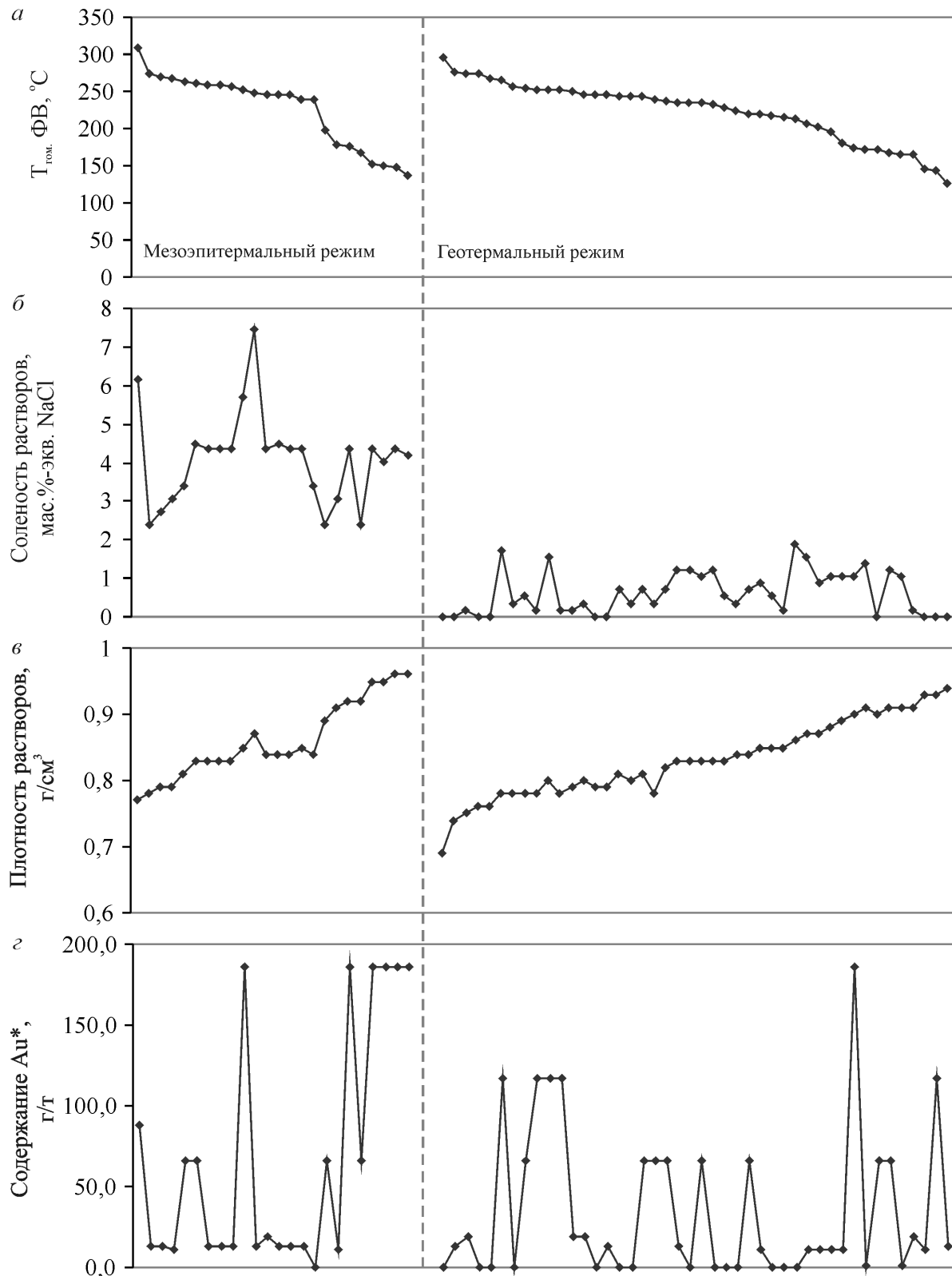


Рис. 6. Изменение физико-химических параметров в ходе формирования руд месторождения Сентябрьское СВ: а – температура минералообразования по температуре гомогенизации ФВ; б – соленость растворов, заключенных во ФВ; в – плотность растворов; г – содержание золота в образце, из которого изготавливалась пластинка для изучения ФВ (звездочка – по данным пробирного анализа лаборатории рудника Купол)

Fig. 6. Change in the physical and chemical parameters during ore formation at September SV: а – mineral formation temperature by the FI homogenization temperature; б – salinity of the solutions embraced in FI; в – density of the solutions; г – gold grade in the sample from which the plate was made for the FI study (* – by the data from the Kupol Mine assay lab)

нения в трубчатых телах взрывчатых брекчий месторождения Сентябрьское СВ. Пржилковидные и гнездовые руды обтекают кластогенный материал взрывчатой брекчии, заполняя пустоты между обломками различных пород. Индикаторами взрывчатых процессов служат многочисленные сфероидные образования в рудах, преимущественно в халькопирите.

Оруденение формировалось в открытой системе на фоне существования двух гидродинамических режимов – мезоэпитермального и геотермального (фумаролы, сольфатары), сопровождаемых взрывными явлениями, смешиванием глубинного флюида с поверхностными водами, вскипанием и дегазацией растворов.

Руды по составу низкосеребристые – Au:Ag – 2:1–10:1, обедненные As и Sb, формировались в два этапа. Ранний – широко проявленный – золото-полиметаллический и поздний – золото-серебро-свинцово-теллуридный, установленный только в поверхностных горных выработках. Отсутствует вертикальная зональность в распределении элементов по данным ICP-MS анализа.

Авторы благодарят Е. М. Горячеву и Т. В. Субботникову за большой объем аналитических исследований.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 14-17-00170 и грантов ДВО № 15-1-2-038 и 15-1-2-073.

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамов Б. Н. Условия образования, петрохимические и геохимические особенности пород и руд Дельмачинского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье) // Литосфера. – 2014. – № 3. – С. 93–101.
- Борисенко А. С. Изучение солевого состава газожидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. – 1977. – № 8. – С. 16–27.
- Воробьев Ю. К. Закономерности роста и эволюции кристаллов минералов. – М.: Наука, 1990. – 184 с.
- Ермаков Н. П., Долгов Ю. А. Термобарогеохимия. – М.: Недра, 1979. – 271 с.
- Калужный В. А. Основы учения о минералообразующих флюидах. – Киев: Наук. думка, 1982. – 240 с.
- Кириллов В. Е. Золотоносность острова Уруп Большекурильской островной дуги // Регион. проблемы. – 2008. – № 9. – С. 50–55.
- Комарова Я. С., Власов Е. А., Аплеталин А. В. Минералогия Au-Ag-Te рудопоявления Сентябрьское // Минералогия во всем пространстве сего слова: материалы Годичного собрания Рос. минерал. о-ва и Федоровской сессии. – СПб.: ЛЕМА, 2012. – С. 134–135. – [Электрон. дан.]. – <http://www.minsoc.ru/FilesBase/2012-1-47-0>
- Константинов М. М. Золоторудные столбы. – Краснодар: Кубан. гос. ун-т, 2015. – 104 с.
- Копылов М. И., Плотницкий Ю. Е., Родионов С. М., Романовский Н. П. Хингано-Олонойский оловорудный район: геолого-геофизические характеристики, рудоносность, проблемы развития сырьевой базы. – Хабаровск: ДВО РАН, 2004. – 252 с.
- Лаверов Н. П., Добрецов Н. Л., Богатилов О. А. и др. Новейший и современный вулканизм на территории России. – М.: Наука, 2005. – 606 с.
- Мельников Ф. П., Прокофьев В. Ю., Шатагин Н. Н. Термобарогеохимия. – М.: Академ. проект, 2008. – 222 с.
- Мозгова Н. Н., Цепин А. И. Блеклые руды (особенности химического состава и свойств). – М.: Наука, 1983. – 280 с.
- Николаев Ю. Н., Прокофьев В. Ю., Аплеталин А. В. и др. Золото-теллуридная минерализация Западной Чукотки: минералогия, геохимия и условия образования // Геология рудн. месторожд. – 2013. – Т. 55, № 2. – С. 114–144.
- Округин В. М., Андреева Е. Д., Яблокова Д. А. и др. Новые данные о рудах Агинского золото-теллуридного месторождения (Центральная Камчатка) // Вулканизм и связанные с ним процессы: материалы регион. науч. конф., посвящ. Дню вулканолога. – Петропавловск-Камчатский, 2014. – С. 27–28.
- Прокофьев В. Ю., Волков А. В., Сидоров А. А. и др. Геохимические особенности рудообразующего флюида Au-Ag-эпитермального месторождения Купол // ДАН. – 2012. – Т. 447, № 4. – С. 1–4.
- Прокофьев В. Ю. Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов. – Новосибирск: Наука, 2000. – 192 с.
- Прокофьев В. Ю., Бортников Н. С., Коваленкер В. А. и др. Золоторудное месторождение Дарасун (Восточное Забайкалье, Россия): химический состав, распределение редких земель, изучение стабильных изотопов углерода и кислорода в карбонатах рудных жил // Геология рудн. месторожд. – 2010. – Т. 52, № 2. – С. 91–125.
- Реддер Э. Флюидные включения в минералах. – М.: Мир, 1987. – Т. 1. – 560 с.
- Савва Н. Е., Палянова 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.
- Савва Н. Е., Фомина М. И., Курашко В. В. и др. Сфероидные образования в рудах золото-сульфидного проявления «Сентябрьское СВ», локализованного в трубчатых телах взрывчатых брекчий (Чукотка) // Благородные, редкие и радиоактивные элементы в рудообразующих системах: материалы Всерос. науч. конф. к 120-летию Ф. Н. Шахова. – (Новосибирск, 28–30 окт. 2014 г.). – Новосибирск, 2014. – С. 626–630.
- Сандимирова Е. И. Сферические минеральные образования вулканических пород Курильских островов и Камчатки: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Петропавловск-Камчатский, 2008. – 24 с.
- Симаненко Л. Ф., Раткин В. В., Турчин В. А. Минеральные ассоциации олово-полиметаллических порфировых руд палеовулкана г. Красной (Красногорское месторождение, Дальнегорский рудный район) // Тихоокеан. геол. – 2015. – Т. 34, № 2. – С. 44–60.
- Тимофеевский Д. А. Геология и минерализация Дарасунского золоторудного региона. – М.: Недра, 1972. – 280 с.
- André-Mayer A. S., Bailly J. L., Chauvet A. et al. Boiling and vertical mineralization zoning: a case study from the Apacheta low-sulfidation epithermal gold-silver de-

posit, southern Peru // Mineralium Deposita. – 2002. – Vol. 37, No. 5. – P. 452–464.

Bodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and application / ed. B. De Vivo, M. L. Frezzotti. – Pontignano-Siena, 1994. – P. 117–130.

Brown K. L. Kinetics of gold precipitation from experimental hydrothermal sulfide solutions // Economic Geology Monograph. – 1989b. – Vol. 6. – P. 320–327.

Brown P. E. FLINCOR; a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data // American Mineralogist. – 1989a. – Vol. 74, No. 11–12. – P. 1390–1393.

Browne P. R. L. Hydrothermal alteration in active geothermal fields // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 1978. – Vol. 6. – P. 229–250.

Drummond S. E., Ohmoto H. Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems // Economic Geology. – 1985. – Vol. 80, No. 1. – P. 126–147.

Hedenquist J. W., Henley R. W. Hydrothermal eruptions in the Waiotapu geothermal system, New Zealand; their origin, associated breccias, and relation to precious metal mineralization // Economic geology. – 1985. – Vol. 80, No. 6. – P. 1640–1668.

Simmons S. F., Browne P. R. L. Hydrothermal minerals and precious metals in the Broadlands-Ohaaki geothermal system: Implications for understanding low-sulfidation epithermal environments // Economic Geology. – 2000. – Vol. 95, No. 5. – P. 971–999.

Tamas C. G., Milési J. P. Hydrovolcanic Breccia Pipe Structures-General Features and Genetic Criteria. I. Phreatomagmatic Breccias // Studia UBB, Geologia. – 2002. – Vol. 47, No. 1. – P. 127–147.

Thompson T. B., Trippel A. D., Dwelley P. C. Mineralized veins and breccias of the Cripple Creek district, Colorado // Economic Geology. – 1985. – Vol. 80, No. 6. – P. 1669–1688.

Zhang Y. G., Frantz J. D. Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaClKClCaCl₂–H₂O using synthetic fluid inclusions // Chemical Geology. – 1987. – Vol. 64, No. 3. – P. 335–350.

Поступила в редакцию 03.12.2015 г.

GOLD-BASE METALLIC MINERALIZATION IN EXPLOSIVE BRECCIA: MINERAL AND GENETIC ASPECTS (SENTYABRSKOE SV DEPOSIT, CHUKOTKA)

N. E. Savva, E. E. Kolova, M. I. Fomina, V. V. Kurashko, A. V. Volkov

The results of detailed mineralogical and microthermometric studies of gold-polymetallic ores localized in the tubular body of explosive breccia in the September SV site, Central Chukotka. Revealed are two stages of ore formation: the early, gold-polymetallic, traced by the drill core to the depth of 250 m, and the later, gold-silver-lead-telluride, manifested on the surface. The early stage ores filling the tubular body are low-concentration Ag (Au:Ag – 2:1–10:1), depleted of As and Sb; the late stage are high-concentration Ag (Au:Ag to 1:30), rich in hessite. Fineness of the early paragenesis Au is 755–810‰; the late, 820–860‰. The signs of explosive processes in the breccia body are exposed in the form of numerous spheroid formations. From the results of studying fluid inclusions, the process of mineralization is found to have taken place in an open system on the background of the two hydrodynamic modes corresponding to mesoepithermal and geothermal types at repeated dilution of mineralized hydrotherms by vadose waters and solution boiling.

Key words: gold-polysulfide mineralization, tubular ore body, explosive breccias, spheroids, microthermometry.