

ПОСВЯЩАЕТСЯ
90-ЛЕТИЮ ИГЕМ РАН

УДК 553.411:553.21/24

ЭПИТЕРМАЛЬНОЕ Au–Ag МЕСТОРОЖДЕНИЕ ВАЛУНИСТОЕ
(ВОСТОЧНАЯ ЧУКОТКА, РОССИЯ): ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ,
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
И УСЛОВИЯ РУДООБРАЗОВАНИЯ

© 2020 г. А. В. Волков^{а, *}, В. Ю. Прокофьев^а, С. Ф. Винокуров^а, О. В. Андреева^а,
Г. Д. Киселева^а, А. Л. Галямов^а, К. Ю. Мурашов^а, Н. В. Сидорова^а

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

*e-mail: alexandr@igem.ru

Поступила в редакцию 21.01.2019 г.

После доработки 18.11.2019 г.

Принята к публикации 02.12.2019 г.

Au–Ag месторождение Валунистое – третье по величине среди эпиптермальных месторождений на территории Чукотки (после Купола и Двойного). Месторождение расположено на западном замыкании Восточно-Чукотской фланговой зоны Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП). Основное рудоконтролирующее значение в районе имеют вулcano-купольные структуры – Правогорненская, Жильнинская, Шахская, Валунистая, Шалая, Оранжевая, диаметром 3–6 км, образующие цепочку, вытянутую в северо-восточном (СВ) направлении, вдоль Канчаланской зоны разломов. В районе месторождения развиты верхнемеловые вулканиты: игнимбриты, лавы и туфы от риолитового до базальтового состава, линзы и прослои осадочных пород, субвулканические тела и дайки андезитов, базальтов и дацитов. Структура месторождения обусловлена его локализацией в пределах одноименного вулcano-купольного поднятия. На месторождении выявлено 12 рудоносных жильных зон, мощностью от нескольких метров до десятков метров. Детально изученные жильные зоны Главная и Новая прослеживаются по простиранию на расстояние более 1500 м и состоят из кулисообразно расположенных жил средней мощностью 1.0 м, длиной от 100 до 400 м. Содержание Au и Ag в рудах, по данным опробования, колеблется в пределах 0–474.3 и 0–3794.23 г/т. Широко развиты колломорфно-полосчатые, часто сочетающиеся с брекчиевыми, текстуры. Основные жильные минералы – кварц и адуляр, реже встречаются кальцит, хлорит, флюорит, серицит, пиррофиллит, каолинит, монтмориллонит, гипс, эпидот. Главные рудные минералы – пирит, акантит, халькопирит, галенит, сфалерит; второстепенные – самородное Au и Ag, полибазит; редкие – пирсеит, магнетит, гематит, марказит, фрейбергит, тетраэдрит, бурнонит, гессит, матильдит и др. Руды характеризуются: отношением Au/Ag (1 : 5–1 : 10), сульфидностью (0.5–5%). Руды обогащены достаточно широким спектром элементов (Au, Ag, Sb, Cd, Pb, Cu, Zn, As, Se, Mo, Te, Cr). Коэффициенты обогащения варьируют от нескольких раз (Se, Mo, Te, Cr) – до десятков (Cd, Pb, Cu, Zn), сотен (Sb) и до тысяч – десятков тысяч (Au, Ag). Для руд характерна низкая сумма РЗЭ; отчетно присутствие и положительный Eu-аномалий. Геохимические особенности хорошо согласуются с минеральным составом руд. Полная гомогенизация флюидных включений в кварце происходит при температурах 203–284 и 174–237°C в кальците, а концентрация солей в обоих случаях составляет от 0.2 до 0.7 мас. %-экв. NaCl. Плотность флюида изменяется от 0.87 до 0.56 г/см³. Полученные результаты позволяют отнести месторождение Валунистое к низосульфидизированному эпиптермальному классу. Приведенная в статье информация имеет практическое значение для региональных прогнозно-металлогенических построений, поисков и оценки эпиптермальных Au–Ag месторождений.

Ключевые слова: Восточная Чукотка, месторождение, эпиптермальное, рудная минералогия, золото, серебро, микроэлементы, флюидные включения, условия рудообразования

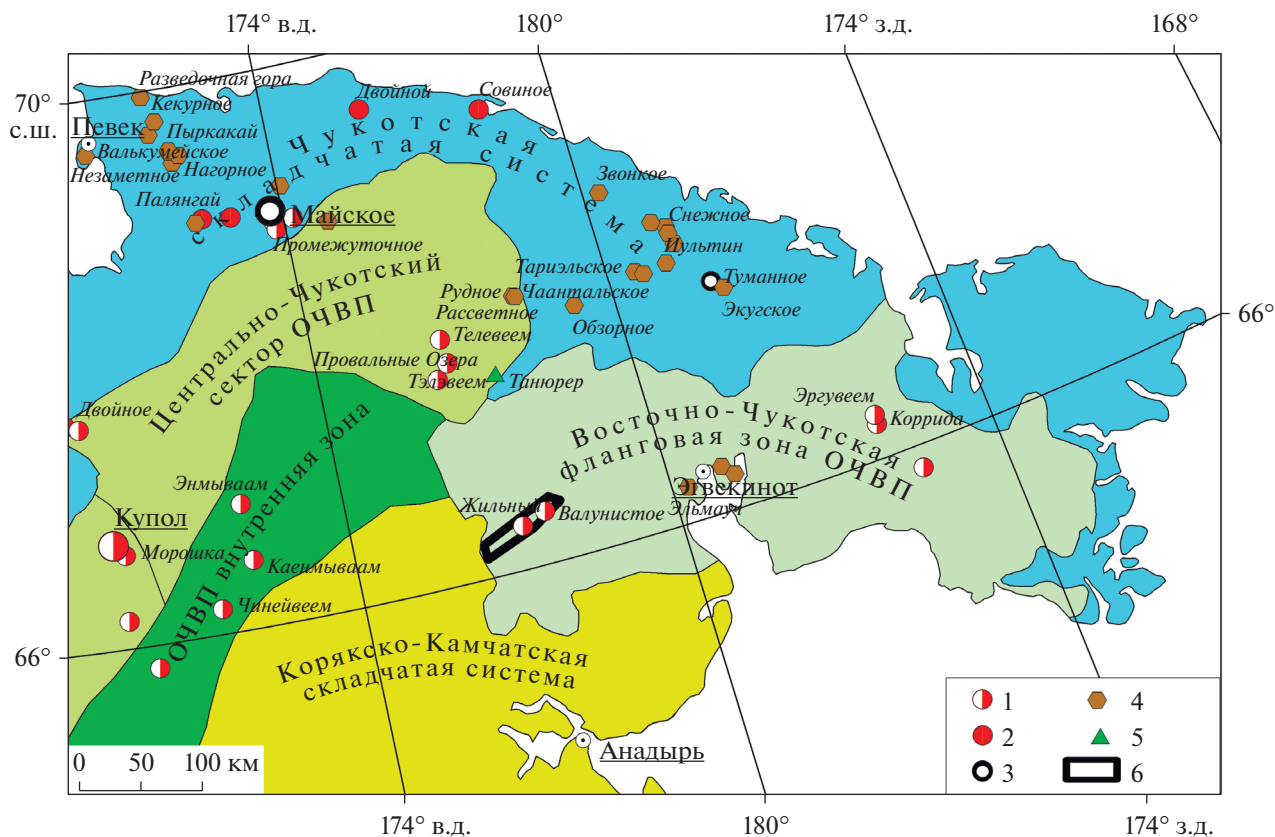
DOI: 10.31857/S0016777020020070

ВВЕДЕНИЕ

Месторождение Валунистое расположено в Арктической зоне России на территории Анадырского района Чукотского автономного округа (ЧАО), в 237 км к северо-востоку от окружного

центра – г. Анадырь и в 218 км по автодороге от ближайшего морского порта Эгвекинот (фиг. 1).

Месторождение открыто в 60-х годах прошлого века геологами Анадырской экспедиции, геологоразведочные работы периодически проводи-



Фиг. 1. Положение месторождения Валунистое в региональных структурах, на основе схемы В.Ф. Белого (1994). Месторождения: 1 – Au–Ag эпитеермальные; 2 – Au-кварцевые; 3 – Au-сульфидные, вкрапленные; 4 – оловорудные; 5 – медно-порфиоровые; 6 – Амгуэмо-Канчаланская металлогеническая зона.

лись до 1996 г. (Шабалин и др., 1995ф, 2000ф). По результатам этих работ, балансовые запасы $C_1 + C_2$ составили 17.5 т Au со средним содержанием в 5.9 г/т и Ag – 178 т, со средним содержанием 59.6 г/т.

В 1999 в результате аукциона права на разведку и эксплуатацию месторождения получила артель старателей “Чукотка”. В 2011 году контроль над Валунистым перешел кипрской компании Aristus Holdings Limited, аффилированной с компанией Millhouse, а в конце 2018 г. месторождение приобрела компания Highland Gold.

Всего с 1999 по 2017 г. включительно на месторождении тремя карьерами было добыто более 18 т Au и 157 т Ag. В 2017 году, по данным администрации ЧАО, из руд месторождения Валунистое извлечено: Au – 862.53 кг и Ag – 7.506 т. По данным компании Highland Gold (www.highland-gold.com), обеспеченность запасами рудника Валунистый более 10 лет.

В конце прошлого века геологическое строение Амгуэмо-Канчаланской металлогенической зоны, включающей месторождение Валунистое, было рассмотрено в ряде научных и региональных работ: петрология, геохимия, геодинамика

вулканно-плутонических ассоциаций (Полин, 1990); прогнозно-металлогеническая карта масштаба 1 : 500 000 ОЧВП (Бочарников, 1980ф¹), отчет по ГДП-200 (Романов, 2002ф) и др.

В период 2000–2019 гг. непосредственно на рудном поле и месторождении Валунистое проводились поисково-оценочные и разведочные работы, направленные на поиски новых рудных тел и оперативный прирост запасов, в начале артелью “Артика” (Шабалин и др., 2006ф), затем – ООО “Артель старателей “Чукотка” (Ляшкевич и др., 2008ф; Полквой и др., 2011ф), ООО “Региональная горнорудная компания” (Филонов и др., 2014ф) и ООО “ГеоСолюшинс” (Козлова и др., 2018ф).

С 2012 по 2019 гг. в ИГЕМ РАН периодически изучались минералого-геохимические и термобарогеохимические особенности руд месторождения Валунистое: в начале, в рамках выполнения договорных работ с ООО “Рудник Валунистый”, затем – проекта Российского научного фонда

¹ Здесь и далее буквой “ф” помечены производственные отчеты, хранящиеся в ФГБУ “Росгеолфонд”.

(№ 14–17–00170), а в 2018–2019 гг. по проекту РФФИ (грант № 18–05–70001).

Главная цель выполненных нами исследований заключалась в анализе и обобщении имеющихся данных по геологии месторождения и выявлении минерально-геохимической специализации золоторудных кварцевых жил, с помощью которой можно оценить степень их продуктивности. Отметим также, что изучение состава и параметров рудообразующих флюидов с целью установления их природы на протяжении многих десятилетий остается одной из центральных проблем в теории эндогенного рудообразования (Бортников, 2006; и др.). В настоящей статье подводятся итоги комплексного изучения месторождения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В ИГЕМ РАН собрана достаточно представительная коллекция эпитеpmальных руд и метасоматитов месторождения Валунистое – 35 образцов, большая часть которых (25) представлена фрагментами керна скважины VD-12-1301 (рудная зона Новая), а остальные – отобраны из жильных тел в карьерах № 1 и № 2 (рудная зона Главная).

Химический состав минералов изучался на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8100 фирмы JEOL в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН (аналитик И.Г. Грибодова). Анализ осуществлялся при ускоряющем напряжении 20 kV, токе на цилиндре Фарадея 20 nA, диаметре зонда 3–5 мкм. Время экспозиции на основные элементы – 10 с. Использовались стандарты компании JEOL.

Для диагностики хлорита и каолинита применялся рентгенофазовый анализ на дифрактометре D/MAX-2200 японской компании Rigaku, оснащенный современными программами получения и обработки данных эксперимента. Исследования проведены в рентгеновской группе лаборатории кристаллохимии ИГЕМ РАН.

Определение концентрации породообразующих и отдельных примесных элементов в пробах выполнено методом рентгенофлуоресцентного анализа на вакуумном спектрометре последовательного действия (с дисперсией по длине волны), модель Axios mAX производства компании PANalytical (Нидерланды 2012 г. www.panalytical.com). При калибровке спектрометра использованы отраслевые и государственные стандартные образцы химического состава горных пород. Анализ выполнен по методике 439-РС НСАМ ВИМС, обеспечивающей получение результатов по ОСТ РФ 41–08–205–04 (аналитик А.И. Якушев).

Измерения микроэлементов (ICP-MS) проводили на масс-спектрометре с ионизацией в индуктивно-связанной плазме X-Series II (аналитик

Я.В. Бычкова). Пределы обнаружения элементов составляли от 0.1 нг/г для тяжелых и средних по массе элементов с возрастанием до 1 нг/г для легких элементов. Погрешность анализа составляла 1–3 отн. %. Содержания Au и Ag в пробах определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией на спектрометре Spectr AA220Z (аналитик В.А. Сычкова).

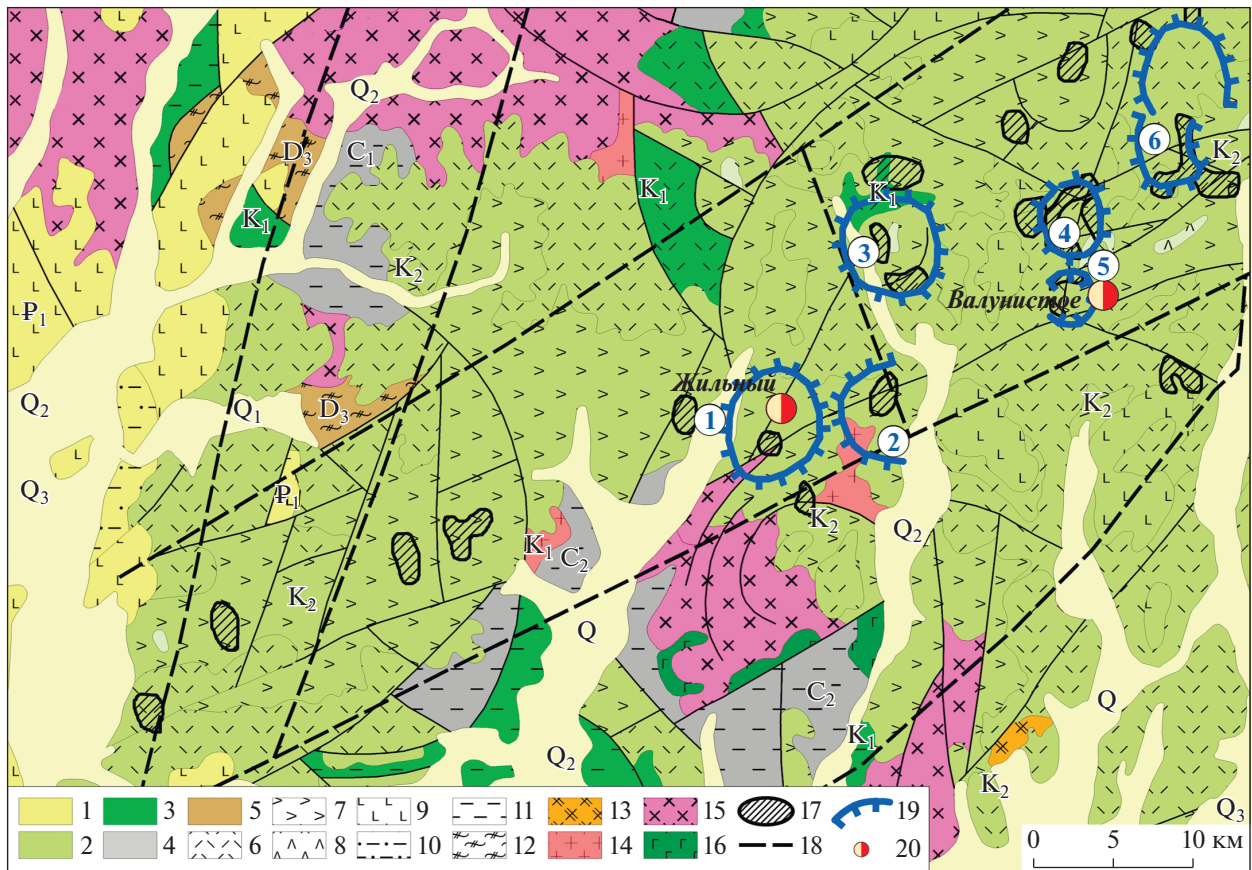
Микротермометрические исследования индивидуальных включений проведены в лаборатории геологии рудных месторождений ИГЕМ РАН с использованием измерительного комплекса, созданного на основе микротермокамеры THMSG–600 фирмы Linkam (Англия), микроскопа Olympus B51, снабженного набором длиннофокусных объективов, видеокамеры и управляющего компьютера. Комплекс позволяет в режиме реального времени производить измерения температур фазовых переходов внутри включений в температурном интервале от –196 до 600°C, наблюдать за ними при больших увеличениях и получать электронные микрофотографии.

Состав солей, преобладающих в водных растворах флюидных включений, оценивался по результатам измерения температур плавления эвтектики (Борисенко, 1977). Суммарная концентрация солей в двухфазовых флюидных включениях оценивалась по температурам плавления льда на основе экспериментальных данных для системы NaCl–H₂O (Bodnar, Vityk, 1994). Оценки концентраций солей и плотностей флюида проводились с использованием программы FLINCOR (Brown, 1989).

Валовый состав флюидных включений изучен в аналитической лаборатории ЦНИГРИ (аналитик – Ю.В. Васюта) комплексом методов, включающим газовую (хроматограф Agilent 6890) и ионную (хроматограф ЦВЕТ 3000) хроматографию, а также ICP MS (прибор “ЭЛАН 6100”, фирма “Перкин-Элмер”), по методике, опубликованной в работе (Кряжев и др., 2006).

ПОЛОЖЕНИЕ В РЕГИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ

Месторождение Валунистое расположено на западном замыкании Восточно-Чукотской фланговой зоны Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) (Белый, 1994; Сидоров и др., 2009), перекрывающей Корякско-Камчатскую складчатую область (фиг. 1). Здесь вулканиды ОЧВП слагают прогиб северо-восточного простирания (шириной 30–100 км), прослеживающийся от р. Танюер на западе, до р. Амгуэма на востоке (Романов и др., 2002ф). Складчатым основанием прогиба служат дислоцированные отложения палеозойского возраста.



Фиг. 2. Геологическая карта Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля (составлена на основе геологической карты масштаба 1 : 200000 Q-60, XV, XVI, Романов и др., 2002ф). 1–5 – возраст пород: 1 – ранний палеоген, 2 – ранний мел, 3 – поздний мел, 4 – карбон, 5 – девон; 6–9 – вулканические породы: 6 – риолиты, 7 – дациты, 8 – андезиты, 9 – базальты; 10 – песчаники, 11 – глинистые сланцы; 12 – метаморфические породы. Интрузивные породы: 13 – сиениты, граносиениты, 14 – граниты, гранодиориты, 15 – диориты, монзониты, 16 – габбро; 17 – субвулканические тела риолит-дацитового состава; 18 – крупные разломы; 19 – вулкано-купольные структуры: 1 – Жильнинская, 2 – Шахская, 3 – Оранжевая, 4 – Валунистая, 5 – Шалая, 6 – Правогорненская; 20 – Au–Ag эпитермальные месторождения.

Основное рудоконтролирующее значение в районе имеют вулкано-купольные структуры – Правогорненская, Жильнинская, Шахская, Валунистая, Шалая, Оранжевая, диаметром 3–6 км, образующие цепочку, вытянутую в северо-восточном (СВ) направлении, вдоль Канчаланской зоны разломов (фиг. 2); в геохимическом поле они подчеркиваются контрастными вторичными ореолами рассеяния Au, Ag, Mo и других сопутствующих элементов (Шабалин и др., 1993ф). К этим структурам приурочены несколько Au–Ag эпитермальных месторождений (Валунистое, Горное, Жильное) и перспективных рудопроявлений (Огненное, Шах, Оранжевое и др.).

Канчаланская зона разломов северо-восточного простирания прослеживается в складчатом основании вулканитов на 300–320 км. На юго-западе она перекрывается палеогеновыми базальтами, а на северо-востоке трассируется до р. Амгуэма (Романов и др., 2002ф). В центральной части ширина Канчаланской зоны разломов (главной

рудоконтролирующей структуры территории) 12–30 км, генеральное простирание – СВ 65° (фиг. 2). В ее пределах сосредоточены все выявленные перспективные объекты Au–Ag формации.

Верхнемеловые породы кислого состава – наиболее древние образования и развиты только в северо-восточной части района (фиг. 2). Завершают разрез вулканитов базальты, субщелочные базальты, андезитобазальты с редкими прослоями туфов. U–Pb-возраст, полученный для вулканических и субвулканических пород Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля, находится в диапазоне от 67.0 до 88.2 Ма (Сахно и др., 2010).

Вулканогенные толщи (среднего состава) слагают пологие вулканоструктуры, просадки и валлообразные купольные поднятия северо-восточного простирания (фиг. 2). Углы падения пород не превышают 30°, а палеогеновых эффузивов – 20°. Наиболее распространены дайки андезитобазальтов и базальтов, которые встречаются в верхнемеловых толщах. Меньшее развитие име-

ют дайки дацитов и риолито-дацитов, характерные только для пород кытыпнайваамской свиты (Романов и др., 2002ф).

Выходы палеозойской (нижний карбон) сильно метаморфизованной карбонатной толщи известны в 30 км западнее и юго-западнее месторождения Валунистое (фиг. 2). Валанжинские полимиктовые песчаники, известняки, углистоглинистые и углистые сланцы с угловым несогласием перекрывают палеозойские породы (Романов и др., 2002ф).

Наиболее протяженные и выдержанные разломы имеют СВ простирание, совпадающее с общим направлением вулканоструктур (фиг. 2). Вертикальные смещения по ним составляют более 400 м. Разломы часто сопровождаются мощными линейными зонами брекчирования, в которых обломки вмещающих пород сцементированы красно-бурым дорудным кварцем. Ширина брекчированных зон по отдельным канавам достигает 100 м. Они, как правило, имеют четкие контакты с вмещающими породами (Романов и др., 2002ф).

Более поздние разломы субмеридионального простирания делят район месторождения на ряд мелких блоков, характеризующихся различной степенью смещения друг относительно друга, что влечет за собой различную степень эрозии блоков. Субмеридиональные нарушения сопровождаются базальтовыми дайками и кварцевыми жилами протяженностью до 300 м. По разломам этого направления происходит смещение с амплитудой до 10 м более ранних северо-восточных нарушений (Романов и др., 2002ф).

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

По современным представлениям, Валунистое рудное поле площадью 26 км² приурочено к двум сближенным вулcano-купольным структурам — Валунистой и Шалой (фиг. 2), в надинтрузивной части массива леурваамского гранодиорит-гранит-лейкогранитового комплекса позднего мела (Шабалин и др., 2006ф).

Валунистая вулcano-купольная структура диаметром 4 км в плане круглая и ограничена кольцевым разломом (фиг. 2). В разрезе вулканитов ОЧВП, слагающих структуру, установлены породы амгеньской толщи, экитыкинской и леурваамской свит мощностью до 650–800 м. Вулканиты залегают в целом периклинально, углы падения варьируют в широких пределах (30°–50°), что связано с приразломными дислокациями (Шабалин и др., 1995ф).

Субвулканические образования леурваамского комплекса (79.9 Ма, Сахно и др., 2010) занимают не менее 30% поверхности структуры (фиг. 3), а также развиты в ее обрамлении. Среди них пре-

обладают трахириодациты леурваамского комплекса. Многочисленные радиальные и сквозные нарушения различных простираний (северо-западного, близширотного, близмеридионального) обусловили мозаично-блоковое строение структуры (фиг. 3). Амплитуда перемещения отдельных блоков варьирует от нескольких метров до 200–300 м (Шабалин и др., 1995ф).

Наиболее широко на месторождении распространены вулканиты экитыкинской серии (фиг. 3), состав которых очень пестрый — игнимбриты, лавы и туфы, туфобрекчии от риолитового до базальтового состава, линзы и прослои осадочных пород, субвулканические тела и дайки андезитов, базальтов, дацитов (фиг. 4).

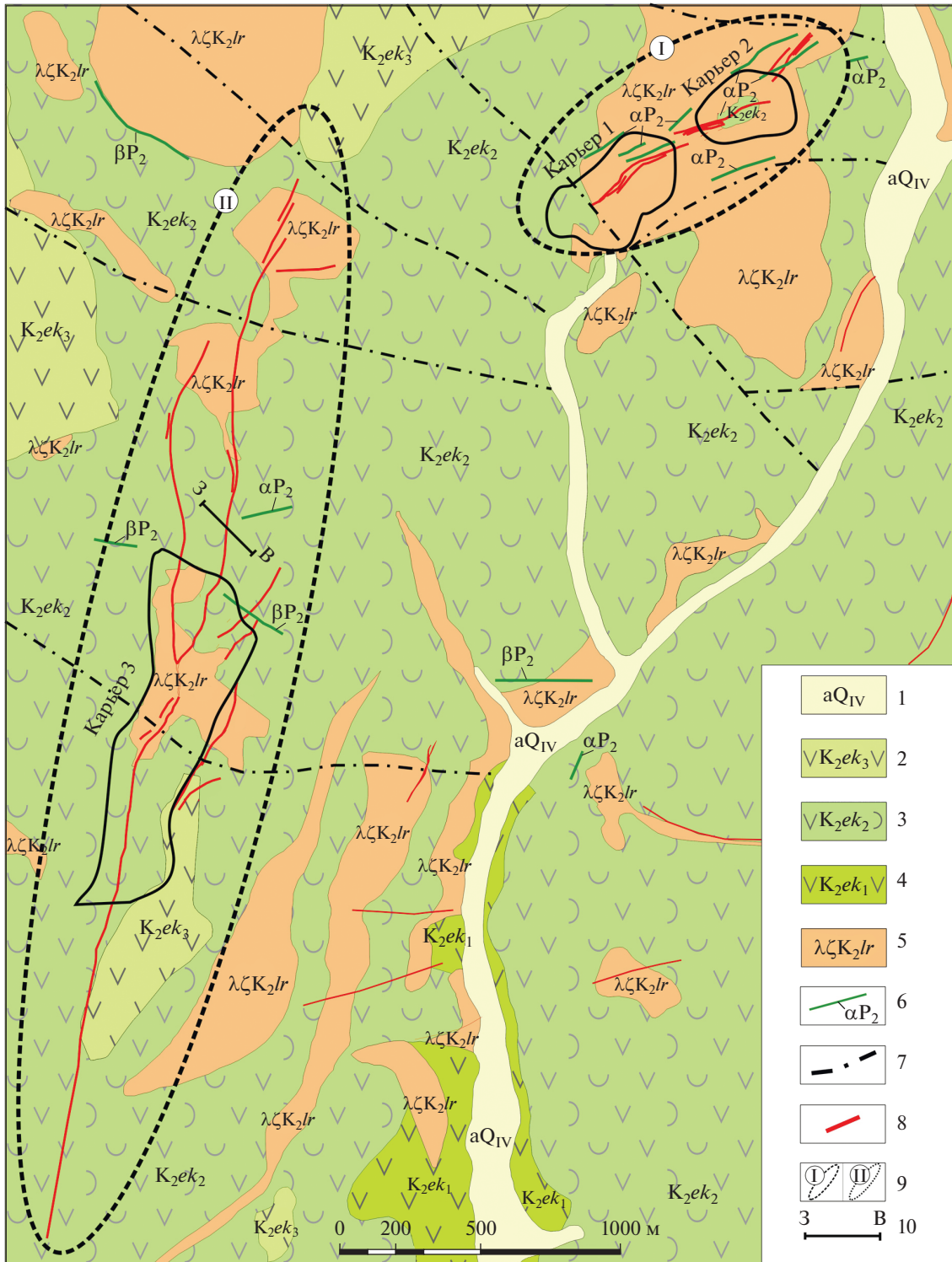
Отложению жильных и рудных минералов на месторождении предшествует формирование эксплозивных брекчий из остроугольных обломков вмещающих пород, сцементированных ранним тонкозернистым безрудным кварцем (фиг. 4б). Практически все рудные тела сопровождаются брекчиями (Шабалин и др., 2006ф).

Рудоносные гидротермальные образования представлены крутопадающими кварцевыми и кварц-адуляровыми жилами, локализованными в зонах интенсивной метасоматической переработки пород, развитых вдоль нарушений различного плана и ориентировки. Мощность жильных зон колеблется от нескольких метров до десятков метров. По простиранию они состоят из нескольких кулис различной длины. Мощность жил в зонах изменяется от 0.1 до 24.7 м, преобладают жилы мощностью до 1 м. Длина жил варьирует от 30 до 400 м. Большинство жил месторождения сопровождаются зонами дробления и брекчирования. На отдельных участках кварцевые жилы разделены интервалом (до 10 м) ненарушенных вмещающих дацитов, что говорит о разновременном их образовании. Контакты жил обычно четкие. Жилы повсеместно сопровождаются многочисленными апофизами. Руды месторождения Валунистое — комплексные золото-серебряные. Коэффициент корреляции Au и Ag сравнительно высок — 0.85 (Шабалин и др., 1995ф).

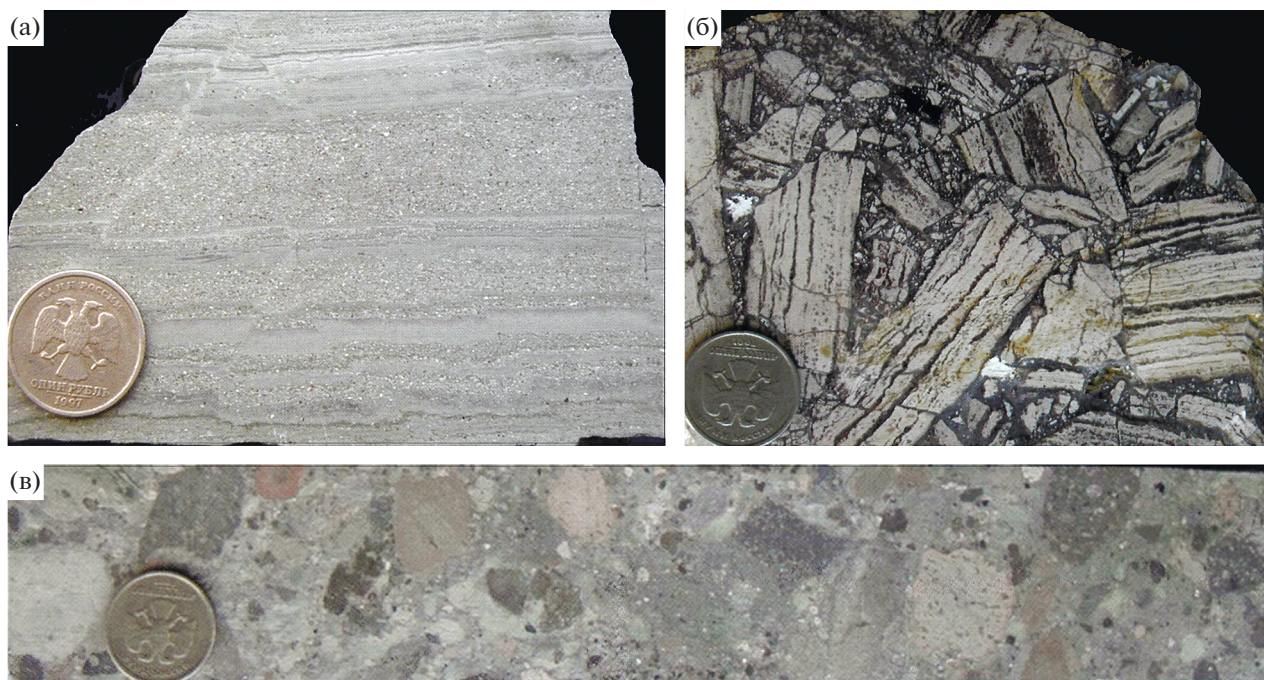
Формирование рудных тел Валунистого приходится на поздний мел (79 ± 2 Ма), судя по определениям абсолютного возраста адуляра (Лейер и др., 1997; Ньюберри и др., 2000), и синхронизировано по времени с излияниями платобазальтов, которые экранировали гидротермальные растворы.

На площади Валунистого рудного поля выявлено 12 рудоносных жильных зон (Шабалин и др., 1995ф). Из них наиболее детально изучены зоны Главная и Новая (фиг. 3).

Жильная зона Главная прослежена в северо-восточном направлении на 1600 м при ширине 40–80 м. Падение ее крутое (70°–85°) юго-юго-во-



Фиг. 3. Схематическая геологическая карта месторождения Валунистое (по материалам Анадырской ГРЭ и рудника Валунистого). 1 – современные отложения: аллювиальные галечники, валуны, гравий, пески и супеси; 2–4 – экитыкинская свита: 2 – верхняя толща: андезиты, андезибазальты с маломощными прослоями туфов с углещифрированным детритом, 3 – средняя толща: разнообломочные туфы среднего состава, 4 – нижняя толща: туфопесчаники, адезиты, базальты, маломощные прослои пепловых туфов; 5 – Leurvaamский субвулканический комплекс: тела риолитов и риодацитов; 6 – Ильмнейвеемский субвулканический комплекс: тела и дайки андезибазальтов, андезитов и базальтов; 7 – разломы; 8 – продуктивные кварц-адуляровые жилы; 9 – контуры жильных зон: I – Главной, II – Новой; 10 – положение разреза (фиг. 5). Р.т. 14 – рудное тело № 14.



Фиг. 4. Вмещающие породы месторождения Валунистое (геологический музей Магаданнедра, коллекция И.С. Раевской). а – тонкополосчатые туфы. Канавка 175; б – предрудная гидротермальная брекчия с обломками флюидально-полосчатых риолитов, сцементированных пирит-кварцевым материалом. Зона Новая. Канавка 113; в – туфобрекчия с обломками риолитов и андезитов. Зона Главная. Скважина 91.

сточное. Большинство жильных тел зоны Главной локализованы в пределах субвулканического тела флюидальных риодацитов сложной формы (фиг. 3). Жилы сгруппированы в 4 кулисы, которые состоят из 1–3 основных жил, сопровождающихся короткими близпараллельными и оперяющимися жилами. Мощность основных жил колеблется от 0.6 до 11.0 м, длина от 200 до 540 м, оперяющих соответственно 0.2–2.0 и 50–200 м (Шабалин и др., 1995ф, 2006ф). Преобладают жилы выполнения открытых трещин с параллельными резкими контактами. Редко встречаются жилы замещения с извилистыми неотчетливыми границами. Простираение и падение жил такое же, как у зоны Главной.

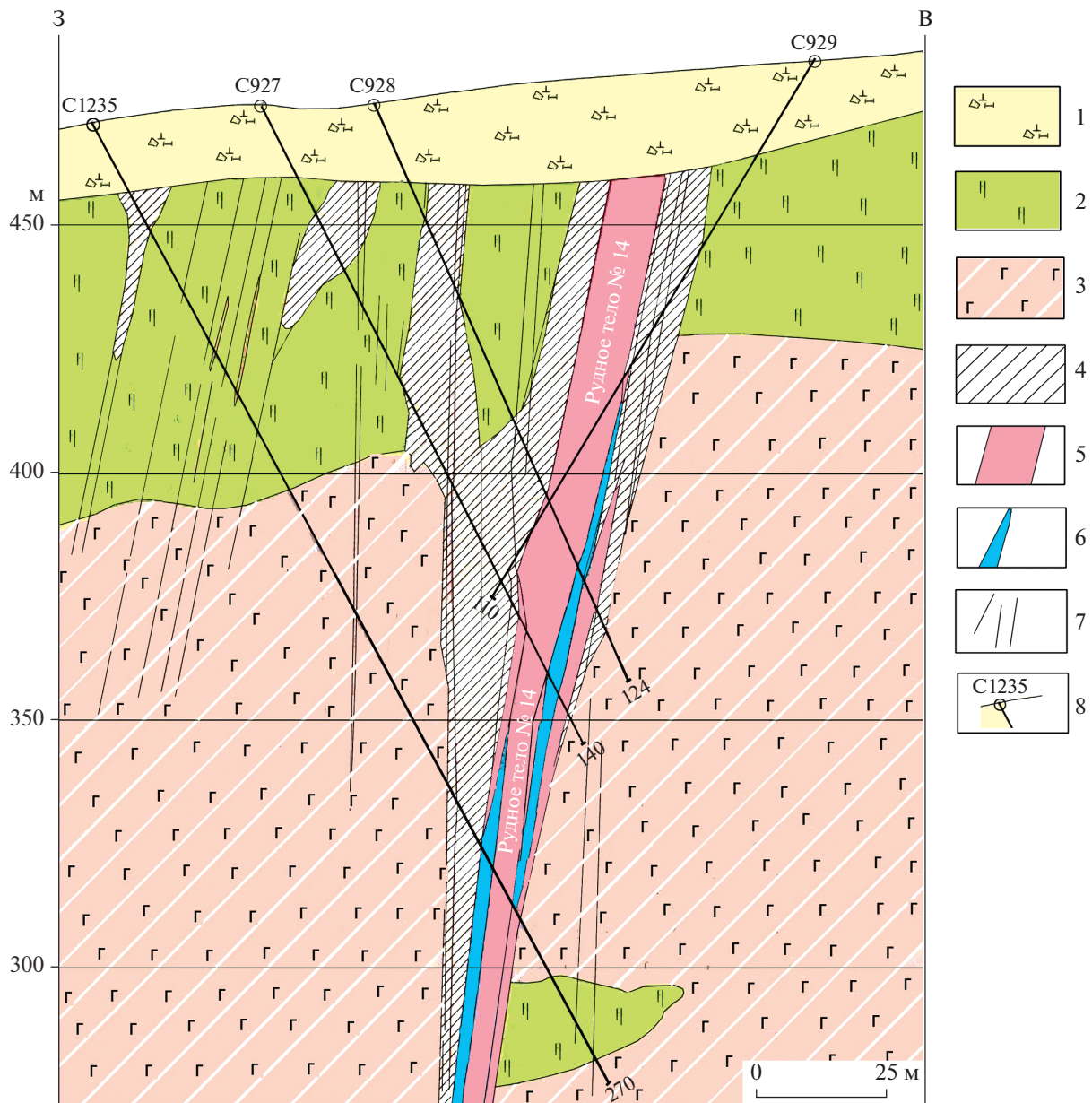
Оруденение в жилах неравномерное. Содержание Au и Ag колеблется в пределах 0–474 и 0–3794 г/т соответственно (по данным опробования). Максимальные содержания в жилах, по штучному опробованию бонанц, составляют: Au – 1969 г/т, Ag – 22108 г/т (Шабалин и др., 2006ф). В гидротермально измененных породах, вмещающих рудные жилы, содержания Au и Ag менее 0.5 г/т и 10 г/т соответственно, и лишь местами они увеличиваются до первых граммов на тонну для Au и первых десятков граммов на тонну для Ag. Au/Ag отношение в рудных телах зоны Главная изменяется от 1 : 65 до 10 : 1, при среднем значении 1 : 10. Средняя пробность самородного Au составляет

600‰, а размеры его выделений варьируют от 0.01 до 2 мм, редко более.

Жильная зона Новая прослежена в меридиональном направлении на 850 м при длине 1500 м и мощности 100–200 м (фиг. 3). Она состоит из серии близкопараллельных кварцевых, редко адуляр-кварцевых жил мощностью от 0.2–0.9 до 5–8 м и длиной до 500–600 м. Во вторичных ореолах рассеяния зона Новая фиксируется контрастной аномалией, интенсивностью до 10 г/т Au и до 50 г/т Ag (Шабалин и др., 2006ф). Содержания Au и Ag в жилах варьируют в пределах 3.4–135.7 и 33.0–1238.2 г/т соответственно. Падение жил крутое (70°–85°), западное (фиг. 5). Вертикальный размах оруденения по данным бурения достигает 200 м (фиг. 5).

МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

Среди метасоматических изменений отчетливо выделяются два типа: первый – низко-средне-температурная пропилитизация по туфолавам порфировых андезитов; второй – калишпатизация. Зоны развития метасоматического КПШ не имеют резких границ, постепенно сменяясь серицитизированными породами. КПШ представлен сплошными мелкозернистыми агрегатами адулара, ассоциирующими с кварцем во внутренней зоне и с серицитом во внешней. Околожильная аду-



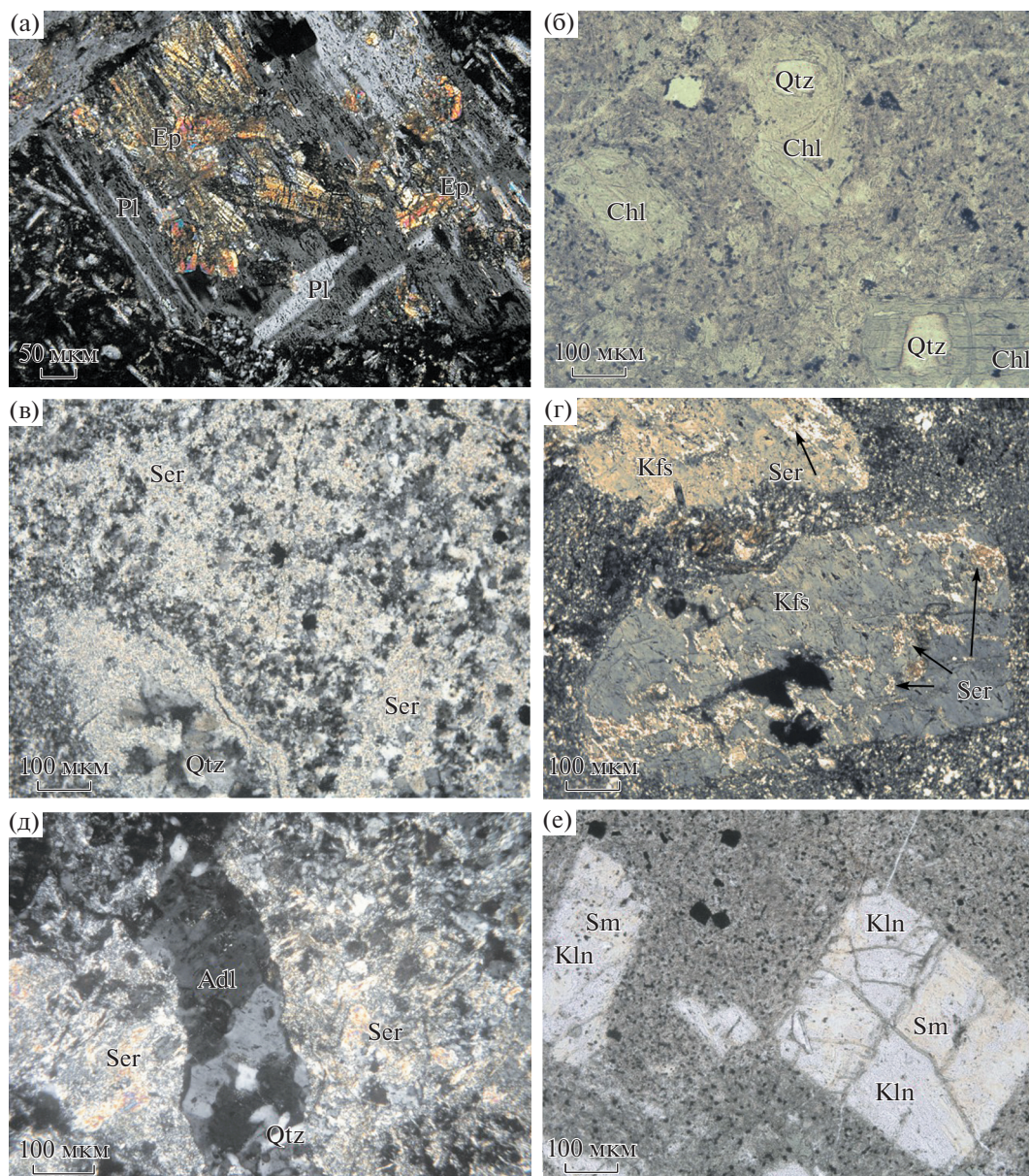
Фиг. 5. Геологический разрез в крест простирания Р.т. № 14 жилой зоны Новой (по материалам Анадырской ГРЭ и рудника Валунистого). 1 – четвертичные отложения: пролювиально-делювиальные супеси, щебень. 2 – экитыкинская свита верхнемелового возраста, нижняя толща: туфопесчаники, андезиты, базальты, пепловые туфы (до 200 м); 3 – верхнемеловые риодациты леурваамского субвулканического комплекса; 4 – околожильная адуляризация и серицитизация; 5 – рудное тело № 14 (кварц-адуляровая жила); 6 – кальцитовая жила; 7 – второстепенные разломы; 8 – колонковые скважины.

ляризация – сравнительно локальный процесс, не распространяется более чем на 10 м от жил.

Пропилиты месторождения Валунистое относятся к эпидот-хлоритовой (фиг. 6а) и в меньшей степени низкотемпературной хлорит-альбитовой фации (фиг. 6б), проявленной в верхних частях разреза. Состав эпидотов приведен в табл. 1. Следует отметить, что общая характерная черта пропилитов – отсутствие или очень ограниченное

распространение метасоматического кальцита. Хлориты из пропилитов (фиг. 6б), по данным микронзондового анализа и по результатам дифрактометрии, относятся к клинохлору (табл. 2).

В изученных образцах все плагиоклазы, по данным микронзондового и оптического анализа, замещены альбитом не выше № 8–10, а содержание СаО в них не превышает 0.56 мас. %. Повсеместно происходит интенсивное замещение аль-



Фиг. 6. Микрофотографии метасоматических пород месторождения Валунистого. а – формы развития метасоматического эпидота в плагиоклазах пропилитизированных базальтов, николи X; б – метасоматический хлорит, целиком замещающий вкрапленники темноцветных минералов и, частично, основную массу андезито-базальта, николи ||; в – кварц-серицитовый агрегат без реликтов исходной породы, николи X; г – замещение серицитом вкрапленников калишпата, николи X; д – кварц-адуляровый прожилок в пропилите, не затронутый серицитизацией; е – замещение полевых шпатов каолинитом и смектитом. Qtz – кварц; Kfs – калиевый полевой шпат в псевдоморфозах по плагиоклазу; Ser – серицит; Chl – хлорит; Ep – эпидот; Pl – плагиоклаз; Adl – жильный адуляр; Sm – смектит; Kln – каолинит.

битизированного плагиоклаза калиевым полевым шпатом, часто до формирования полных псевдоморфоз. Новообразованный КПШ представлен почти чистой калиевой разностью (Na_2O не более 0.25 мас. %).

В геологической литературе неоднократно описывался процесс замещения альбита в пропилитах калиевым полевым шпатом при приближении к поверхности и падении температур

(Русинов, 1989; и др.). Многие авторы подчеркивают частую приуроченность зон калишпатизации к зонам повышенной проницаемости, связанным с разломами (Набоко, Главатских, 1970; Keite et al., 1978).

На пропилиты накладываются более поздние серицитизация и аргиллизация (фиг. бв–е), повсеместно наблюдается пересечение их кварц-адуляровыми прожилками с сульфидами (фиг. бд). При

Таблица 1. Химический состав эпидота из вмещающих пород месторождения Валунистое (скважина)

Компонент	В-80	В-80	В-80
SiO ₂	38.08	38.68	38.41
TiO ₂	0.20	0.06	0.17
Al ₂ O ₃	20.99	25.53	22.25
FeO _{общ}	15.41	9.83	14.68
MnO	0.07	0.12	0.05
CaO	23.32	23.36	22.94
H ₂ O	1.87	1.98	1.99
Сумма	99.94	99.56	100.19
Коэффициенты в кристаллохимических формулах			
Si	3.05	3.05	3.06
Al	1.98	2.37	2.09
Ca	2.01	1.98	1.96
Ti	0.01	0.01	0.01
Fe	0.93	0.58	0.86
O	1.00	1.00	1.00
ОН	1.00	1.04	1.06

Примечание. Формула Ca₂(Al, Fe)₃[SiO₄][Si₂O₇]O(OH).

этом прожилковый адуляр остается совершенно незатронутым серицитизацией (фиг. бд), что, несомненно, указывает на его более позднее происхождение относительно метасоматического КПШ во вмещающей породе (фиг. бг).

Процесс серицитизации, относящийся к типу кислотного метасоматоза, — неотъемлемая часть общего гидротермального цикла на всех Au–Ag месторождениях в вулканических породах (Русинов, 1989; и др.). Особенность месторождения Валунистое — относительно слабое развитие серицитовых метасоматитов, которые распространены спорадически и не обнаруживают связи с рудной минерализацией. Очевидно лишь их предпочтительное развитие по вулканитам кислого состава.

Процессы аргиллизации развиваются явно позже основной жильной минерализации. В пределах кварцевых и кварц-адуляровых рудных жил часто наблюдаются мелкие скопления каолинита, присутствие которого подтверждается рентгеновской дифрактометрией. В единичных случаях отмечалось интенсивное замещение полевых шпатов глинистыми минералами (фиг. бе).

Следует также отметить слабое проявление поверхностных гипергенных изменений, судя по хорошей сохранности основной массы сульфидов и по наличию гетитовых пленок и корочек вокруг пиритовых зерен в кварцевых жилах и вмещающих породах, вскрытых канавами.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД

В составе изученных руд месторождения Валунистое преобладает SiO₂ (77.00–94.62%), присутствуют заметные концентрации CaO (0.11–10.48), Al₂O₃ (1.23–2.07), K₂O (0.22–5.14), а также Fe₂O₃ (0.14–1.37) (табл. 3), иногда F (0.4–15.2). Для руд характерны низкие и очень низкие значения Na₂O, TiO₂, P₂O₅ и MnO. Содержание сульфидов в изученных рудах низкое (S_{общ} — от 0.07 до 1.25%), что типично для эпитепирмальной минерализации (Сидоров, 1978).

Руды обогащены достаточно широким спектром элементов (Au, Ag, Sb, Cd, Pb, Cu, Zn, Se, Mo, Te, Cr) (табл. 4, фиг. 7), по сравнению со средними значениями верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). Коэффициенты обогащения варьируют от нескольких раз (Se, Mo, Te, Cr) — до десятков (Cd, Pb, Cu, Zn), сотен (Sb) и до десятков и сотен тысяч раз (Au, Ag) (фиг. 7), что свидетельствует о геохимическом родстве некоторых микроэлементов и их синхронном участии в рудообразовании. Судя по табл. 5 и фиг. 8, в изученных рудах и вмещающих породах преобладают легкие “гидрофильные” РЗЭ цериевой группы (Жариков и др. 1999; Минеев, 1974).

Вмещающие породы, представленные в основном базальтами и трахидацитами, часто брекчированными и рассеченными разнообразными прожилками, имеют аномально отрицательный тип распределения РЗЭ (фиг. 8б), с близкими значениями $\sum REE_N$ — (180–531), но с более значительным диапазоном величин Eu/Sm_N, изменяющимся от 0.53 до 1.2 (табл. 6).

Пробы из эксплозивных брекчий состоят из обломков различных пород: базальтов, андезитобазальтов, трахидацитов, трахилипаритов и т.д., часто остроугольной формы, которые сцементированы тонкоперетертой массой и кварцем, а также рассечены тонкими прожилками гипса. Для них обычны отрицательный тип распределения лантаноидов, высокие значения $\sum REE_N$ — (170–439) и отрицательные аномалии Eu (табл. 6, фиг. 8д).

Пробы из разнообразных по составу жил — адуляр-кварц-кальцитовых, флюорит-кварц-кальцитовых до существенно кальцитовых — характеризуются различными содержаниями Au от фоновых до первых грамм на тонну, при низких фоновых концентрациях Ag. При этом рудные пробы, представляющие собой сложные брекчий (обр. В-71) или андезито-базальты с многочисленными прожилками адуляр-кварцевого и флюорит-кварцевого состава (обр. В-78), имеют высокие величины $\sum REE_N$ (99–298), отрицательный тип распределения лантаноидов и субхондритовые значения Eu/Sm_N, равные 0.62–0.9 (табл. 6, фиг. 8в, е, ж).

Таблица 2. Химический состав хлорита (мас. %) из вмещающих пород месторождения Валунистое (Северо-Восток России)

Компонент	В-80	В-80	В-80	В-78	В-78	В-78
SiO ₂	27.77	28.56	28.19	31.35	32.30	33.34
TiO ₂	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02
Al ₂ O ₃	18.91	18.94	19.13	17.48	17.92	18.40
FeO _{общ}	23.30	24.91	24.29	20.22	21.12	20.05
MnO	0.73	0.81	0.93	0.90	0.68	0.83
MgO	16.34	16.25	16.15	15.05	17.55	16.74
CaO	0.06	0.06	0.07	0.25	0.20	0.25
Na ₂ O	0.00	0.03	0.00	0.02	0.03	0.02
Cr ₂ O ₃	0.04	0.01	0.05	0.18	0.15	0.34
H ₂ O	11.19	11.21	11.20	9.96	10.44	10.07
Сумма	98.42	100.81	100.11	95.59	100.53	100.19
Коэффициенты в кристаллохимических формулах						
Si	2.93	2.95	2.94	3.40	3.29	3.41
Al ^T	1.06	1.04	1.06	0.59	0.70	0.59
Сумма T	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Al ^A	1.29	1.26	1.29	1.64	1.45	1.62
Fe	2.06	2.16	2.12	1.84	1.80	1.71
Mg	2.58	2.51	2.51	2.44	2.67	2.55
Mn	0.06	0.07	0.08	0.08	0.06	0.07
Ca	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.03
Na	–	0.01	–	–	0.01	–
Сумма A	6.01	6.01	6.01	6.03	6.01	5.00
ОН [–]	7.75	7.77	7.76	6.89	7.23	6.97
O ^{2–}	0.25	0.23	0.24	1.10	0.77	1.03
Fe _{общ} /(Fe _{общ} + Mg)	0.44	0.46	0.46	0.43	0.40	0.40

Жилы с преобладанием кальцита и аномальными содержаниями Au существенно отличаются по уровню содержаний и характеру распределения РЗЭ (фиг. 8ж). Жильные брекчии, со значительным количеством обломков измененных вмещающих пород, имеют повышенные (до 293) величины ΣREE , отрицательный тип распределения РЗЭ, а также субхондритовые значения Eu/Sm_N (табл. 6). Достаточно чистые их разности отличаются весьма низкими величинами $\Sigma REE_N - (2.1 - 33.0)$ и примерно равными содержаниями легких и тяжелых лантаноидов и относительно низким уровнем средних лантаноидов (табл. 6). Следует при этом подчеркнуть присутствие в них положительных Eu-аномалий, типичных для богатых рудных проб из адуляр-кварцевых жил (фиг. 8ж).

На месторождении Валунистое встречены пробы с преобладанием Y над легкими РЗЭ или с примерно равными их содержаниями, которые преимущественно соответствуют жилам кварц-каль-

цитового или существенно кальцитового состава с субхондритовым типом распределения лантаноидов (фиг. 8ж).

Таким образом, полученные данные свидетельствуют об относительной однотипности распределения РЗЭ в большинстве жил и вмещающих пород. Последнее обусловлено, прежде всего, сравнительно высоким содержанием РЗЭ во вмещающих породах с характерным отрицательным типом распределения и со значениями, варьирующими от хондритовых величин до отрицательных Eu-аномалий в зависимости от химического состава пород.

ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ

В рудоносных кварцевых жилах месторождения Валунистое установлено широкое развитие брекчиевой, жеодово-брекчиевой, брекчиевидной, кар-

Таблица 3. Химический состав руд (в мас. %) месторождения Валунистое

№ пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ общ.	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S общ.	Σ
В-20	86.07	<0.02	1.23	0.14	0.025	0.04	10.48	0.09	0.47	<0.02	0.25	98.8
В-22	86.00	<0.02	<0.02	0.20	0.006	<0.02	0.06	<0.02	5.14	<0.02	0.07	91.4
В-23	93.00	0.05	<0.02	0.48	0.058	<0.02	0.11	<0.02	2.53	0.02	0.15	96.4
В-24	77.00	0.07	<0.02	1.00	0.074	<0.02	4.37	<0.02	5.74	<0.02	0.45	88.7
В-75	78.80	0.00	<0.02	0.07	0.058	<0.02	14.92	<0.02	0.22	0.00	0.02	94.0
В-1	87.06	0.01	3.60	0.45	0.04	0.13	0.07	0.09	0.90	<0.02	0.52	92.8
В-2	92.79	0.01	1.92	1.37	0.03	0.14	0.03	0.09	0.33	0.02	1.25	97.9
В-3	94.24	0.01	2.07	0.94	0.04	0.13	0.02	0.09	0.36	0.02	0.78	98.7
В-4	94.62	0.02	2.03	0.91	0.04	0.13	0.02	0.09	0.36	0.02	0.74	98.9
Сс	92.17	0.01	2.40	0.91	0.04	0.13	0.035	0.09	0.49	0.02	0.82	97.1

Примечание. Сс – среднее содержание. В-1,2,20,22,23,24 – пробы руд из жильной зоны Главная, В-3,4,75 – пробы руд из жильной зоны Новая.

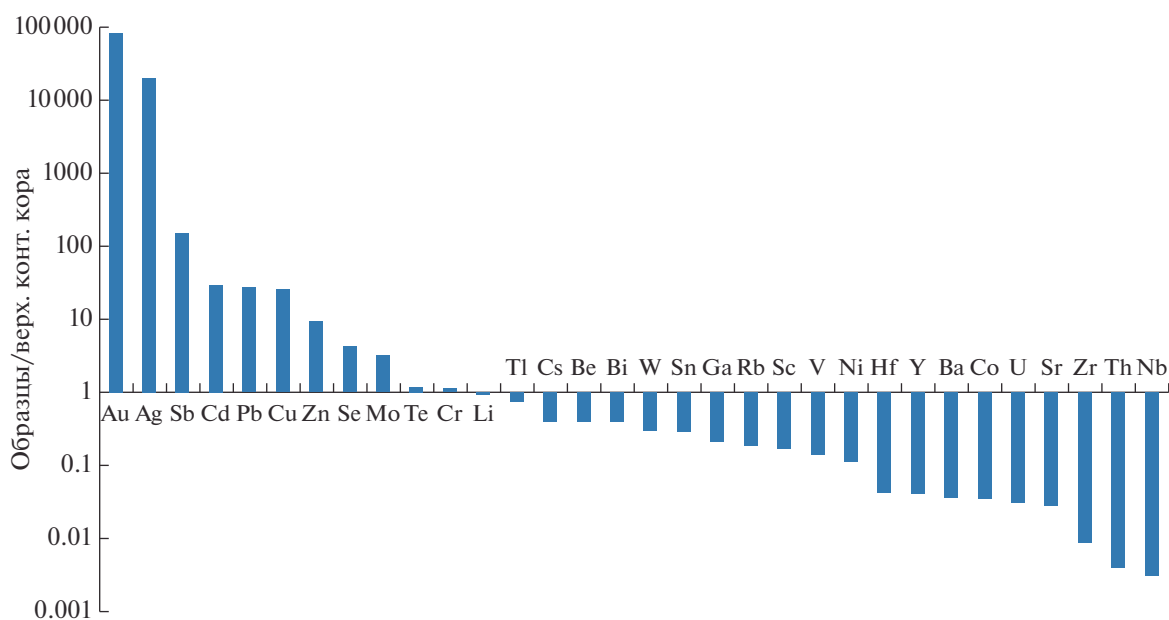
касно-пластинчатой, ритмично-полосчатой, колломорфно-зональной текстур, типичных для близ-поверхностного рудообразования (фиг. 9а–в).

В жилах преобладают жеодово-брекчиевые текстуры. В небольших пустотах развиваются мелкие друзы кварца. Осевые части жил иногда занимают прожилки друзовидного аметиста мощностью до 6 см. Редко аметистовые прожилки фиксируются непосредственно в гидротермально измененных породах.

Ранний мелкозернистый и криптокристаллический кварц в жилах, иногда халцедоновидный с участками зарождения крупнозернистого пери-

стого кварца, сменяется более крупными индивидами. Поэтому ясных пересечений со следующей разновидностью крупнозернистого кварца не выявлено, и разделение двух генераций кварца (мелко- и крупнозернистого) не вполне отчетливое.

В крупнозернистом радиально-лучистом, сферолитовом и перистом кварце (фиг. 9д) встречены многочисленные темные микровключения, расположенные зонально и иногда секториально. Большая часть этих микровключений, по-видимому, относится к газовой-жидким, но присутствуют и мелкие вроски рудных минералов, которые придают кварцу неравномерную замутнен-



Фиг. 7. Распределение основных микроэлементов в эпитермальных рудах Au–Ag месторождения Валунистое, нормированных по отношению к средним значениям для верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988).

Таблица 4. Представительные ICP-MS анализы (г/т) руд Валунистого месторождения

Элемент	Валунистое (г/т)					
	В-1	В-2	В-3	В-4	Сс	Сс ^г
Li	131.6	10.7	8.5	9.6	40.101	18.420
Be	2.0	0.83	0.92	1.1	1.218	1.141
Sc	2.9	1.9	1.5	1.3	1.910	1.820
V	5.0	9.1	10.5	9.5	8.514	8.195
Cr	49.5	45.8	30.3	35.5	40.253	39.495
Co	0.46	0.32	0.30	0.30	0.345	0.340
Ni	2.1	1.5	4.6	1.6	2.432	2.180
Zn	562	1020	672	579	708.102	687.088
Ga	6.4	2.8	2.7	3.1	3.757	3.502
As	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	0.000	0.000
Se	2394	137	89.3	71.7	672.991	213.944
Rb	29.0	18.6	17.0	19.8	21.103	20.648
Sr	26.8	6.7	6.4	7.1	11.760	9.521
Y	1.3	0.80	0.72	0.85	0.910	0.888
Zr	7.2	0.65	1.6	1.0	2.615	1.649
Nb	0.053	0.066	0.087	0.11	0.078	0.076
Mo	4.3	5.7	4.3	5.7	4.992	4.943
Ag	28070	3561	2463	1284	8844.500	4216.586
Cd	9.2	2.8	1.8	1.8	3.876	2.999
Sn	0.4	2.9	2.5	2.4	2.023	1.567
Sb	15.4	37.7	36.3	39.4	32.197	30.192
Te	5.0	<ПО	<ПО	<ПО	1.252	1.496
Cs	2.8	1.1	1.1	1.3	1.557	1.431
Ba	58.5	13.8	13.9	15.0	25.300	20.267
La	2.6	0.69	0.78	0.89	1.244	1.059
Ce	9.7	1.1	1.2	1.4	3.359	2.076
Pr	1.2	0.12	0.13	0.15	0.401	0.232
Nd	4.5	0.47	0.53	0.60	1.537	0.911
Sm	0.79	0.088	0.104	0.108	0.272	0.167
Eu	0.09	0.046	0.057	0.063	0.065	0.063
Gd	0.46	0.080	0.075	0.093	0.177	0.126
Tb	0.062	0.013	0.028	0.019	0.030	0.026
Dy	0.30	0.093	0.11	0.12	0.156	0.139
Ho	0.047	0.030	0.021	0.034	0.033	0.032
Er	0.15	0.075	0.072	0.11	0.100	0.096
Tm	0.016	0.008	<ПО	0.0083	0.008	0.032
Yb	0.10	0.053	0.063	0.070	0.071	0.069
Lu	0.013	<ПО	0.009	0.008	0.008	0.031
Hf	0.33	<ПО	0.03	0.06	0.105	0.155
Ta	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	0.000	0.000
W	0.65	0.59	0.54	0.61	0.598	0.597
Tl	0.5	0.6	0.5	0.6	0.545	0.544
Pb	654.5	707.6	480.3	396.0	559.598	544.785
Bi	0.31	0.024	0.022	0.033	0.098	0.048
Th	0.065	0.023	0.042	0.046	0.044	0.041
U	0.28	0.069	0.050	0.051	0.112	0.084
Au	1936	17.4	8.2	6.5	491.987	36.682
Cu	2461	500	391	375	931.753	651.841

Примечание. ПО – предел обнаружения; Сс – среднеарифметическое; Сс^г – среднегеометрическое. В-1, В-2 – пробы руд из жильной зоны Главная, В-3, В-4 – пробы руд из жильной зоны Новая.

Таблица 5. Индикаторные показатели эпitherмальных руд месторождения Валунистое

Показатели	ПРОБЫ										
	В-1	В-2	В-3	В-4	В-20-а	В-20-в	В-22-а	В-22-в	В-23	В-24-а	В-24-в
ΣREE	20.03	2.86	3.18	3.67	51.10	99.38	1.93	2.87	8.88	77.77	75.28
ΣLREE	18.88	2.51	2.80	3.21	42.81	88.92	1.69	2.42	8.07	66.01	66.13
ΣHREE	1.15	0.35	0.38	0.46	8.29	10.46	0.24	0.45	0.81	11.76	9.15
ΣLREE/ΣHREE	16.44	7.14	7.41	6.94	5.16	8.50	7.07	5.36	9.98	5.61	7.23
Hf/Sm	0.42	0.00	0.29	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nb/La	0.02	0.09	0.11	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Th/La	0.02	0.03	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Y/Ho	27.66	26.66	34.28	25.00	31.10	30.36	15.86	17.18	21.48	18.59	25.23
U/Th	4.31	3.00	1.19	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rb/Sr	1.08	2.77	2.65	2.79	0.33	0.15	4.45	5.47	1.45	1.72	1.24
Sr/Ba	0.45	0.48	0.46	0.47	0.64	1.39	0.22	0.09	0.27	0.21	1.00
Zr/Hf	21.81	ПО	53.33	16.66	ПО	ПО	ПО	ПО	ПО	ПО	ПО
Co/Ni	0.21	0.21	0.06	0.18	ПО	ПО	ПО	ПО	ПО	ПО	ПО
Te/Se	0.00	ПО	ПО	ПО	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Au/Ag	0.06	0.00	0.00	0.00	0.99	0.99	2.66	0.60	0.00	0.13	0.34
Cu/Mo	572.32	87.71	90.93	65.78	176.60	15.20	67.00	86.28	23.71	14.40	4.20
Pb/Nd	145.44	1505.53	906.22	660.00	2.61	0.49	1246.16	328.90	120.48	2.17	ПО
Eu/Eu*	0.562	1.505	1.342	1.565	0.676	0.644	7.797	6.989	1.288	1.072	0.672
Ce/Ce*	1.74	0.83	0.80	0.83	1.34	1.55	0.97	1.01	1.03	1.11	1.07
LaN/YbN	17.66	8.84	8.41	8.63	6.61	9.13	23.51	31.11	39.27	5.79	7.49
LaN/SmN	2.05	4.89	4.68	5.14	1.26	1.44	3.68	1.81	3.31	1.96	2.88
GdN/YbN	3.72	1.22	0.96	1.07	4.68	4.50	6.15	26.73	10.04	2.88	1.82
LaN/LuN	20.75	ПО	8.99	11.54	8.31	10.96	4.23	3.96	18.57	6.23	6.56
ΣCe	18.00	2.38	2.64	3.04	39.54	83.43	1.35	1.82	7.61	61.13	62.54
ΣY	1.74	0.35	0.39	0.43	9.70	13.54	0.49	0.96	1.09	13.39	9.79
ΣSc	0.27	0.13	0.14	0.19	1.85	2.39	0.08	0.09	0.16	3.24	2.94
Eu/Sm	0.11	0.52	0.54	0.58	0.18	0.15	4.78	4.14	0.39	0.32	0.18

Примечание. $Eu/Eu^* = EuN/(SmN*GdN)0.5$; $Ce/Ce^* = CeN/(LaN*PrN)0.5$, REE – P3Э, LREE – легкие P3Э, HREE – тяжелые P3Э, суммы содержаний по группам P3Э (Минеев, 1974): цериевая – ΣCe, иттриевая – ΣY, скандиевая – ΣSc. ПО – предел обнаружения.

ность. Временные соотношения сферолитового и перистого кварца скорее указывают на более раннее появление первой разновидности.

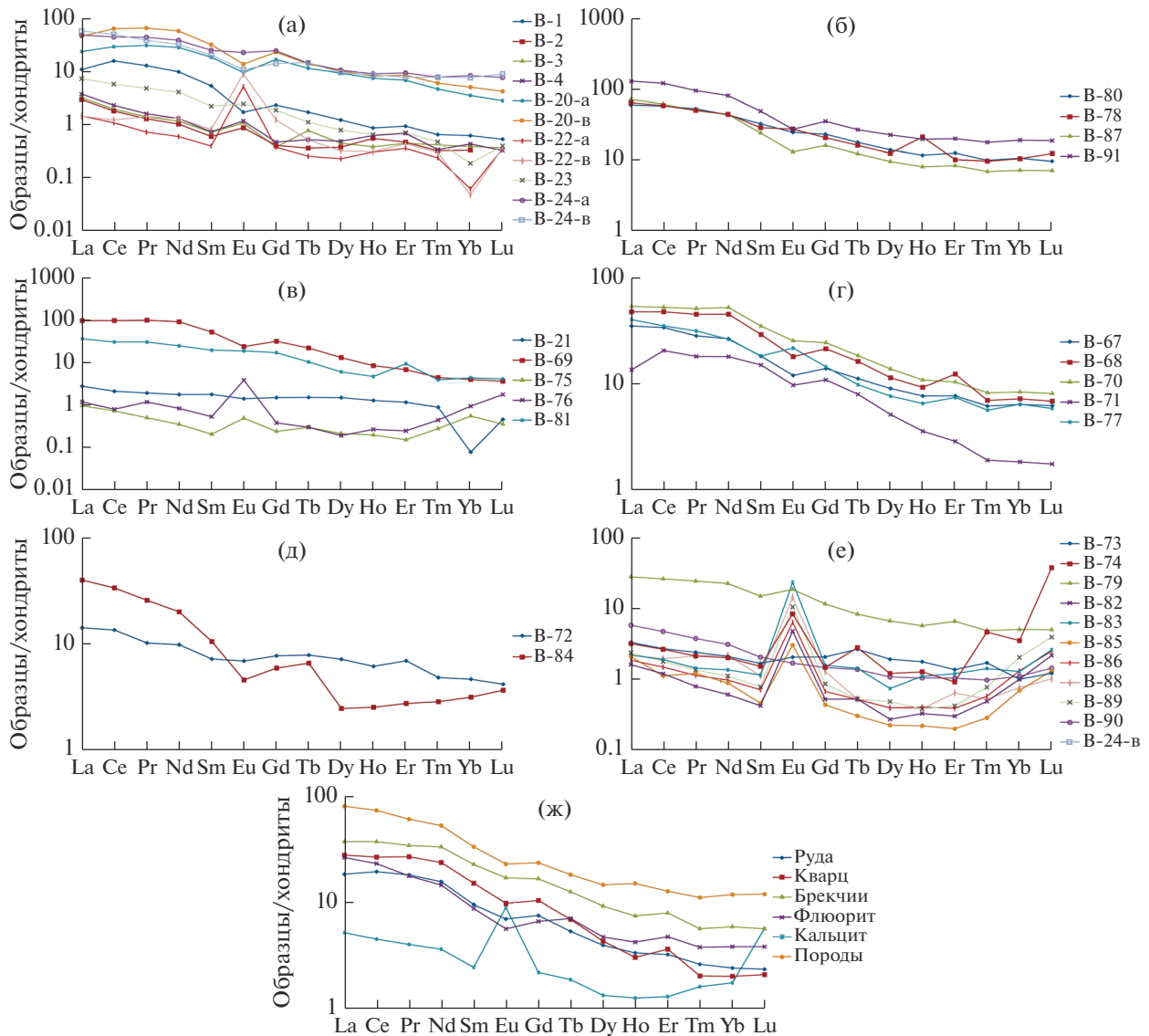
Разнозернистый (с ромбическим сечением) и ксеноморфный адуляр образует близодновременные с кварцем выделения, но иногда встречается и в зальбандах тонких прожилков кварца. После появления адуляра наблюдается катаклаз и внутрижильное дробление (фиг. 9е).

Отметим, что обогащенные Au и Ag участки жил обычно в той или иной степени на макро- и микроуровнях демонстрируют признаки метакolloидных текстур. При этом рудные минералы приурочены к параллельным полосчатости полосам скрытокристаллических агрегатов кварца и

адуляра, выделяющимся в образцах серым цветом (фиг. 9в).

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД

Главные жильные минералы руд месторождения – кварц и адуляр, они составляют 98–99% жильной массы. Количество адуляра редко превышает 5–7%, но местами достигает 30% и более. Реже встречаются кальцит, хлорит, флюорит, серицит, пирофиллит, каолинит, монтмориллонит, гипс, эпидот. Хлорит (в количестве до 3–5%) отмечается на средних и нижних глубинных уровнях рудных тел и не характерен для верхнего уровня.



Фиг. 8. Распределение РЗЭ, нормированных по хондритам (Anders, 1989): в эпитермальных рудах (а), вмещающих породах (б), безрудных кварцевых жилах (в), гидротермальных брекчиях (г), флюорите (д), кальцит-содержащих жилах (е) Au–Ag месторождения Валунистое; ж – распределение средних значений РЗЭ перечисленных выше образований. Номера проб см. в табл. 8–10.

К важной минералогической особенностью относится широкое распространение поздних жильных минералов – кальцита, флюорита и гипса. При этом проявления гипса отчетливо тяготеют к приповерхностным уровням минерализации. Ниже в кварцевых жилах интенсивно развиты крупнокристаллический кальцит и флюорит.

Распределение Au и Ag в рудных телах крайне неравномерное и носит гнездовой характер. Количество рудных минералов в жилах обычно не превышает 0.5%, в редких случаях достигает 5%. Рудные минералы представлены самородным золотом (электрум), пиритом, халькопиритом, акантитом, самородным Ag, агвилларитом, штрмейритом,

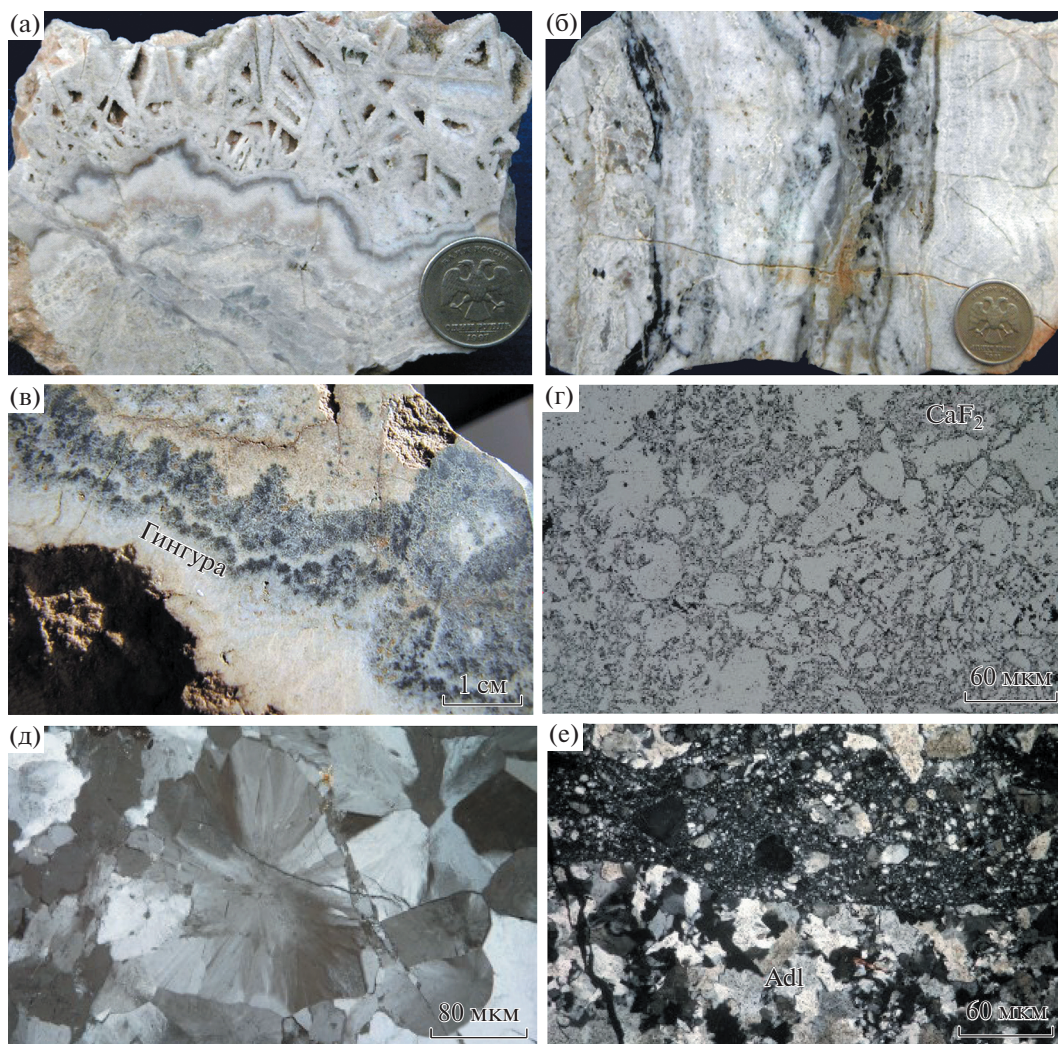
сульфосолями Ag, и в резко подчиненном количестве галенитом и сфалеритом. Рудная минерализация встречается: 1 – в колломорфных адуляр-кварцевых полосах; 2 – в адуляризованных обломках боковых пород; 3 – в адуляровых корочках; 4 – на границе скоплений адуляра и кварца, а также 5 – в метасоматически измененных породах.

На нижних горизонтах жил (в 100 м от поверхности) увеличивается роль халькопирита, галенита и сфалерита (Шабалин и др., 1995ф). В сфалерите появляется эмульсионная вкрапленность халькопирита, отсутствующая на верхних горизонтах жил. Золото-акантитовая минерализация на глубине сменяется Au-халькопиритовой. Осо-

Таблица 6. Результаты анализа проб месторождения Валунистое на Au, Ag, Pt

Номер п/п	Номера проб	Содержание элементов в г/т														ΣREE _N	Eu/Sm _N			
		Ag	Au	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er			Tm	Yb	Lu
1.	В-20а	43.15	42.78	12.72	5.58	18.07	2.88	13.01	2.77	0.499	3.32	0.415	2.29	0.409	1.10	0.117	0.57	0.070	155	0.5
2.	В-20в	10.70	10.60	13.91	11.00	39.79	6.11	26.53	4.76	0.719	4.56	0.505	2.55	0.458	1.32	0.149	0.82	0.104	274	0.4
3.	В-21	0.87	0.88	1.91	0.67	1.34	0.18	0.82	0.27	0.076	0.30	0.057	0.38	0.072	0.19	0.023	0.01	0.011	161.	0.8
4.	В-22а	28.40	75.70	0.26	0.35	0.66	0.07	0.27	0.06	0.281	0.08	0.009	0.06	0.017	0.06	0.006	0.01	0.008	9	12.9
5.	В-22в	95.20	57.50	0.29	0.34	0.76	0.13	0.60	0.12	0.485	0.24	0.019	0.08	0.017	0.07	0.007	0.01	0.009	14	11.2
6.	В-23	357.88	0.97	0.77	1.73	3.56	0.44	1.88	0.33	0.130	0.37	0.040	0.19	0.036	0.11	0.012	0.03	0.010	25	1.1
7.	В-24а	127.00	16.60	9.20	11.56	27.99	4.07	17.51	3.67	1.201	4.83	0.518	2.68	0.495	1.50	0.196	1.36	0.193	240	0.9
8.	В-24в	4.78	1.65	11.86	13.92	30.27	3.64	14.72	3.02	0.567	2.85	0.523	2.37	0.470	1.26	0.194	1.26	0.220	221	0.5
9.	В-67	3.35	0.10	7.85	8.32	20.88	2.65	12.24	2.71	0.634	2.78	0.404	2.24	0.420	1.23	0.152	1.03	0.153	170	0.6
10.	В-68	1.35	0.22	9.61	11.45	29.50	4.23	20.95	4.32	0.957	4.29	0.590	2.82	0.506	1.98	0.173	1.17	0.169	249	0.6
11.	В-69	0.95	0.09	12.81	24.03	62.40	9.60	42.93	8.05	1.310	6.55	0.814	3.37	0.478	1.14	0.113	0.66	0.092	439	0.4
12.	В-70	6.26	0.06	13.85	12.85	32.50	4.80	24.04	5.17	1.346	4.90	0.669	3.42	0.596	1.67	0.204	1.36	0.201	285	0.7
13.	В-71	2.75	3.39	4.77	3.22	12.64	1.69	8.30	2.24	0.513	2.16	0.285	1.26	0.194	0.46	0.047	0.30	0.043	99	0.6
14.	В-72	4.23	0.22	10.59	3.34	8.26	0.95	4.46	1.06	0.362	1.53	0.282	1.76	0.331	1.11	0.118	0.75	0.102	84	0.9
15.	В-73	0.71	0.26	3.08	0.79	1.65	0.22	0.97	0.25	0.108	0.41	0.096	0.47	0.097	0.22	0.042	0.16	0.030	21	1.2
16.	В-74	3.43	0.80	2.27	0.77	1.63	0.20	0.93	0.22	0.429	0.30	0.100	0.30	0.070	0.15	0.115	0.55	0.907	55	5.2
17.	В-75	8.13	0.19	0.25	0.24	0.46	0.05	0.17	0.03	0.027	0.05	0.011	0.05	0.011	0.03	0.007	0.09	0.009	4	2.4
18.	В-76	1.13	0.03	0.33	0.29	0.50	0.11	0.40	0.08	0.208	0.08	0.011	0.05	0.015	0.04	0.011	0.15	0.044	10	6.9
19.	В-77	0.90	0.05	7.47	9.61	21.75	2.95	12.01	2.70	1.152	2.89	0.352	1.87	0.357	1.18	0.138	1.04	0.144	180	1.2
20.	В-78	1.06	1.07	15.63	15.54	36.42	4.71	20.54	4.29	1.479	4.17	0.592	3.13	1.180	1.65	0.245	1.71	0.307	298	0.9
21.	В-79	0.84	0.61	6.75	6.60	15.99	2.26	10.26	2.20	0.982	2.30	0.297	1.64	0.313	1.05	0.120	0.82	0.122	142	1.2
22.	В-80	0.79	0.25	14.28	14.40	36.05	5.02	20.17	4.95	1.332	4.71	0.656	3.50	0.651	2.06	0.252	1.74	0.243	295	0.7
23.	В-81	4.44	0.46	6.11	8.86	19.20	2.88	11.56	3.01	1.022	3.55	0.375	1.54	0.262	1.54	0.099	0.73	0.104	172	0.9
24.	В-82	0.80	0.11	3.19	0.38	0.73	0.07	0.28	0.06	0.251	0.11	0.019	0.07	0.018	0.05	0.012	0.16	0.053	11	10.9
25.	В-83	0.37	0.08	0.92	0.52	1.18	0.13	0.62	0.17	1.238	0.31	0.051	0.18	0.060	0.19	0.035	0.21	0.063	32	19.5
26.	В-84	0.59	0.02	3.41	9.46	20.50	2.38	9.10	1.56	0.243	1.17	0.237	0.60	0.137	0.44	0.070	0.50	0.089	125	0.4
27.	В-85	0.56	0.02	0.45	0.51	0.68	0.11	0.41	0.07	0.159	0.09	0.011	0.06	0.012	0.03	0.007	0.11	0.032	9	6.3
28.	В-86	0.56	0.03	0.64	0.44	0.92	0.11	0.45	0.11	0.332	0.13	0.019	0.10	0.022	0.06	0.014	0.21	0.061	14	8.6
29.	В-87	0.95	0.12	7.77	17.03	38.56	4.69	20.49	3.61	0.703	3.30	0.453	2.39	0.450	1.38	0.175	1.19	0.178	263	0.5
30.	В-88	7.13	0.59	0.62	0.52	1.20	0.20	1.00	0.17	0.760	0.27	0.019	0.10	0.021	0.10	0.013	0.12	0.025	22	12.5
31.	В-89	0.58	0.40	0.62	0.57	1.11	0.13	0.52	0.12	0.556	0.17	0.019	0.12	0.021	0.07	0.019	0.32	0.096	20	12.8
32.	В-90	4.10	0.40	1.53	1.39	2.94	0.35	1.44	0.31	0.090	0.29	0.050	0.27	0.057	0.17	0.024	0.18	0.035	23	0.8
33.	В-91	1.58	0.28	26.38	31.44	75.68	8.96	38.10	7.38	1.470	7.12	0.989	5.70	1.096	3.26	0.448	3.14	0.473	531	0.5

Примечание. В-20а, в, В-22–В-24 – Au–Ag–эпитермальные руды; В-80, В-78, В-87, В-91 – вмещающие породы; В-21, В-69, В-75, В-76, В-81 – безрудные кварцевые жилы; В-67, В-68, В-70, В-71, В-77 – гидротермальные брекчии; В-72, В-84 – флюорит; В-73, В-74, В-79, В-82, В-83, В-85, В-86, В-88–В-90 – кальцитовые и кальцит-содержащие жилы.



Фиг. 9. Текстурно-структурные особенности рудоносных жил месторождения Валунистое. а – адуляр-кварцевая жила коломорфной и каркасно-пластинчатой текстуры. Зона Главная. Канавка 106 (коллекция И.С. Раевской); б – адуляр-кварцевая жила ритмично-полосчатой текстуры. Зона Главная. Канавка 106 (коллекция И.С. Раевской); в – гингура (фестончатая структура, полосы минералов серебра и электрума в адуляр-кварцевой жиле. Зона Главная (коллекция музея МГГРУ); г – брекчиевая текстура (флюорит, цементирующий обломки перистого кварца и адуляра); д – радиально-лучистый кварц; е – микробрекчия, содержащая обломки адуляра и кварца, секущая адулярную полосу в жиле.

бенность руд заключается в многообразии минеральных форм Ag, равномерном распределении Se-минерализации, наличии сульфосолей Ag и Bi.

В рудах и вмещающих породах изученных участков к настоящему времени, учитывая результаты предшествующих исследований (Брызгалов, Кривицкая, 1998; Новоселов и др., 2009; Шабалин и др., 1995ф), диагностировано более 50 минеральных видов (табл. 7). Из более 30 гипогенных рудных минералов около 20 (минералы Au и Ag) – объекты промышленного интереса. Ниже приведена характеристика основных рудных минералов.

Пирит неравномерно развит в виде кристаллов и их сростков, размером до 0.1 мм, кристаллы в основном корродированы. Как уже отмечалось,

пирит может содержать микровключения самородного Au, а также сульфидов и сульфосолей Ag, в одном случае в нем отмечено тонкое включение *галенита*. В нескольких случаях пирит более поздней генерации встречен в виде каемок по периферии акантита.

Халькопирит образует довольно редкие ксеноморфные выделения размером преимущественно в сотые доли мм (фиг. 10а), также встречается в виде тонких, извилистой формы реликтов, замещаемых акантитом. Иногда по халькопириту развиваются очень тонкие прерывистые каймы борнита.

Сфалерит – редкие изометричные включения, размером в первые сотые доли мм, часто на кон-

Таблица 7. Распространенность минералов в рудах месторождения Валунистое

Относительная распространенность	Гипогенные рудные минералы	Гипергенные минералы	Нерудные минералы
Главные	Пирит, акантит, халькопирит, галенит, сфалерит		Кварц, адуляр
Второстепенные	Au сам., Ag сам., полибазит, акантит, Se-акантит**, минералы системы Ag–Te–Se–S*	Гидроксиды Fe	Кальцит, флюорит, эпидот, серицит, хлорит, пирофиллит, альбит
Редкие	Пирсеит, магнетит, гематит, марказит, фрейбергит*, тетраэдрит, бурнонит, минералы систем Ag–Te–Se*, Ag–Se–S*, Ag–Te–S*, гессит*, матильдит*, минералы системы Ag–Bi–Te–S*, Ag–Pb–Te–S*, теллуриды Bi*, штромейерит*, сульфоселенид Ag*	Ковеллин, халькозин, борнит, англезит, оксиды Pb, Cu сам., Ag сам. и Se-акантит**, каолинит, смектит, теллураты Ag*, селенаты Ag*, малахит*	Fe–Mg карбонат, гипс, цеолит

Примечание. * – минералы, отмеченные предшествующими исследованиями (Брызгалов, Кривицкая, 1998; Новоселов и др., 2009; Шабалин и др., 1995ф); ** – Ag сам. и Se-акантит встречены как в гипогенной, так и в гипергенной ассоциации.

Таблица 8. Представительные анализы самородного Au (1–4) и самородного Ag (5–9) месторождения Валунистое, мас. %.

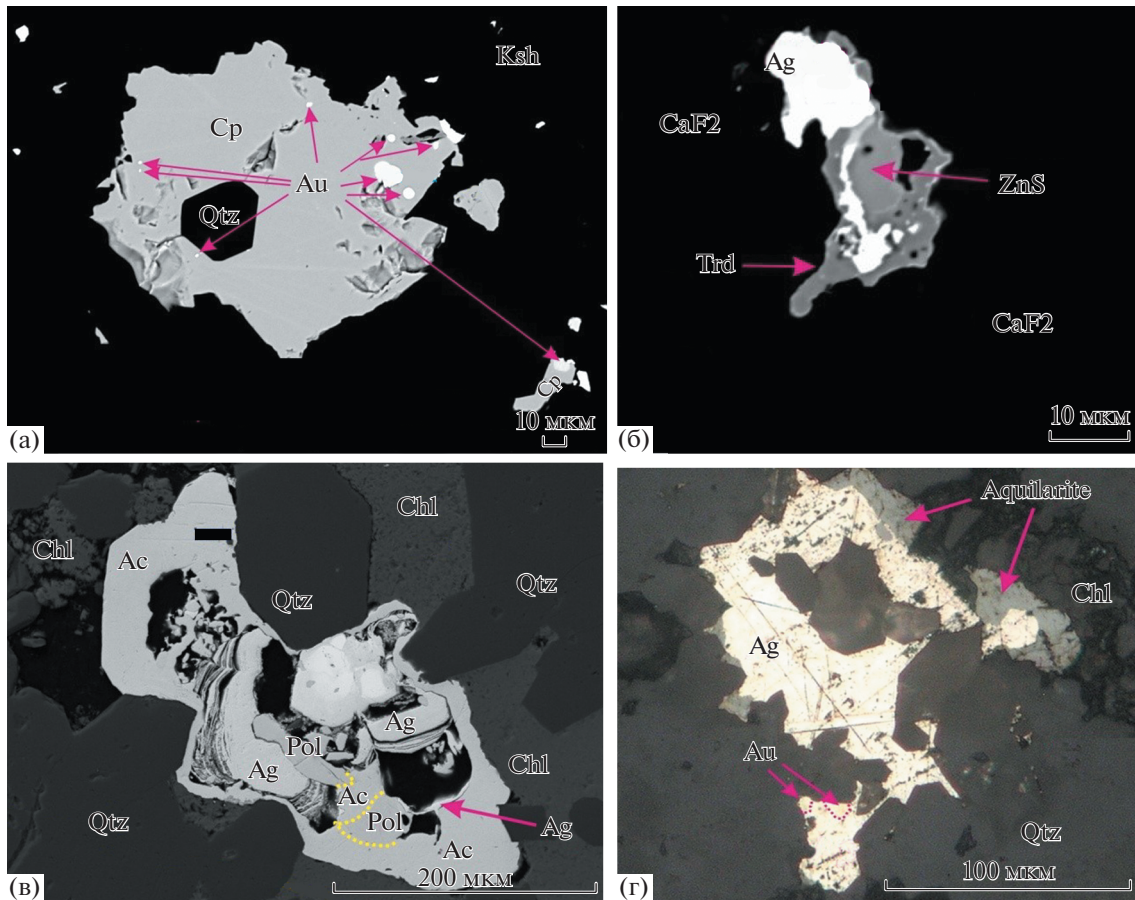
Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Au	73.60	61.41	60.39	59.11	36.95	3.21	0.89	0.28	–
Ag	19.01	40.33	38.87	40.59	54.86	89.36	94.86	89.14	91.53
Hg	7.38	–	–	–	6.18	7.87	5.55	11.84	9.35
Cu	–	0.04	0.06	0.80	–	–	0.26	0.13	0.58
Bi	–	–	–	–	–	–	0.35	0.30	–
Сумма	99.99	101.78	99.32	100.50	97.99	100.44	101.91	101.69	101.46
Пробность	736	603	608	588	377	32	9	3	0

такте с халькопиритом, иногда сростается с тетраэдритом (фиг. 10б).

Самородное золото наблюдается как в халькопирите и пирите, так и в жильных минералах – адуляре, кварце и флюорите, образует выделения преимущественно изометричной округлой формы (фиг. 10а), а также – удлиненные неправильной формы. В одном случае самородное Au встречено в кальците. Кроме того, каемчатые и более сложные образования самородного Au наблюдались в сростании с самородным Ag. Размер выделений колеблется от 1 до 80 мкм. Для самородного Au характерны удлиненные формы, с более высокой пробностью – до 763, при средней пробности по всем имеющимся образцам месторождения Валунистое – 608 (значения изменяются от 588 до 736‰, табл. 8). Иногда содержит ртуть (до 7 мас. %) и медь (0.04–0.80 мас. %) (табл. 8).

Самородное Ag обнаружено в сростании с халькопиритом и науманнитом в пределах флюоритовых прожилков или на контакте адуляра и кварца с флюоритом и в пределах агрегатов минералов Au и Ag (фиг. 10б–г). По распространенности в рудах месторождения самородное Ag значительно уступает самородному Au, поскольку локализовано только в участках проявления флюорита. Состав самородного Ag приведен в табл. 8. Как видно из анализов, содержание Hg в нем колеблется от 5.6 до 11.8 мас. %, имеются примеси Cu (0.13–0.58 мас. %) и Bi (0.30–0.35) (табл. 8). Выделения самородного Ag имеют как четкие, так и расплывчатые контакты с самородным Au. Форма выделений – изометричная, размер – 10–100 мкм (фиг. 10б–г). Пробность самородного Ag изменяется от 0 до 377‰ (табл. 8).

Науманнит Ag₂Se встречен в двух случаях в пределах халькопиритовых выделений, локализо-



Фиг. 10. Основные рудные минералы месторождения Валунистое. а–в – снимки в обратно-рассеянных электронах, г – микрофотография. а – большое количество мелких выделений самородного Au в халькопирите (Cp) в адуляровой матрице; б – выделение самородного Ag на контакте срастания тетраэдрита (Ttd) и сфалерита во флюоритовой матрице; в – агрегат полибазита (Pol) и самородного Ag в акантитовой (Ac) матрице; г – самородное Ag в агвиларите. Qtz – кварц, Ksh – адуляр, Chl – хлорит.

ванных во флюорите или на контакте флюорита с адуляром и кварцем. Размер выделений науманита не превышает 12 мкм. Состав минерала приведен в табл. 9.

Акантит выполняет трещины мощностью в первые мкм в кварц-адуляровом агрегате и образует мелкие выделения в срастании с самородным серебром и полибазитом (фиг. 10в). Акантит образует две генерации. Первая генерация, видимо, предшествует самородным минералам (и, вероятно, может содержать Se), вторая – не содержит Se, образует сплошные и прерывистые каймы на ранее выделившихся минералах Ag, а также выполняет трещины в кварце. Состав минерала приведен в табл. 9.

Полибазит наблюдается в виде изометричных, но чаще удлиненных включений в акантите, самородном Ag и самородном Au (фиг. 10в). Размер выделений от первых мкм до 90 мкм. Замещается самородным серебром. Состав минерала приведен в табл. 9.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

При визуальном изучении флюидных включений в кварце и кальците руд месторождения Валунистое по их наполнению можно выделить один тип включений: двухфазовые газово-жидкие включения слабоминерализованных растворов с газовым пузырьком, составляющим 5–20 об. % от общего объема включения. (фиг. 11а–г). Для термо- и криометрических исследований выбирались прежде всего флюидные включения, расположенные в зонах роста или равномерно распределенные по объему отдельных зерен кварца и отнесенные нами к первичным включениям.

Результаты термо- и криометрических исследований более 100 индивидуальных флюидных включений в кварце и кальците месторождения Валунистое (табл. 10, фиг. 11д) показали, что в составе растворов двухфазовых флюидных включений преобладали хлориды Na и K. Об этом свидетельствуют эвтектики растворов включений в

Таблица 9. Составы рудных минералов месторождения Валунистое, по данным микрорентгеноспектрального анализа (мас. %)

Компонент	1	3	4	5
Ag	88.10	76.50	76.66	73.88
S	12.43	1.14	1.06	13.91
Se	—	23.20	23.17	2.26
Cu	—	1.00	0.81	2.22
Hg	—	0.03	0.19	—
As	—	—	—	1.20
Sb	—	—	—	7.15
Сумма	100.89	101.86	101.89	100.62
Коэффициенты в кристаллохимических формулах				
Ag	2.03	2.02	2.03	15.80
S	0.97	0.10	0.09	10.01
Se	—	0.84	0.84	0.66
Cu	—	0.04	0.04	0.81
Hg	—	—	—	—
As	—	—	—	0.37
Sb	—	—	—	1.35
Минерал	Акантит Ag ₂ S	Науманит Ag ₂ Se	Науманит Ag ₂ Se	Полибазит (Ag,Cu) ₁₆ Sb ₂ S ₁₁

температурном интервале от -25 до -33°C . Полная гомогенизация флюидных включений происходит в кварце при температурах от 203 до 284°C , и в кальците – от 174 до 237°C , а концентрация солей составляет от 0.2 до 0.7 мас. %-экв. NaCl для включений в кварце и кальците (табл. 10). Плотность флюида изменяется от 0.90 до 0.73 г/см³. Отметим, что флюиды месторождений Валунистое и Купол имеют очень близкие физико-химические параметры (Волков и др., 2012).

Валовый химический состав флюидов из включений в кварце месторождения Валунистое приведен на диаграмме (фиг. 11е). Во флюиде среди катионов главную роль играют (г/кг H₂O): K (2.26) и Na (0.94), а Mg (0.04) находится в подчиненном количестве. Установлены заметные количества

таких компонентов, как (г/кг H₂O): HCO₃⁻ (3.11), CO₂ (5.4) и CH₄ (0.07). Кроме того, в составе флюида выявлены микрокомпоненты (мг/кг H₂O): As (128), Li (18.0), B (41.8), Rb (1.1), Cs (0.24), Sr (4.1), Sb (22.0), Cu (3.2), Zn (26.7), Cd (0.02), Pb (2.1), Bi (0.09), Th (0.01), Ga (0.05), Ge (0.18), Mn (13.1), Fe (104), Co (1.35), V (0.09), Y (0.01), Zr (0.36), Sn (0.07), Ba (1.4), W (0.003), Tl (0.03) и REE (0.05). Основные показатели состава флюида составляют: CO₂/CH₄ = 76.57, Na/K = 0.41, а K/Rb = 238.9.

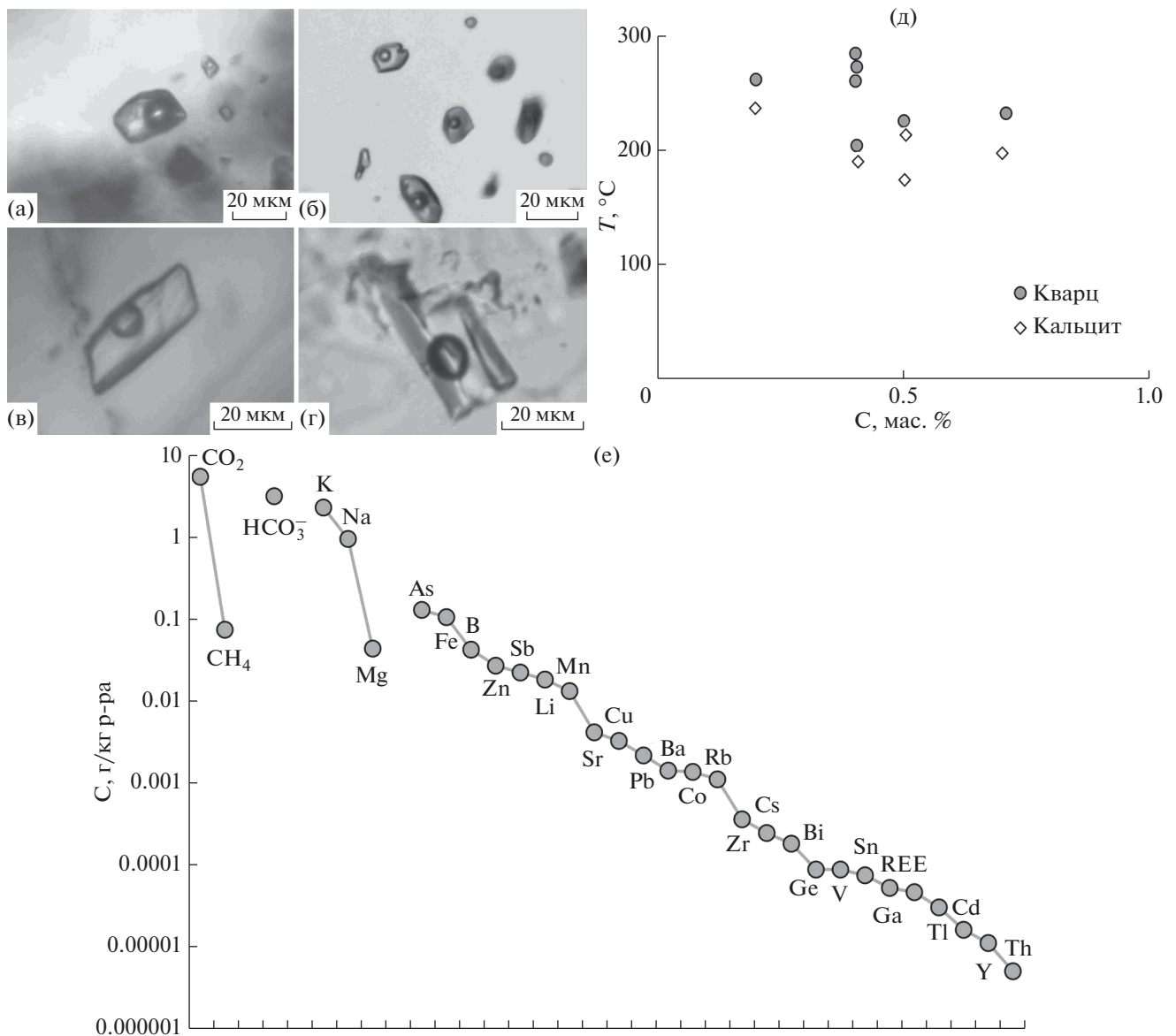
Месторождение Валунистое по составу флюидов сходно с близкорасположенным месторождением Жильное (Елманов и др., 2018). Кроме того,

состав флюидов Валунистого имеет некоторое сходство с флюидами месторождений Купол и Двойное (Волков и др., 2012). Однако месторождение Купол отличается относительно большей минерализацией флюидов.

Низкие концентрации солей и температуры формирования руд аналогичны флюидам эпитеpmальных низкосульфидизированных месторождений (Simmons et al., 2005, Vodnar et al., 2014; и др.). Учитывая исключительно низкую минерализацию флюидных включений в кварце, растворы, формировавшие кварцевые жилы, наиболее вероятно, представляли собой сконденсированный пар, отделявшийся от гидротермального флюида в результате вскипания при резком перепаде давления.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Важная структурная особенность месторождения Валунистое – формирование золото-серебряносных жильных зон – контролируется субвулканическими телами флюидадных риодацитов (см. фиг. 3). Вторая важная в промышленном отношении особенность структуры месторождения – значительная протяженность рудоносных зон по простиранию (более 1.5 км). По-видимому, эти особенности обусловлены формированием рудных зон месторождения в жерловых фациях палеовулканической постройки. В пользу такого вывода говорит также наличие в рудных телах



Фиг. 11. Фотографии флюидных включений в кварце (а, б) и кальците (в, г), диаграмма “температура – концентрация солей” (д) и состав минералообразующих флюидов (е) месторождения Валунистое.

месторождения большого количества брекчий и мегабрекчий с кокардовыми текстурами обростания обломков различного петрографического состава халцедон-адуляровым агрегатом (с золото-серебряной минерализацией), а также разнообразие брекчий, маркирующих рудные зоны (см. фиг. 4б, в). Отметим, что аналогичные геолого-структурные особенности характерны для крупных месторождений Купол и Двойное Чукотского отрезка ОЧВП (Волков и др., 2012; Волков и др., 2018).

В результате текстурно-структурного анализа общую последовательность отложения жильных минералов можно представить в следующем виде: 1 – тонкозернистый и криптокристаллический

кварц, безрудный и часто входящий в состав цемента взрывных брекчий (см. фиг. 4б); 2 – ранний мелкозернистый и среднезернистый кварц и адуляр с вкрапленностью рудных минералов; 3 – крупнозернистый радиально-лучистый, перистый и гребенчатый кварц (фиг. 9д) с многочисленными темными микровключениями, расположенными зонально и иногда секториально; 4 – мелкозернистый, до тонкокристаллического, адуляра, наблюдающийся в жилах полоччатого сложения, обычно с ромбической конфигурацией кристаллов или ксеноморфный (фиг. 9е); 5 – флюорит, образующий секущие прожилки или заполняющий кавернозные пустоты в агрегатах крупнозернистого кварца (фиг. 9г); 6 – дроб-

ление внутрижильное и развитие прожилков и жил крупнозернистого и пластинчатого кальцита и тонких прожилков безрудного мелкозернистого кварца; 7 – поздние прожилки гипса (селенита). Последовательность минералообразования показана на фиг. 12.

В обогащенных Au и Ag адуляр-кварцевых жилах отложение начинается с мелкозернистого кварца и мелкого адуляра и первичного концентрирования в этом агрегате микрозернистой рудной минерализации. Слабая раскристаллизация этих агрегатов свидетельствует, скорее всего, о большой скорости их осаждения. Возможно, это определило предпочтительную локализацию части минералов Au и Ag вдоль эндоконтактной части жил. Отложение рудных минералов начинается с сульфидов (пирита, халькопирита, галенита и сфалерита), затем акантита, полибазита и самородного Au, которые находятся в виде вростков в сульфидах. Самородное Au в этой последовательности, скорее всего, более позднее, поскольку нередко локализовано в трещинах в халькопирите, на контактах сульфидов (пирита и халькопирита) и акантита.

Далее, в зависимости от степени открытости полостей и трещин, идет разрастание кварца и адуляра, местами происходит их зональная сегрегация в отдельные прослои (полосы). При этом возможна незначительная перекристаллизация и укрупнение рудных минералов. В частности, иногда отмечается Au–Ag-минерализация в крупнозернистом адуляре, а также в интерстициях кристаллов относительно крупнозернистого перистого кварца. Возможно, именно в это время появляются Se-разновидности минералов Ag.

В пострудный этап на месторождении происходит формирование кальцитовых жил и прожилков (см. фиг. 5). Кальцит обычно не содержит рудных минералов, а редко наблюдающиеся в нем сфалерит и самородное Au, скорее всего, – реликтовые, а не переотложенные. Иногда кальцит пересекается непротяженными извилистыми прожилками плохо раскристаллизованного кварца, содержащего тонкий пирит и хлорит.

Гипергенные изменения руд проявлены относительно слабо, однако их следы в виде гетита, ковеллина, борнита, самородной Cu, англезита или оксида Pb, глинистых минералов встречаются в образцах как с поверхности, так и в скважине. По минералам Ag иногда развиваются акантит и самородное Ag. Предшествующими исследованиями отмечено также высокопробное самородное Au гипергенного происхождения (Шабалин и др., 1995ф).

Выполненное изучение пространственно-временных и физико-химических условий образования кальцита позволило подчеркнуть его важную роль в формировании рудных тел месторождения

Валунистое. Масштабное распространение кальцита в рудных жилах – специфическая его особенность, по сравнению с другими эпипермальными месторождениями Чукотского отрезка ОЧВП. В частности, на месторождениях Купол и Двойное карбонатные минералы практически отсутствуют (Волков и др., 2012; Волков и др., 2018). В фондовых материалах по месторождению Валунистое, как и в последующих публикациях (Волков и др., 2006; Стружков, 2010), упоминается лишь о присутствии кальцита в кварцевых жилах без каких-либо сведений о масштабах и особенностях его развития, а также о пострудном (наряду с гипсом и флюоритом) его образовании.

Установлено весьма широкое распространение крупнозернистого и пластинчатого кальцита как в собственных, так и в кварц-адуляровых и кварц-флюоритовых жилах рудных тел месторождения Валунистое, а также выявлены основные особенности его образования, одной из которых представляется способность кальцита частично или почти полностью заполнять жильное пространство, ранее сложенное кварц-адуляровым агрегатом различной морфологии, т.е. по существу замещать (разубоживать) последний с сохранением в виде реликтовых обломков различного размера. Судя по данным, полученным при изучении ядра скважины VD-12-1301, количество кальцита в адуляр-кварцевых жилах явно возрастает с глубиной. При этом собственно в кальците рудная минерализация редко встречается.

Отметим, что отложению кальцита довольно часто предшествовало образование преимущественно бесцветных флюоритов, которые пересекали, цементировали и выщелачивали брекчированные кварц-адуляровые жилы, что может указывать на активное участие F-содержащих флюидов в разрушении и последующем замещении кварцевых жил кальцитом. Подобное предположение хорошо согласуется с широко известной из неорганической химии способностью растворов с высокой концентрацией HF при повышенных температурах порядка 150–200°C переводить кварц в летучее соединение SiF₄, а также с тем, что углекислые растворы слабоагрессивные по отношению к кварцу в этих условиях (Реми, 1963).

Таким образом, в формировании Au–Ag оруднения месторождения Валунистое выделяются два самостоятельных, разновременных этапа. Эти этапы существенно различаются по характеру жильной минерализации и метасоматических изменений пород в околожильном пространстве, по минеральному составу руд и их геохимическим свойствам.

На первом этапе были образованы типичные кварц-адуляровые жилы и прожилки разнообразной морфологии с широким распространением брекчий, в том числе и взрывчатых. Формиро-

Минералы	Этапы			
	Кварц-адуляровый		Флюорит-кальцитовый	Гипергенный
	Стадии			
	Полиметаллическая	Au–Ag-сульфосольная		
Кварц	██████████	██████████	—————	
Адуляр	—————	—————		
Каолинит			—————	—————
Хлорит	—————	—————	—————	
Пирофиллит			—————	
Альбит	—————			
Fe–Mn-карбонат			—————	
Цеолит				—————
Кальцит			██████████	
Флюорит			██████████	
Эпидот	—————			
Серицит	—————	—————		
Магнетит	—————			
Гематит				—————
Пирит	—————	—————	—————	
Марказит		—————	—————	—————
Арсенопирит	—————			
Галенит	—————			
Сфалерит	—————		—————	
Халькопирит	—————			
Пирсеит		—————		
Бурнонит		—————		
Науманит		—————		
Акантит		—————	—————	—————
Золото сам.	—————	—————	—————	—————
Серебро сам.		—————	—————	—————
Медь сам.				—————
Фрейбергит	—————			
Полибазит		—————		
Гессит		—————		
Матильдит		—————		
Штроейрит		—————		
Ковеллин				—————
Халькозин				—————
Борнит				—————
Малахит				—————
Гипс				—————
Температуры гомогенизации, °C	284 —————> 262	232 —————> 203	237 —————> 174	
Концентрация солей, мас. % экв. NaCl	0.2 —————> 0.4	0.4 —————> 0.7	0.2 —————> 0.7	

Фиг. 12. Последовательность минералообразования.

вание их сопровождалось хлорит-эпидотовыми изменениями пород, что хорошо согласуется с достаточно высокой температурой их образования (до 350°C, по данным изучения флюидных включений в кварце).

Состав эпидота пропицитов может служить индикатором глубинности процессов минералообразования (Русинов, 1989). Условия пропицитизации месторождения Валунистое, судя по составу эпидота из образцов керна скважины (см. табл. 1), отвечают средне-низкоглубинному уровню (Русинов, 1989).

Первый этап завершался отложением преимущественно тонкопрожилковой рудной минерализации в ассоциации с мелкозернистым кварцем. Последняя представлена акантитом и самородным Au (Ag > 50%), а также Ag-содержащими сульфосолями и сульфидами Zn, Pb и Cu, с доминированием двух первых элементов. Для руд характерны высокие значения индикаторного отношения Au/Ag (1 : 50—1 : 70 до более 1 : 100), т.е. явное преобладание Ag в их составе.

Второй этап рудообразования выделяется, в основном, по широкому развитию кальцита и существенно меньшему — флюорита в кварц-адуляровых жилах. При этом после внутрижильного дробления происходило частичное, до почти полного, вытеснение или замещение первичного кварц-адулярового агрегата кальцитом, а также отложение тонковкрапленной рудной минерализации в ассоциации с колломорфным и гребенчатым кварцем и буровато-зеленым железистым хлоритом (см. табл. 2).

В околожильном пространстве наряду с пропицитизацией развиты иные, более низкотемпературные, процессы метасоматического изменения пород: калишпатизация, серицитизация и аргиллизация. Им соответствует и более низкая температура образования кальцита (до 240°C) установленная по данным микротермометрического изучения флюидных включений.

Au—Ag минерализация второго этапа представлена самородным Au при значительно меньшем количестве акантита и Ag-содержащих сульфосолой, а также самородным Ag, Sb- и Se-содержащими сульфосолями и Hg-содержащим самородным Ag и Au. В отличие от первой минеральной ассоциации, для нее характерны низкие значения индикаторного отношения Au/Ag (меньше 1 : 10), т.е. доминирование Au в рудах, а также появление бонанца с высокими содержаниями Au (более 70 г/т).

Следует также отметить еще одну специфическую особенность месторождения Валунистое — при интенсивном внутрижильном развитии кальцита Au—Ag оруденение как бы вытесняется в околожильное пространство, сложенное брекчированными метасоматически измененными по-

родами с густой сетью кварц-адуляровых и других прожилков. При этом пробы из крупных кальцитовых жил содержат незначительное количество Au (до 0.59 г/т, образец В-88), очевидно за счет редких реликтов кварц-адулярового состава. В свою очередь, это указывает на переотложение рудных компонентов с возможным пространственным их разобщением и образованием в благоприятной обстановке богатых бонанцовых руд с доминированием Au.

Появление флюорита на поздних стадиях связано с возгоном F из оловоносных интрузий при постинтрузивной вулканической деятельности, а образование минералов Sb и Hg-содержащего самородного Ag и Au может быть обусловлено металлогенической специализацией района. Цементирование флюоритом ранних минеральных парагенезисов указывает на то, что этот минерал маркирует пострудную тектонику и при этом оказывает метаморфизирующее воздействие на минералы Ag и перераспределение рудного вещества.

Таким образом, Au—Ag руды месторождения Валунистое были сформированы в результате пространственного совмещения гидротермальных процессов, существенно разорванных во времени и, по-видимому, связанных с разновозрастными этапами вулканической деятельности в ОЧВП (Акинин, 2011). Данный вывод имеет не только теоретическое, но и существенное практическое значение для оценки продуктивности жил.

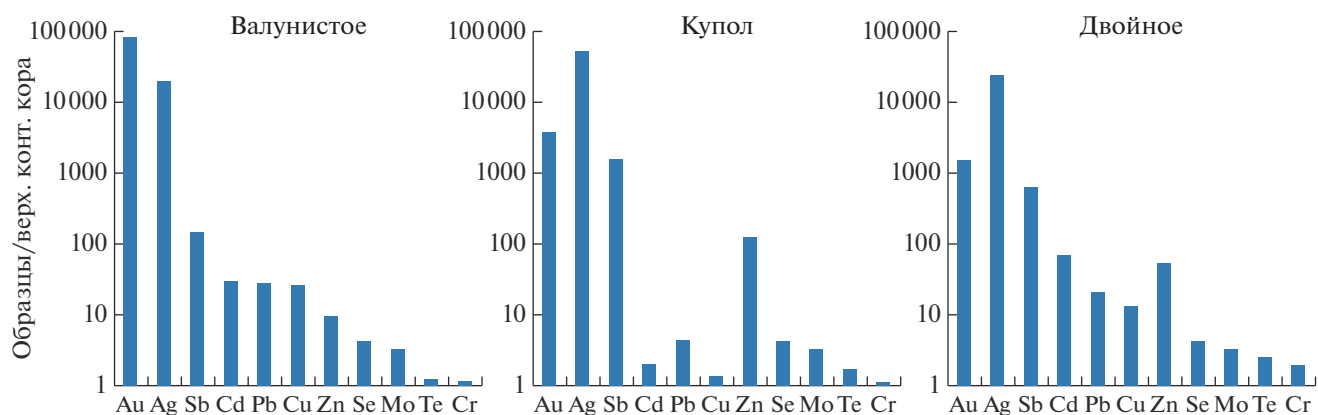
Известно, что микроэлементы и РЗЭ реагируют на окислительно-восстановительную среду природных обстановок, что позволяет использовать их в качестве геохимических индикаторов источников вещества и для оценки условий формирования вулканогенного оруденения.

Отношение U/Th в богатых рудах месторождения Валунистое (см. табл. 4, 5) значительно больше, чем 0.75 (варьирует от 1.12 до 4.26), что свидетельствует о восстановительной среде их образования (Jones, Manning, 1994).

Величина отношения Co/Ni в рудах (табл. 6) варьирует от 0.066 до 0.22, что характерно для смешения средне- и низкотемпературных гидротермальных флюидов метеорного происхождения и высокотемпературного магматического флюида (Kun et al., 2014).

Кроме того, руды явно обогащены легкими и обеднены тяжелыми РЗЭ, имеют значения Hf/Sm, Nb/La и Th/La меньше 1 (см. табл. 6). Следовательно, рудообразующие флюиды принадлежали NaCl—H₂O гидротермальной системе, обогащенной Cl относительно F (Oreskes, Einaudi, 1990), что коррелирует с результатами изучения флюидных включений в рудном кварце (см. выше).

Отношение Y/No в рудах варьирует от 25.27 до 33.59 (см. табл. 6), что отвечает интервалу отно-



Фиг. 13. Распределение основных микроэлементов в эпитермальных рудах Au–Ag месторождений Валунистое, Купол и Двойное, нормированных по отношению к средним значениям для верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988).

шений современных гидротермальных флюидов задуговых бассейнов (Vau, 1991; Jones, Manning, 1994; Monecke et al., 2002).

Для руд месторождения Валунистое установлены достаточно низкие значения ΣREE (от 2.88 до 20.07 г/т) (табл. 6, 7). Аналогичные значения характерны для эпитермальных руд многих месторождений: Кураминского хребта (Узбекистан) и района Банска-Штьявница (Словакия) (Винокуров и др., 1999), месторождений Северо-Востока России (Двойное, Кубака, Биркачан и др.) (Волков и др., 2017).

Eu- и Ce-аномалии обычно рассматриваются как маркеры окислительно-восстановительного потенциала среды рудообразования (Бортников и др., 2007; Горячев и др., 2008). В пробах из руд месторождения Валунистое значения Eu/Eu^* – положительные (>1), а Ce/Ce^* – отрицательные, близкие к 1, при $\Sigma REE_N (>20)$ (табл. 7), за исключением богатых проб (B-1, B-22) с обратным соотношением, при $\Sigma REE_N (<5)$. Первое сочетание Eu/Eu^* и Ce/Ce^* указывает на окислительные условия в процессе рудоотложения, а второе (характерное для богатых руд) – на восстановительные. Очевидно, что ΣREE_N и характер распределения лантаноидов в жилах, имеющих преимущественно брекчиевую текстуру, находится в прямой зависимости от наличия и количества обломков вмещающих пород, т.к. собственно кварцевые жилы отличаются очень низкими концентрациями РЗЭ. Следовательно, можно предположить, что вмещающие породы могли служить источником РЗЭ и других микроэлементов для рудообразующих флюидов, сформировавших это месторождение.

Следует заметить, что повышенные содержания РЗЭ в кварцевых и карбонатных прожилках могут быть связаны с присутствием их во флюидных включениях и/или в виде микровключений редкоземельных минералов – монацита и ксено-

тима (Новгородова и др., 1984; Винокуров и др., 1999).

Наличие положительных Eu-аномалий в жилах различного состава указывает на глубинный источник растворов, по крайней мере нижнекоревый (Винокуров, 1996), а также рассматривается в качестве индикатора высокой продуктивности руд эпитермальных месторождений (Винокуров и др., 1999; Волков и др., 2018).

Сравнительный анализ усредненных геохимических спектров типичных руд трех крупных Au–Ag месторождений ОЧВП (Валунистого, Купола и Двойное) показал их заметное отличие друг от друга, как по набору микроэлементов, так и по коэффициентам обогащения (фиг. 13), что свидетельствует о различной геохимической специализации районов месторождений. Месторождение Валунистое отличается от Купола и Двойного отсутствием As в рудах, присутствием Se и повышенными содержаниями халькофильных элементов – Ag, Cu, Pb, Zn и Cd (фиг. 13).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенная в статье информация имеет практическое значение для региональных прогнозно-металлогенетических построений, поисков и оценки эпитермальных Au–Ag месторождений.

Полученные результаты позволяют обоснованно отнести месторождение Валунистое к низкосульфидизированному эпитермальному классу, предполагать развитие продуктивных эпитермальных жил до глубины 400 и более метров. Подобный диапазон оруденения установлен на практически аналогичном Валунистому по геологическому строению месторождении Купол, где глубина распространения рудных жил – более 450 м (Волков и др., 2012).

Минералого-геохимические и термобарогеохимические особенности руд указывают на сме-

шение рудоносных флюидов с высокоаэрированными метеорными водами, низкий уровень эрозионного среза и на связь с медно-порфировой рудообразующей системой. Крупный масштаб последней позволяет прогнозировать в пределах Валунистого рудного поля открытие новых богатых рудных тел (в том числе и не выходящих на поверхность).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-70001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акинин В.В., Миллер Э.Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканического пояса // Петрология. 2011. Т. 19. № 3. С. 249–290.
- Белый В.Ф. Геология Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994.
- Борисенко А.С. Изучение солевого состава газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
- Бортников Н.С. Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических системах в тектонически активных зонах // Геология руд. месторождений. 2006. Т. 48. № 1. С. 3–28.
- Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Бахарев А.Г. Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Неждановского золоторудного месторождения (Саха-Якутия, Россия) // Геология руд. месторождений. 2007. Т. 49. № 2. С. 99–145.
- 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.
- Винокуров С.Ф. Европиевые аномалии в рудных месторождениях и их генетическое значение // ДАН. 1996. Т. 346. № 6. С. 792–795.
- Винокуров С.Ф., Коваленкер В.А., Сафонов Ю.Г., Керзин А.Л. Лантаноиды в кварцах эпитермальных золоторудных месторождений: распределение и генетическое значение // Геохимия. 1999. №2. С. 171–180.
- Волков А.В., Гончаров В.И., Сидоров А.А. Месторождение золота и серебра Чукотки. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2006.
- Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Савва Н.Е., Сидоров А.А., Бянкин М.А., Уютнов К.В., Колова Е.Е. Рудообразование на Au–Ag месторождении Купол, по данным изучения флюидных включений (Северо-Восток России) // Геология руд. месторождений. 2012. Т. 54. № 4. С. 350–359.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Савва Н.Е., Колова Е.Е., Чижова И.А., Мурашов К.Ю. Геохимические особенности вулканогенного рудообразования в северо-западном сегменте Тихоокеанского рудного пояса // Вулканология и сейсмология. 2017. № 6. С. 3–20.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Прокофьев В.Ю., Савва Н.Е., Колова Е.Е., Мурашов К.Ю. Геохимические особенности эпитермальных Au–Ag месторождений Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса (Северо-Восток России) // Вулканология и сейсмология. 2018. № 6. С. 1–20.
- Горячев Н.А., Викентьева О.В., Бортников Н.С., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Голуб В.В. Наталкинское золоторудное месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (Северо-Восток России) // Геология руд. месторождений. 2008. Т. 50. № 5. С. 414–444.
- Елманов А.А., Прокофьев В.Ю., Волков А.В., Сидоров А.А., Воскресенский К.И. Первые данные об условиях формирования Ag–Ag эпитермальной минерализации месторождения Жильное (Восточная Чукотка) Россия // ДАН. 2018. Т. 480. № 6. С. 693–697.
- Жариков В.А., Горбачев Н.С., Латфутт П. и др. Распределение редкоземельных элементов и иттрия между флюидом и базальтовым расплавом при давлениях 1–12 кбар (по экспериментальным данным) // ДАН. 1999. Т. 366. № 2. С. 239–241.
- Кряжев С.Г., Прокофьев В.Ю., Васюта Ю.В. Использование метода ICP-MS при анализе состава рудообразующих флюидов // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2006. № 4. С. 30–36.
- Лейер П.В., Иванов В.В., Раткин В.В., Бундцен Т.К. Эпитермальные золото-серебряные месторождения Северо-Востока России: первые ⁴⁰Ag–³⁹Ag-определения возраста руд // ДАН. 1997. Т. 356. № 5. С. 665–668.
- Минеев Д.А. Лантаноиды в рудах редкоземельных и комплексных месторождений. М.: Наука, 1974.
- Набоко С.И., Главатских С.Ф. Гидротермальные минералы Горячего пляжа // Минералогия гидротермальных систем Камчатки. М.: Наука, 1970.
- Новгородова М.И., Веретенников В.М., Боярская Р.В. и др. Геохимия элементов-примесей в кварце // Геохимия. 1984. № 3. С. 370–383.
- Новоселов К.А., Котляров В.А., Белогуб Е.В. Сульфоселенид серебра из руд Валунистого золото-серебряного месторождения (Чукотка) // Зап. РМО. 2009. Часть 138. Вып. 6. С. 56–61.
- Ньюберри Р.Дж., Лейер П.У., Ганз П.Б. и др. Предварительный анализ хронологии мезозойского магматизма и оруденения на Северо-Востоке России с учетом датировок ⁴⁰Ag/³⁹Ag и данных по рассеянным элементам изверженных и оруденелых пород // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. Т. 1. С. 181–205.
- Полин В.Ф. Петрология контрастной серии Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля Чукотки. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990.
- Реми Г. Курс неорганической химии. Пер. с нем. М.: ИИЛ, 1963. Т. 1.
- Русинов В.Л. Метасоматические процессы в вулканических толщах. М.: Наука, 1989.
- Сахно В.Г., Полин В.Ф., Акинин В.В., Сергеев С.А., Аленичева А.А., Тихомиров П.Л., Молл-Столкан Е. Дж. Разновременность формирования Амгуэмо-Канчаланского и Энмываамского вулканических полей ОЧВП

- по данным изотопного датирования // ДАН. 2010. Т. 434. № 2. С. 365–371.
- Сидоров А.А.* Золото-серебряная формация Восточно-Азиатских вулканогенных поясов. Магадан, 1978.
- Сидоров А.А., Белый В.Ф., Волков А.В., Алексеев В.Ю., Колова Е.Е.* Золото-сереброносный Охотско-Чукотский вулканогенный пояс // Геология руд. месторождений. 2009. Т. 51. № 6. С. 512–527.
- Стружков С.Ф.* Провинция Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Золоторудные месторождения России. М.: Акварель, 2010. С. 213–242.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988.
- Vau M.* Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and the significance of the oxidation state of europium // Chem. Geol. 1991. V. 93. P. 219–230.
- Bodnar R.J., Vityk M.O.* Interpretation of microthermometric data for H₂O–NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Pontignano: Siena, 1994. P. 117–130.
- 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. Elsevier, 2014. P. 119–142.
- Brown P.* FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // Amer. Miner. 1989. V. 74. P. 1390–1393.
- Jones B., Manning D.A.C.* Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones // Chem. Geol. 1994. V. 111. P. 111–129.
- Keithe T., White D., Beeson M.* Hydrothermal alteration and self sealing in Y – 7 and Y – 8 drillholes in the northern part of Upper Geyser Basin // US Geol. Soc. Prof. Paper. 1978. V. 1054A. P. 34–49.
- Kun L., Ruidong Y., Wenyong Ch. et al.* Trace element and REE geochemistry of the Zhewang gold deposit, southeastern Guizhou Province, China // Chin. J. Geochem. 2014. V. 33. P. 109–118.
- Monecke T., Kempe U., Gotze J.* Genetic significance of the trace element content in metamorphic and hydrothermal quartz: a reconnaissance study // Earth. Planet. Sci. Lett. 2002. V. 202. P. 709–724.
- Oreskes N., Einaudi M.T.* Origin of rare-earth element enriched hematite breccias at the Olympic Dam Cu–U–Au–Ag deposit, Roxby Downs, South Australia // Econ. Geol. 1990. V. 85. № 1. P. 1–28.
- Simmons F. A., White N. C., John D. A.* Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits // Economic Geology/ 100th Anniversary Volume. 2005. Society of Economic Geologists, Inc. P. 485–522.