

УДК 553.411:553.21/24

ВЗАИМООТНОШЕНИЕ РУДНОГО ТЕЛА, ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД И ДАЙКИ РИОЛИТОВ НА ЭПИТЕРМАЛЬНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ КУПОЛ (ЗАПАДНАЯ ЧУКОТКА)

© 2021 г. Н. Е. Савва^а, *, А. В. Волков^б, **, А. А. Сидоров^б, М. А. Бянкин^а

^аСеверо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН,
ул. Портовая, 16, Магадан, 685010 Россия

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

*e-mail: nsavva7803@mail.ru

**e-mail: tma2105@mail.ru

Поступила в редакцию 16.11.2020 г.

После доработки 19.11.2020 г.

Принята к публикации 11.12.2020 г.

Рассмотрены взаимоотношение рудного тела, вулканических пород и дайки риолитов на крупном эпитеpмальном месторождении Купол (Западная Чукотка). Практически на всем своем протяжении (более 3000 м) рудное тело месторождения пересекается дайками риолитов. В изученных профилях в горных выработках на горизонтах 425, 455, 470, 515 м дайка риолитов отчетливо пересекает и делит пополам рудное тело – существенно кварцевую с адуляром жилу, мощностью около 20 м. Риолит имеет порфировую структуру. Основная масса девитрифицирована с образованием афанитового кварц-полевошпатового агрегата с мозаичной микроструктурой. На отдельных участках отмечается флюиальность. Риолиты содержат от 72.96 до 74.97 мас. % SiO₂ и по составу соответствуют биотитовым гранитам низкощелочного ряда. Выявлены следующие критерии, указывающие на пострудный возраст дайки: отчетливое пересечение дайкой мощной рудной жилы; остеклование материала дайки на контакте с жилой; цементирование риолитом раздробленного кварцевого жильного материала; появление отдельных мелких апофиз дайки, проникающих в кварцевую жилу; ксенолиты кварцевого жильного материала в теле дайки; отсутствие проникновения в дайку апофиз рудного тела; увеличение концентрации жильных и рудных минералов на поверхности контакта дайки или в трещинах эндоконтактной зоны. Образование обсидиана (витрофира) по риолиту на контакте с рудным телом свидетельствует о внедрении дайки в уже остывшую систему. Сохранение по обоим залбандам дайки риолитов мощности продуктивной жилы, ее морфологических особенностей и содержаний Au и Ag; одинаковые текстуры и повторяющиеся ритмы в участках ритмично-полосчатого сложения в жиле с двух сторон от дайки показывают, что на месторождении Купол пострудные дайки не замещают и не разубоживают продуктивную жильную систему, что связано, по видимому, с их дилатационным характером и выполнением трещин отрыва.

Ключевые слова: Западная Чукотка, вулканический пояс, месторождение Купол, эпитеpмальные жилы, брекчия, ксенолиты, пострудная дайка риолитов, витрофир, петрография, петрохимия

DOI: 10.31857/S0203030621030056

ВВЕДЕНИЕ

Дайки часто образуют самостоятельные магматические комплексы. При их изучении следует уделять определенное внимание соотношению с вулканическими комплексами, выделяя дайки, сложенные тем же вулканическим материалом, дайки поствулканические, связанные с вулканическими циклами в одном и том же вулканогенном комплексе, а также дайки, указывающие на “отмирание” вулканического процесса [Котляр, Яковлев, 1984].

Генетические связи между дайками, вулканическими породами и рудой на многих месторождениях часто вызывают острые дискуссии. Поэтому важно и необходимо найти новые надежные критерии для распознавания дорудных и пострудных даек. В настоящей работе приведены результаты исследований взаимоотношения рудного тела, вмещающих вулканических пород и дайки риолитового состава на крупном эпитеpмальном Au–Ag месторождении Купол. Изучение дайки риолитов представляет научный интерес, в связи с ее внедрением непосредственно в

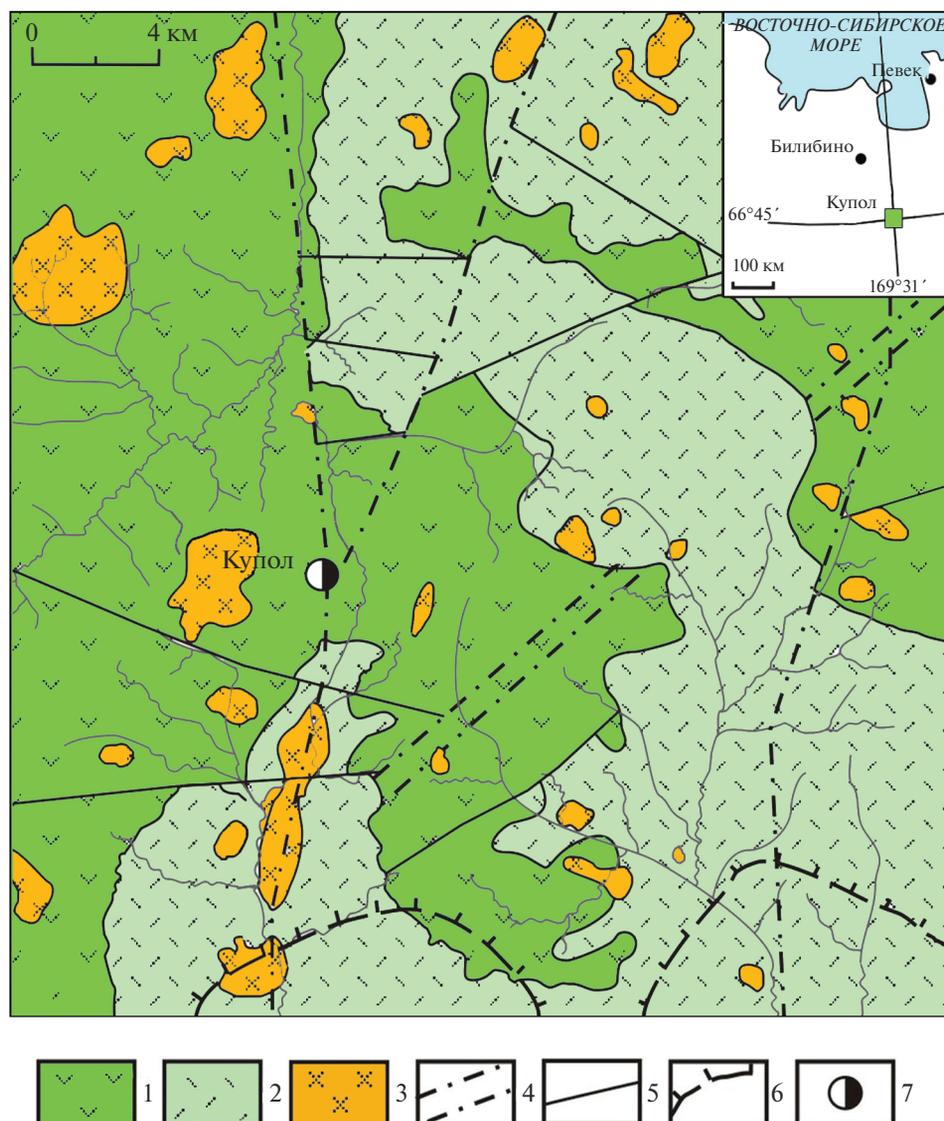


Рис. 1. Схематическая структурно-металлогеническая карта Каемравеемского рудного района (по В.В. Загоскину, 1995 г. с упрощениями).

1 – лавы и туфы андезитов и андезитобазальтов; 2 – игнимбриты, туфы и лавы риолитов; 3 – интрузивные и субвулканические тела различного состава; 4 – осевые зоны крупных разломов; 5 – прочие разломы; 6 – границы палеокальдер; 7 – месторождение Купол.

рудовмещающую полость, где к этому времени уже сформировалось мощное (до 20 м) рудное тело – существенно кварцевая жила с адуляром, содержащая богатую Au–Ag минерализацию. Дайка имеет близкое к жиле субмеридиональное простирание.

Месторождение Купол расположено на границе Анадырского и Билибинского районов Чукотского автономного округа на крайнем Северо-Востоке Российской Федерации, было найдено В.П. Куклевым в 1966 г. и заново открыто В.В. Загоскиным, 1995 г. Оно находится в северо-западной части Анадырского нагорья в верхнем тече-

нии р. Средний Кайемравеем, левого притока р. Мечкеревы (бассейн р. Анадырь), в 220 км на юго-восток от ближайшего крупного населенного пункта – г. Билибино (рис. 1, врезка) и в 400 км к северо-западу от столицы Чукотского АО – г. Анадырь.

В 1998–2007 гг. на месторождении проводились поисково-оценочные и разведочные работы, подтвердившие его крупный масштаб. В феврале 2007 г. канадская компания Кинросс приобрела права на разведку и разработку месторождения Купол. С мая 2008 г. и по настоящее время с месторождения Купол получено более 150 т золота и около

2000 т серебра¹. На 31 декабря 2019 г., по данным Кинросс¹, оставшиеся запасы месторождения составляют 42 т в золотом эквиваленте.

В ИГЕМ РАН ранее изучалась позиция месторождения в региональных геологических структурах, выполнены палеовулканическая реконструкция района и рудноформационный анализ [Кравцов и др., 2005; Сидоров и др., 2007, 2008; Белый и др., 2008], исследованы условия рудообразования и геохимия руд [Волков и др., 2012, 2018], геохронология, петро- и изотопно-геохимические особенности вмещающих пород [Сахно и др., 2019; Сахно, Цурикова, 2020]. Геологическое строение и вещественный состав руд месторождения изучались в ЦНИГРИ и СВКНИИ ДВО РАН [Вартанян и др., 2005; Глухов, 2008; Савва, Бянкин, 2009; Савва и др., 2012].

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУПОЛ

Месторождение расположено в западно-чукотском отрезке мелового Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП). В районе месторождения Купол на сравнительно коротком расстоянии происходит смена существенно базальт-андезитового типа разреза эффузивов Анадырского сектора (гомодромная последовательность) на существенно риолит-дацит-андезитобазальтовый тип разреза (антидромная последовательность) Центрально-Чукотского сектора ОЧВП [Белый и др., 2008].

Месторождение приурочено к центру кальдеры диаметром 10 км, на северо-западной окраине верхнемеловой Мечкеревской вулканотектонической депрессии шириной около 100 км [Вартанян и др., 2005].

В результате палеорекострукции [Белый и др., 2008] выяснилось, что месторождение Купол, весьма вероятно, было локализовано в северо-западном секторе щитообразного андезитового палеовулкана, возникшего после формирования палеокальдеры и впервые установленного в ОЧВП. Здесь месторождение приурочено к длительно развивавшемуся побочному субвулканическому комплексу, на заключительной стадии развития которого формировались протяженные меридиональные дайки кислого состава, сопровождающие рудные тела.

Основной рудоконтролирующий фактор — приуроченность месторождения к сочленению Средне-Кайемравеемского разлома меридионального простирания с Крестовско-Саламихинским разломом глубинного заложения, северо-западного простирания (см. рис. 1). Важно отметить, что большая часть рудных тел рудопроявляе-

ний Кайемравеемского района также имеет суб-меридиональное простирание.

Рудное поле сложено лавами андезитов, реже андезибазальтов с прослоями пепловых туфов и туффигов позднего мела и характеризуется большим количеством пирокластического материала. Вулканиды несогласно перекрывают и прорывают складчатые юрские терригенно-осадочные отложения. Центральная часть сложена туфовой пачкой, в нижней части которой преобладают агломератовые туфы, постепенно сменяющиеся вверх по разрезу более мелкозернистыми разностями вплоть до мелкопсаммитовых. Возраст пород 94–85 млн лет (Ar–Ar датирование) [Леорова и др., 2007]. Аналогичный возраст был определен SHRIMP-методом по цирконам: для покровного туфа (кислого состава) — 94.8 ± 1.4 млн лет, верхних покровных андезитов — 94.5 ± 2 и флюидальных дацитов — 89.5 ± 2 млн лет [Сахно и др., 2019]. Меловые эффузивы перекрыты покровами базальтов предположительно палеогенового возраста. Покровы базальтов отнесены В.Ф. Белым [1977] к энмываамской свите, имеющей поздне-меловой–палеогеновый возраст. Суммарная мощность вулканической последовательности — 1300 м.

Вулканогенная толща характеризуется весьма резкой фациальной изменчивостью, выражающейся в частом взаимном чередовании по вертикали и латерали лав и туфов, наличии многочисленных непротяженных пологозалегающих прослоев и линз вулканогенно-осадочных пород поздне-мелового возраста (см. рис. 1).

Первичные метасоматические изменения вмещающих андезитов и их туфов проявлены в аргиллизации, калишпатизации, карбонатизации, а на более глубоких горизонтах в эпидотизации. Автометасоматические изменения дайки риолитов — окварцевание, серицитизация, альбитизация. Карбонатизация вмещающих пород андезитов и их туфов является более ранней и, возможно, связана с автометасоматозом. Основные вторичные изменения вмещающих пород в околодайковом пространстве, связанные с ее внедрением — окварцевание, серицитизация и хлоритизация.

Околорудные метасоматические изменения весьма разнообразны: от низкотемпературной аргиллизации до высокотемпературной биотитизации. Отмечаются также метасоматиты, связанные с палеосольфатарной деятельностью — алуни-ярозитовые изменения, развитые по основной массе вулканических пород до глубины более 400 м [Савва, Бянкин, 2009; Савва и др., 2012], которые ранее принимались за окисленные руды [Вартанян и др., 2005].

Для структуры месторождения Купол характерна важная генетическая особенность — совпадение магмо и рудопроявляющего канала. Толща вулканогенных пород прорвана субвулканиче-

¹ <http://www.kinross.com/operations/operation-kupol-russia.aspx>

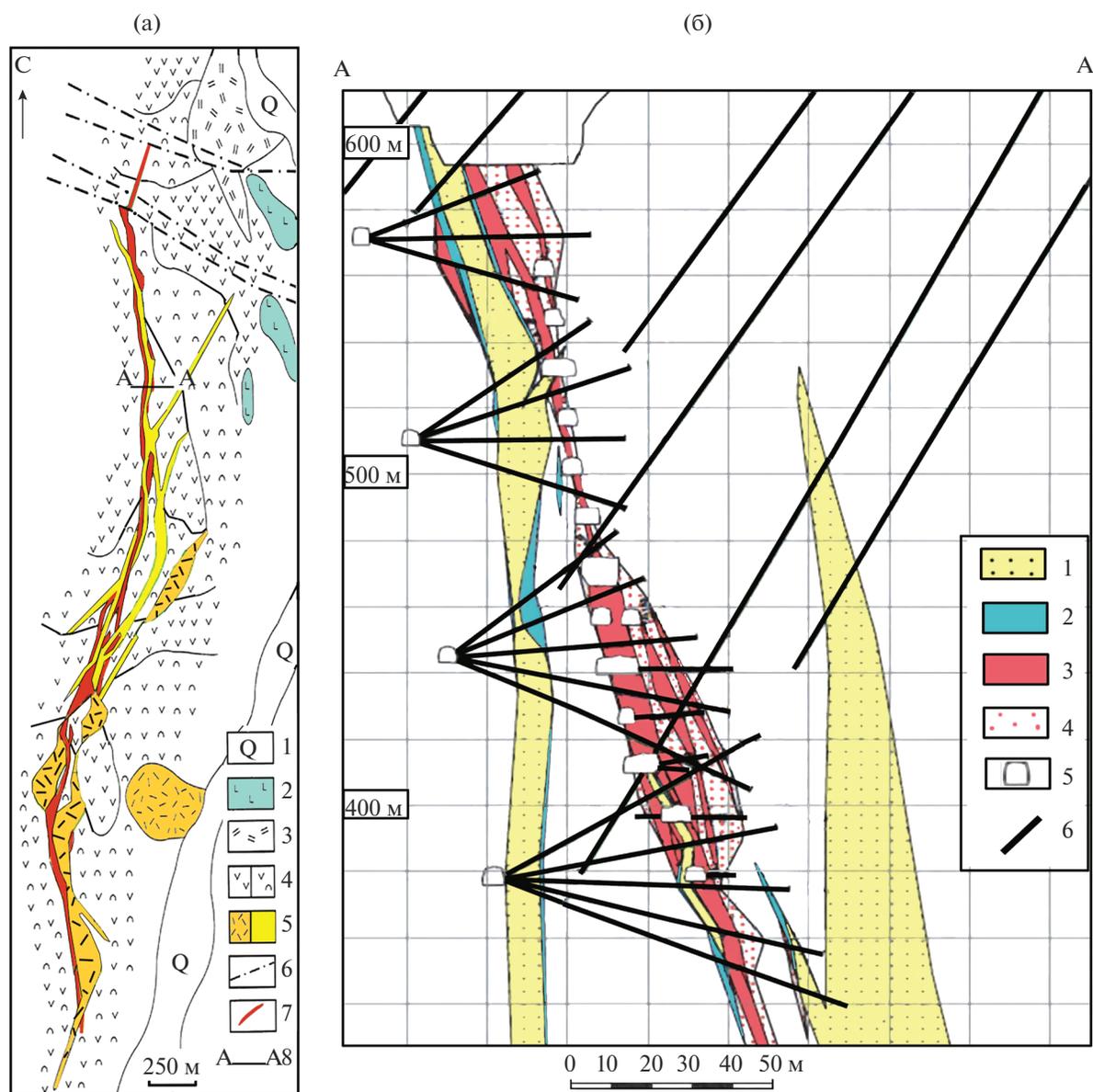


Рис. 2. Положение пострудной дайки риолитов и рудного тела на схематической карте (а) и разрезе (б) на месторождении Купол (по Н.В. Григорьеву, С.В. Филонову, 2004 г. и материалам Чукотской горно-геологической компании, 2015 г. с упрощениями).

а – схематическая карта: 1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2 – покровы палеогеновых базальтов; 3, 4 – поздне меловые вулканиты: 3 – верхняя толща: риолиты, 4 – средняя толща: переслаивание андезитов и андезибазальтов (левая половинка) с агломератовыми лапиллиевыми и пепловыми туфами (правая); 5 – поздне меловые риолиты купольного комплекса (крап) и дайки риолитов, риодацитов; 6 – разломы; 7 – рудные тела: адуляр-кварцевые жилы и зоны прожилкования; 8 – линия разреза.

б – схематический разрез по линии А–А: 1 – дайка риолитов; 2 – трещиноватость; 3, 4 – структура рудного тела: 3 – адуляр-кварцевые жилы; 4 – зоны прожилкования; 5 – горные выработки; 6 – колонковые скважины.

ской свитой крутопадающих даек сложной морфологии риолитового и риодацитового составов (рис. 2а).

Риолитовые лавы и крупные риолитовые и риодацитовые субвулканические тела достаточно широко представлены в структуре месторождения Купол (см. рис. 2а). Они отличаются от даек своими размерами и гетерогенным характером.

По составу эти образования аналогичны дайкам и представляют собой купольные комплексы потоков и небольшие эруптивные центры. На крайнем севере лавы риолитов образуют линзу толщиной от 50 до 75 м, согласно со стратиграфической последовательностью (см. рис. 2а).

Главная рудовмещающая структура месторождения – субмеридиональный взброс, по которому

породы восточного крыла подняты относительно западного. Амплитуды перемещения по взбросу достигают 40 м. Мощность рудовмещающего разлома достигает 22 м, а вместе с дайкой – 40 м.

Рудное тело 1 (РТ 1) имеет протяженность около 3000 м и мощность от 1 до 21 м. Прослежено колонковым бурением до глубины 530 м, что нетипично для эпитермальных золото-серебряных месторождений [Волков и др., 2012]. РТ 1 имеет меридиональное простирание, согласное с отмеченным выше разломом (см. рис. 2а, б), и представлено субпараллельными кулисообразными сближенными кварцевыми жилами и реже брекчиями с кварцевым цементом; падение жил – восточное под углом 75°–85°. Вмещающие породы в эндоконтактах метасоматически изменены и часто пронизаны сетью кварцевых прожилков, образующих рудоносный штокверк.

Практически на всем своем протяжении РТ 1 пересекается пострудными дайками риолитов субмеридионального простирания, падение в большинстве случаев восточное, под углами 70°–90° (см. рис. 2а, б). Амплитуды смещения жил по дайкам составляют местами первые десятки метров. Протяженность даек в плане достигает 1 км и более, мощность варьирует в широких пределах от 1 до 20 м, по падению они прослежены более чем на 300 м. Отдельные дайки имеют мощность до 70 м. Одна из наиболее мощных даек пересекает главную рудную зону и имеет близкое к ней субмеридиональное простирание (см. рис. 2а). Возраст пострудной дайки риолитов по U–Pb методу – 70 млн лет [Акинин и др., 2015]; SHRIMP-методом по цирконам (среднее из трех определений) – 88.89 ± 0.87 млн лет [Сахно и др., 2019]. Последние данные позволяют предположить образование месторождения Купол в интервале 89–88 млн лет.

В южной части месторождения происходит расщепление жильной системы на отдельные кварцево-жильные тела, при этом мощность рудовмещающей зоны увеличивается до 100 м, с последующим выклиниванием ряда жил и образованием отдельных кулисообразных тел. На северном фланге месторождения также происходит расщепление жильной системы на отдельные кулисообразно расположенные кварцево-жильные тела (типа “конского хвоста”). По системе разломов северо-западного простирания (см. рис. 2а) северная часть месторождения опущена, здесь рудные тела постепенно погружаются к северу, переходя в “слепые”, не выходящие на дневную поверхность, с проявлением на верхних горизонтах надрудного ореола (20–30 м) интенсивного метасоматоза.

По-видимому, значительная протяженность рудного тела обусловлена его формированием в жерловых фациях упоминавшегося выше палеовулкана. В пользу такого вывода говорит также наличие в рудных телах месторождения большого

количества брекчий и мегабрекчий с кокардовыми текстурами обрастания обломков различного петрографического состава халцедон-адуляровым агрегатом (с Au–Ag минерализацией), а также разнообразие иных брекчий и даже внутрирудных эксплозивных брекчий.

При общей низкой сульфидности руд месторождения Купол обращает на себя внимание высокое содержание ярозита, который цементирует обломки кварцевого агрегата [Волков и др., 2012]. Ярозит обычен для фумарол или сольфатар, сопровождающих вулканические извержения и характеризующихся высокими давлениями и температурами, доходящими до 300°C [Савва и др., 2012]. В рудах отмечено преобладание сульфида серебра – акантита – над сульфосолями Ag. Для месторождения характерно последовательное снижение Au/Ag отношения от поверхности на глубину от 1 : 3 до 1 : 100 [Савва, Бянкин, 2009].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения взаимоотношений дайки риолитов с вмещающими вулканогенными породами и РТ 1 в горных выработках (горизонты 425, 455, 470, 515 м) по профилям, были отобраны пробы массой 500 г с интервалом 5 м и небольшими сгущениями вблизи кварцевых жил (рис. 3).

Вмещающие породы и метасоматические изменения в дайке риолитов изучены в шлифах, а рудная минерализация – в аншлифах. Кроме того, проведено количественное определение вторичных (метасоматических минералов) в шлифах методом полей. Также пробы были проанализированы рентгенофлуоресцентным методом – методики КХА 165/2009, НСАМ № 118-Х на спектрометре СРМ-25 (силикатный анализ, аналитик В.И. Мануилова, СВКНИИ ДВО РАН) и эмиссионным количественным спектральным анализом ЭКСА (СВКНИИ ДВО РАН, аналитик Т.П. Козырева). Обработка петрохимических данных выполнена в программе EXCEL.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ДАЙКИ РИОЛИТОВ

В центральной части месторождения Купол дайка риолитов линзовидная, местами плитообразная (азимут простирания – 5°–7° СВ), мощностью от 5 до 40 м (см. рис. 2а), протяженность в плане около 1 км, по падению прослежена более чем на 300 м. В подавляющем большинстве случаев контакты дайки тектонизированы с образованием зон катаклаза мощностью от 0.1 до 1–2 м (см. рис. 2б). В изученных профилях дайка риолитов пересекает и делит пополам РТ 1 (см. рис. 3).

Порода имеет порфириковую структуру (рис. 4б, 5б). Основная масса девитрифицирована с образованием афанитового кварц-полевошпатового агрегата с мозаичной микроструктурой. На от-

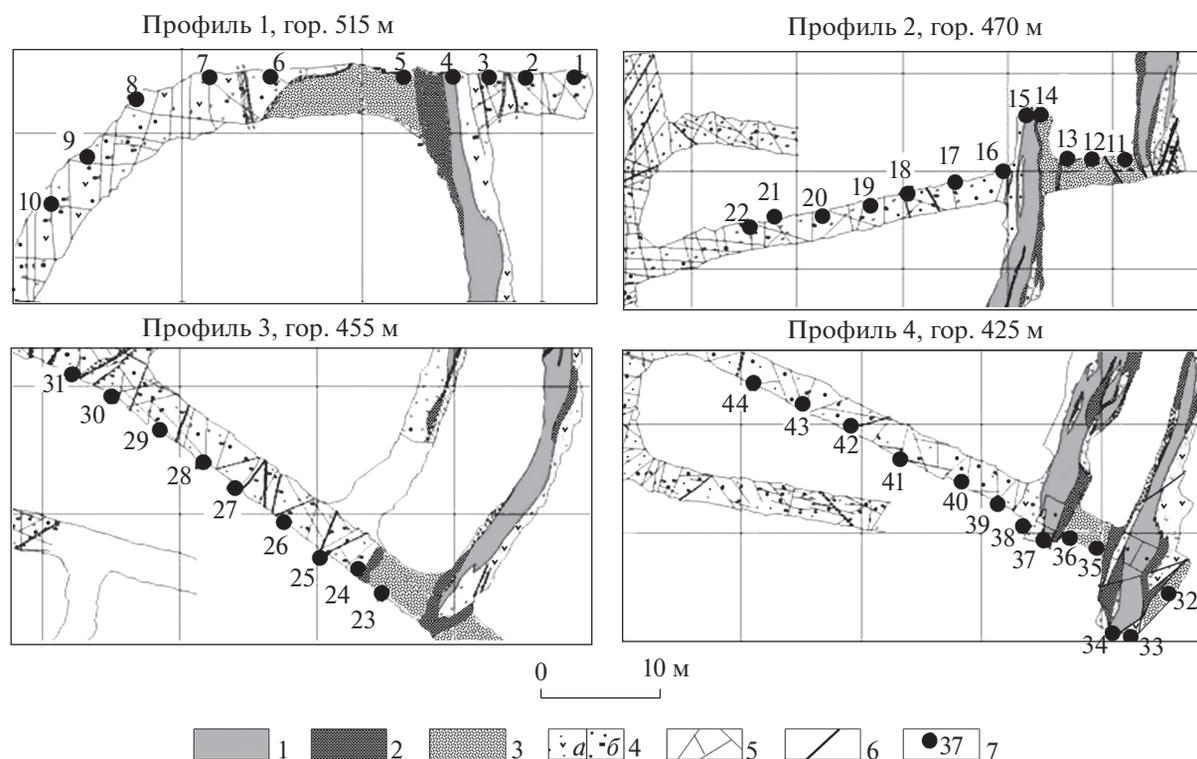


Рис. 3. Схема отбора проб по профилям на различных горизонтах горных выработок.

1 – продуктивные кварц-адуляровые жилы; 2 – сульфидизированные риолиты; 3 – окварцованные риолиты; 4 – сульфидизированные андезиты (а) и туфы андезитов (б); 5 – трещиноватость пород; 6 – тектонические нарушения; 7 – точки отбора проб на профилях и их номера. Условные обозначения соответствуют характеристике проб в табл. 1.

дельных участках в риолитах отмечается флюидальность (см. рис. 5а).

Полосы и линзы, отражающие флюидальность, замещены мелкозернистым кварц-полевошпатовым агрегатом. Автометасоматоз выражается в слабой гидрослюдизации. Порфиновые вкрапленники представлены кислым плагиоклазом (An_{30-15}), калинадровым полевым шпатом (ортоклазом с содержанием альбитового компонента до 50 мол. %), а также кварцем (см. рис. 4б, 5б). Редко встречаются фенокристаллы биотита. Среди аксессуарных минералов наиболее распространены ильменит, циркон, апатит.

Риолиты содержат от 72.96 до 74.97 мас. % SiO_2 и соответствуют по составу биотитовым гранитам [Петрография ..., 2001]. Они относятся к низкоселочному ряду – $Na_2O + K_2O$ варьирует от 5.42 до 8.84 мас. %. Пониженное значение Na_2O (табл. 1) по сравнению со стандартными образцами указывает на эпигенетические преобразования породы [Петрография ..., 2001].

Взаимодействие дайки риолитов с вулканическими породами и рудными образованиями

Внедрение пострудной дайки оказало заметное влияние на вмещающие вулканические породы и рудные тела. В рудных телах образовались брекчии, состоящих из кварца 2-х генераций, где

обломки раннего кварца белого цвета сцементированы кварцем черного цвета (черная кварцевая брекчия) (см. рис. 4г, д). По контакту дайки и вмещающих вулканических пород образуется зона дробления, сложенная перетертым глинистым материалом (см. рис. 2б).

На контакте риолитов с продуктивными жилами отмечается зона остеклования мощностью 0.4 м, что указывает на внедрение дайки в уже остывшие породы. При этом риолит преобразуется в обсидиан (витрофир). Частично этот материал представлен перлитом с концентрически-скорлуповатой отдельностью, образовавшейся в результате гидратации (см. рис. 4а, 5а–г). Цвет витрофира темно-серый с гнездами (“глазками”) прозрачного пузырчатого стекла диаметром до 3 мм (предположительно кристобалит) и порфировыми вкрапленниками плагиоклаза (см. рис. 5г). Для витрофира характерна отчетливо проявленная полосчатая текстура (см. рис. 5б, в). Полосы отличаются по цвету и структуре, представляя собой следы вязкого течения твердеющего расплава. В первую очередь полосчатость обусловлена распределением различных по размеру удлиненных микролитов с субпараллельной ориентировкой в вулканическом стекле в виде потоков.

В приконтактных участках риолиты, слагающие дайку, нередко содержат мелкие 3–7 мм ксе-

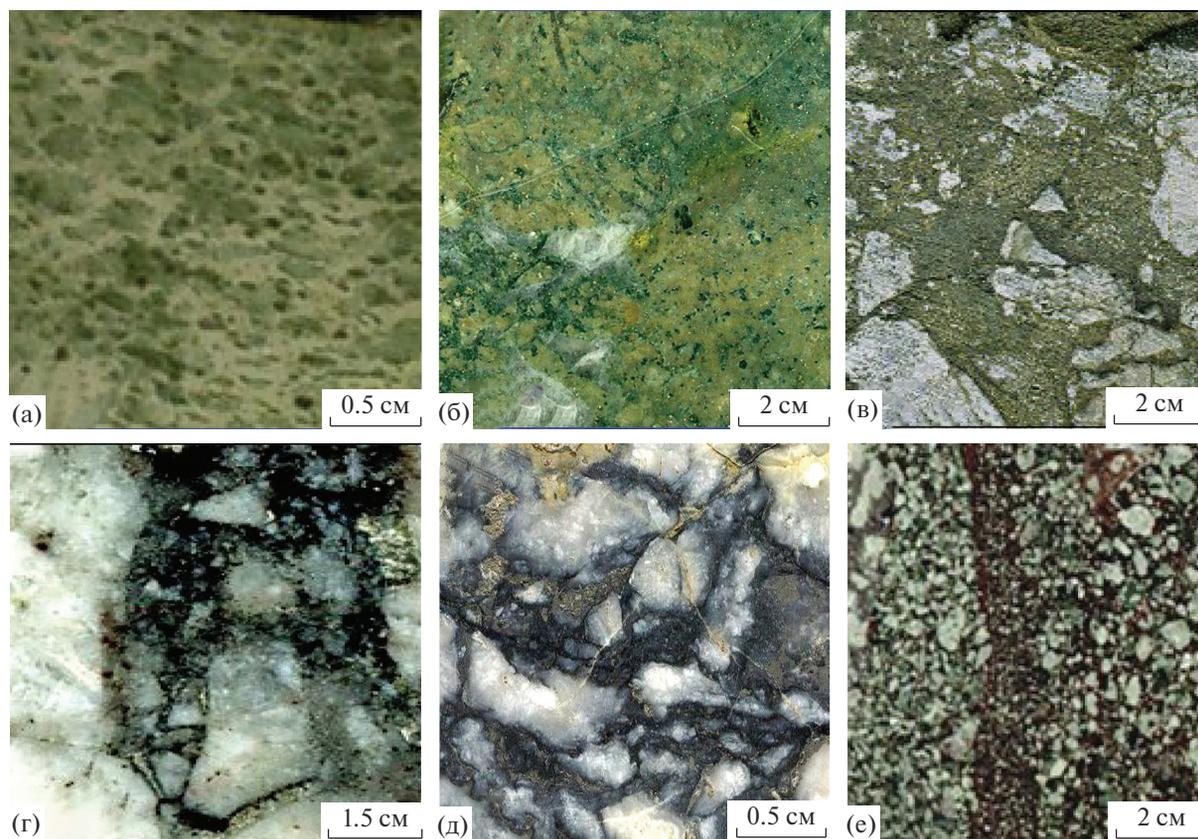


Рис. 4. Фотографии образцов из мест пересечения рудного тела дайкой риолитов.

а – витрофир; б – риолит мелкопорфировый с ксенолитами кварца; в – кварц брекчированный риолитом; г–е – разнообломочные брекчии, состоящие из кварца, сцементированного риолитом (участок отбора образцов. КУ-34-35, гор. 425 м).

нолиты кварцевой жилы и туфов андезита (см. рис. 4б, в). В отдельных случаях количество ксенолитов достигает 1–3% от массы породы. По-видимому, ксенолиты способствуют вариации химического состава риолитов. Материал кварцевой жилы на некоторых участках подробен и сцементирован риолитом (витрофиром) (см. рис. 4г–е).

Ксенолиты халцедона и халцедоновидного кварца в дайке имеют округлые очертания, раскристаллизовываются в виде перистых агрегатов от центра к периферии и имеют волнистое угасание (см. рис. 5е, ж). Крупные ксенолиты после перекристаллизации сохраняют реликты коллоидно-полосчатой текстуры, проявленной в волнисто-полосчатом расположении флюидных включений (см. рис. 5ж). Обломки кварцевой жилы в ксенолитах слабо корродируются по краям, кристаллизующимся расплавом риолита (см. рис. 5з).

Вмещающие породы вблизи дайки окварцованы и пиритизированы. Это фиксируется как по содержанию SiO_2 в туфах в приконтактной зоне (см. рис. 6), так и при просмотре прозрачных шлифов (см. рис. 5и, к). Окварцевание туфов андезитов выражается в образовании тонкой сети кварцевых прожилков и линзовидных просечек (см. рис. 5и, к).

В целом состав риолитов по рудным элементам слабо отличается от рудовмещающих андезитов и их туфов. Тем не менее, в контактовой зоне отмечен незначительный привнос As и Ag (рис. 7).

Изучение рудных образований под микроскопом показало, что в приконтактной части с дайкой риолита туфы андезитов неравномерно пиритизированы. И эта пиритизация приурочена к наиболее пористым участкам туфов. Кроме того, в аншлифах отмечается приуроченность тонкой вкрапленности арсенопирита к экзоконтактам дайки, особенно на участках брекчированного кварца, примыкающего к дайке.

Сами риолиты практически не несут рудных минералов, за исключением тех случаев, когда в них попадают обломки сульфидизированных пород. При пересечении дайкой горизонта пепловых туфов вместе с ксенолитами этих туфов в дайку попадает фрамбоидальный пирит, широко распространенный именно в этом горизонте. На рис. 7б, в показано, что при попадании фрамбоидального пирита из горизонта пепловых туфов в дайку риолитов в нем появляется реакционная кайма.

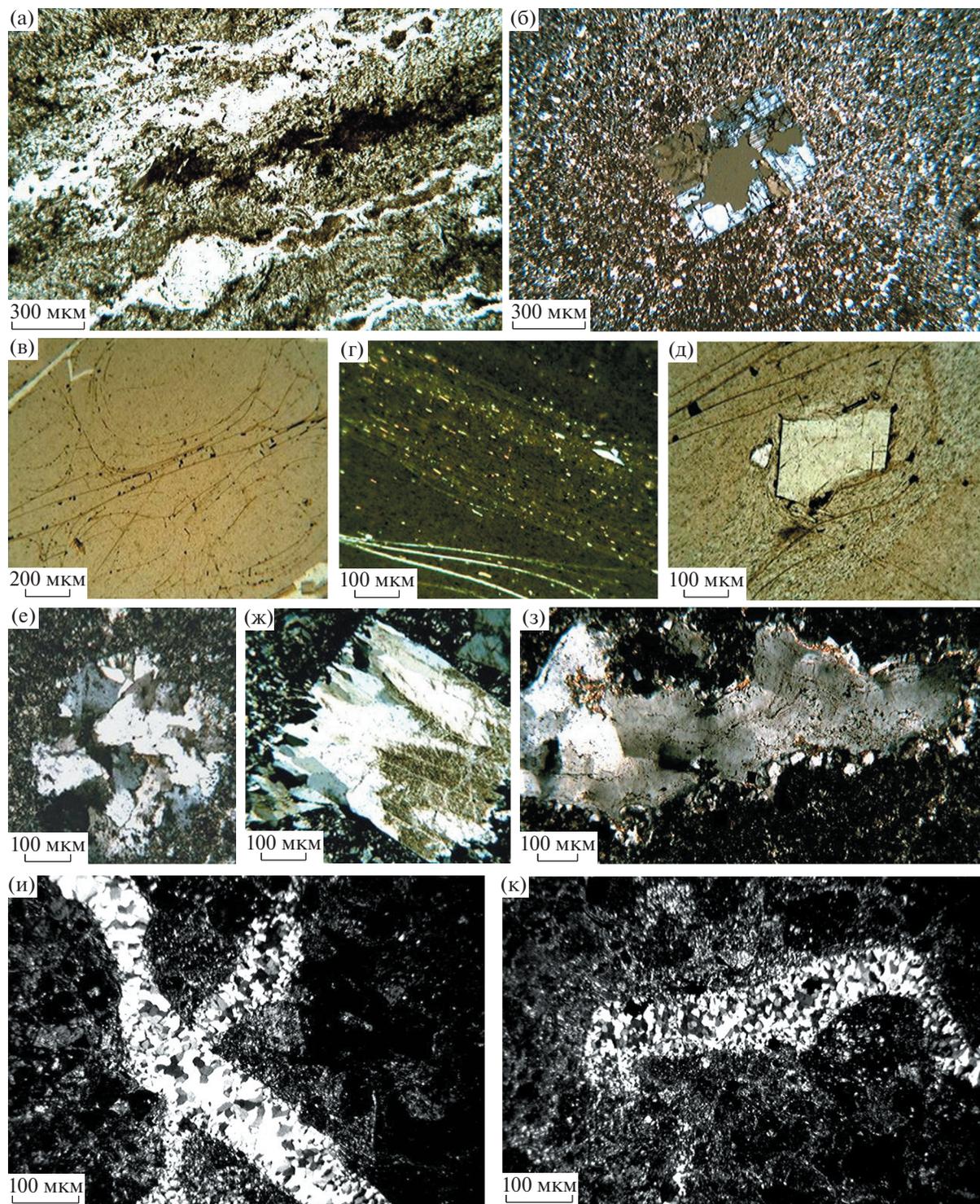


Рис. 5. Риолиты, витрофирры (а–д) и ксенолиты кварца (е–з) из мест пересечения рудного тела дайкой риолитов. Окварцевание вмещающих пород (и, к). Фотографии прозрачных шлифов (снято с анализатором; а, в, д – без анализатора).

а, б – риолиты (обр. КУ-37–38): а – флюидалный риолит, б – риолит со стекловатой основной массой и окварцованным порфировым вкраплением плагиоклаза; в–д – витрофир (обр. КУ-38): в – перлитовая структура стекла, г – следы течения стекла, субпараллельная ориентировка микролитов, флюидалность, д – обтекание вкрапленника плагиоклаза, следы течения; е–з – ксенолиты кварца в риолите U-35–36: е – ксенолит изометричной формы, ж – ксенолит, представленный обломком кварцевого прожилка, з – ксенолит кварца преобразован в результате термометаморфизма, хорошо просматривается кристаллически-зернистое строение с различным угасанием и перераспределением флюидных включений; в обрамлении – новообразованный кварц с серицитом; и, к – приконтактовое окварцевание туфов КУ-24: прожилки и линзы кварца.

Таблица 1. Химический состав вмещающих пород и руд месторождения Купол

№ п/п	№ пробы	Порода	Содержание оксидов в массовых долях, %											
			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	п.п.п.	Сумма
1	KU – 1	Андезит	66.02	0.60	13.52	6.77	0.32	1.89	0.88	0.85	2.95	0.17	6.03	100.00
2	KU – 2	Андезит	65.13	0.73	16.36	6.49	0.15	0.46	0.38	<0.25	5.47	0.21	4.43	99.81
3	KU – 3	Андезит	70.23	0.58	13.64	4.32	<0.002	0.20	0.26	<0.25	7.48	0.17	3.01	99.89
4	KU – 4	Кв. жила	93.51	<0.007	0.76	0.35	<0.002	0.09	0.06	<0.25	0.09	0.02	5.10	99.98
5	KU – 5	Окв. риолит	72.96	0.10	13.43	1.59	0.02	0.52	0.70	1.30	5.62	0.03	3.71	99.98
6	KU – 6	Андезит	60.86	0.79	16.81	6.63	0.11	1.82	1.58	1.28	4.92	0.21	4.98	99.99
7	KU – 7	Базальт?	58.75	0.76	15.92	6.76	0.12	2.55	5.39	2.44	3.42	0.18	3.71	100.00
8	KU – 8	Базальт?	59.37	0.77	16.03	6.43	0.11	3.00	4.31	2.33	3.66	0.19	3.80	100.00
9	KU – 9	Базальт?	58.79	0.79	16.14	6.98	0.10	3.04	5.43	3.13	2.69	0.20	2.71	100.02
10	KU – 10	Базальт?	57.67	0.76	16.04	6.71	0.10	2.63	5.93	2.85	3.04	0.20	4.06	99.99
11	KU – 11	Риолит	75.79	0.06	13.82	0.74	0.03	0.17	0.46	2.62	4.12	0.03	2.17	100.01
12	KU – 12	Риолит	73.69	0.11	15.25	0.38	<0.002	0.12	0.24	2.36	4.76	0.05	3.03	99.99
13	KU – 13	Риолит	74.97	0.10	13.51	0.92	0.03	0.31	0.57	1.83	5.14	0.03	2.60	100.01
14	KU – 14	Кв. жила	82.04	0.35	7.14	4.14	<0.002	0.23	0.07	<0.25	2.44	0.03	3.50	99.87
15	KU – 15	Кв. жила	96.51	<0.007	1.75	0.18	<0.002	<0.06	0.05	<0.25	1.00	0.02	0.49	99.95
16	KU – 16	Туф	65.94	0.80	16.47	4.96	0.04	0.47	0.99	<0.25	5.28	0.19	4.62	99.76
17	KU – 17	Туф	62.84	0.81	15.42	8.95	0.14	2.34	0.41	<0.25	5.04	0.16	3.80	99.91
18	KU – 18	Туф	65.49	0.77	15.14	6.22	0.65	0.54	0.40	<0.25	5.83	0.14	4.75	99.93
19	KU – 19	Туф	58.38	0.84	14.74	8.20	0.28	3.46	3.04	0.46	5.03	0.18	5.39	100.00
20	KU – 20	Туф	66.25	0.70	12.47	6.76	0.19	2.68	1.83	1.89	3.04	0.10	4.08	99.99
21	KU – 21	Туф	60.90	0.85	18.42	6.55	0.17	1.08	0.51	<0.25	7.27	0.23	3.92	99.90
22	KU – 22	Туф	58.00	0.84	17.12	6.23	0.12	1.41	3.73	2.06	4.67	0.18	5.66	100.02
23	KU – 23	Риолит (кон- такт с туфами)	74.04	0.06	13.50	1.13	0.04	0.11	1.08	3.22	4.52	0.04	2.26	100.00
24	KU – 24	Туф	58.13	0.87	15.69	6.83	0.16	3.56	3.73	3.07	2.52	0.18	5.26	100.00
25	KU – 25	Туф	65.25	0.63	16.29	4.00	0.08	2.09	1.70	2.75	3.37	0.14	3.69	99.99
27	KU – 27	Андезит	61.55	0.68	16.48	6.40	0.26	5.24	0.53	<0.25	2.97	0.13	5.74	99.98
28	KU – 28	Андезит	53.24	0.92	17.64	8.83	0.19	3.46	3.77	3.11	3.50	0.27	5.06	99.99
29	KU – 29	Андезит	58.60	0.72	17.19	5.92	0.23	4.10	1.99	1.79	4.93	0.20	4.33	100.00
30	KU – 30	Туф	56.84	0.77	17.42	7.40	0.11	3.98	2.46	3.71	2.38	0.19	4.74	100.00
31	KU – 31	Туф	57.23	0.77	16.36	6.70	0.15	3.39	3.96	3.49	2.33	0.20	5.40	99.98
32	KU – 32	Риолит	73.92	0.06	13.53	1.75	0.15	0.37	0.63	2.90	4.16	0.03	2.50	100.00
33	KU – 33	Андезит	67.75	0.67	17.03	3.07	0.01	0.35	0.08	<0.25	7.18	0.05	3.81	100.00
34	KU – 34	Брекчия	97.56	<0.007	1.06	0.43	<0.002	0.07	0.05	<0.25	0.24	<0.02	0.58	99.99
35	KU – 35	Риолит	76.57	0.05	13.29	0.57	0.02	0.11	0.48	2.60	4.88	0.04	1.39	100.00
36	KU – 36	Риолит	74.53	0.05	13.13	0.72	0.04	0.17	1.16	2.54	4.74	0.03	2.90	100.01
37	KU – 37	Кв. жила	89.36	0.16	4.93	1.17	<0.002	0.06	0.10	<0.25	2.89	0.04	1.19	99.90
38	KU – 38	Прожилок кварца	71.09	0.49	12.23	4.83	0.08	1.68	0.20	0.51	6.36	0.12	2.41	100.00
39	KU – 39	Туф	55.73	0.82	17.92	7.62	0.14	4.00	1.23	1.13	7.79	0.22	3.40	100.00
40	KU – 40	Брекчия	75.12	0.31	9.56	4.36	0.10	1.61	1.78	1.17	2.99	0.09	2.91	100.00
41	KU – 41	Туф	61.83	0.67	15.42	5.94	0.11	2.60	3.76	2.37	4.51	0.17	2.62	100.00
42	KU – 42	Туф	59.93	0.71	15.96	7.35	0.12	2.30	2.31	2.70	5.03	0.19	3.40	100.00
43	KU – 43	Туф	60.09	0.71	15.84	7.51	0.11	2.23	2.29	2.82	4.91	0.20	3.27	99.98
44	KU – 44	Туф	52.89	0.79	17.25	7.48	0.17	3.32	4.22	3.05	5.20	0.22	5.42	100.01

Примечание. РФА, спектрометр СРМ-25, аналитик В.И. Мануилова, СВКНИИ ДВО РАН.

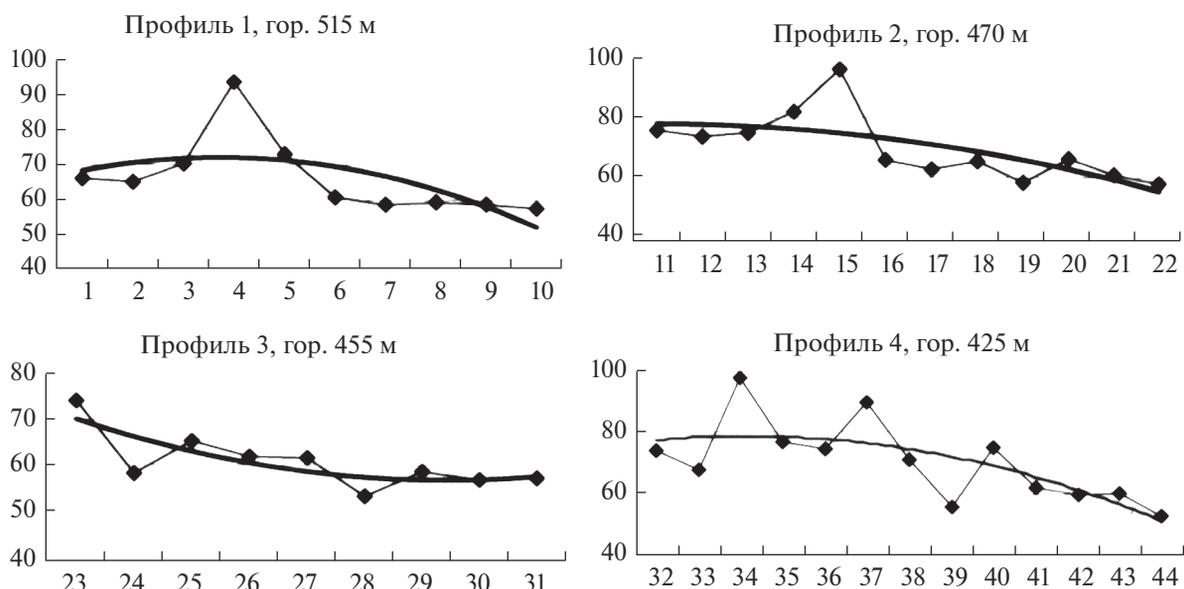


Рис. 6. Интенсивность окварцевания вмещающих пород на контакте с пострудной дайкой риолита. По оси абсцисс – точки отбора проб на профилях (см. рис. 3, табл. 1), по оси ординат – концентрации SiO₂ в %.

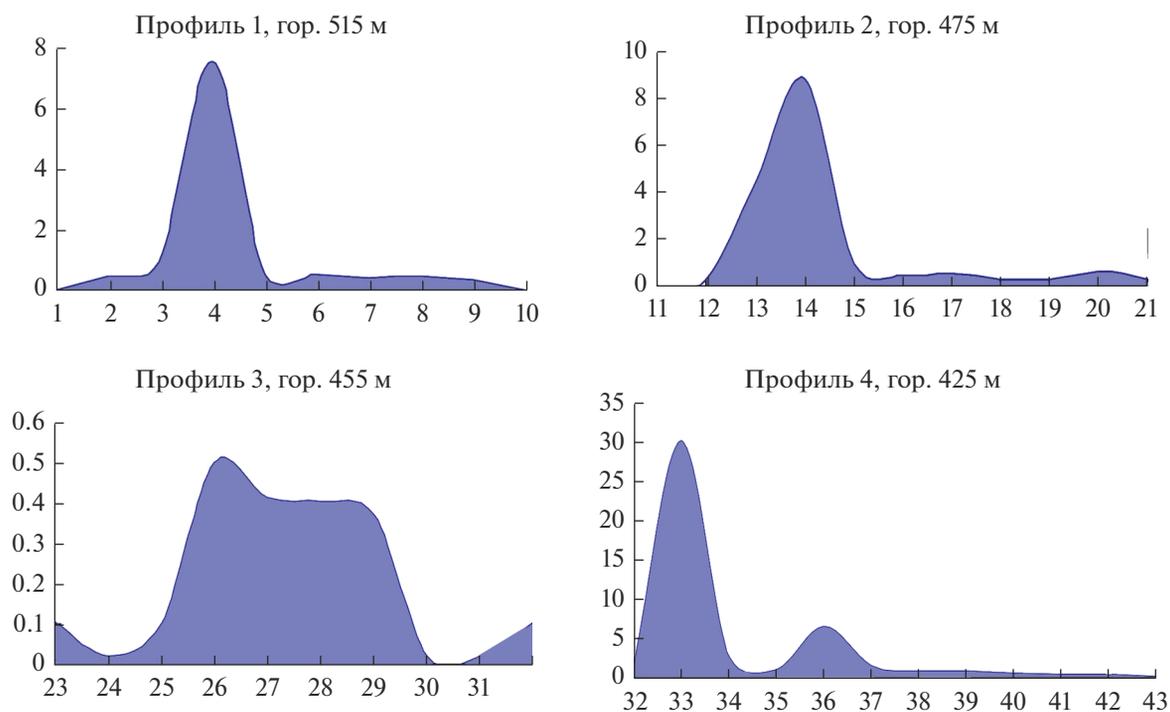


Рис. 7. Изменение концентраций Ag по профилям на основании данных количественного спектрального анализа (ЭКСА). По оси абсцисс – точки отбора проб на профилях (см. рис. 3, табл. 1), по оси ординат – концентрации Ag в г/г.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературных данных показывает, что для локализации руды наиболее значим структурный контроль со стороны дорудных даек [Lewis, 1955; Mookher, 1970]. Последние обычно представ-

ляют собой проницаемые, трещиноватые (компетентные) тела, которые играют роль вмещающих пород или каналов для рудных растворов.

Некомпетентные дайки служат барьерами, обтекаемыми рудными растворами по их контактам. Трещиноватость на контактах даек также со-

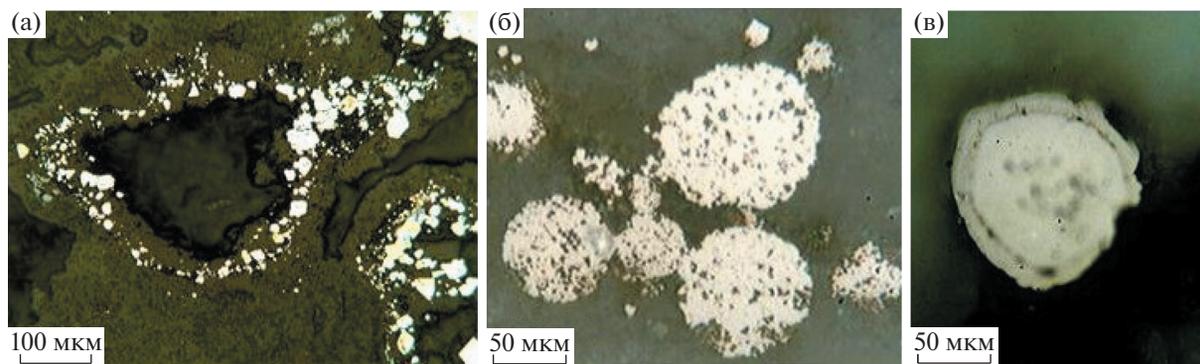


Рис. 8. Различные виды пиритизации в риолитах и пепловых туфах.

а – пиритизация туфа андезитов в приконтактной части дайки; б – фрамбоидальный пирит в пепловом туфе; в – преобразование фрамбоидального пирита при попадании в дайку риолита на участке ее пересечения с пепловыми туфами.

здает каналы и карманы для рудоотложения. Пересечение даек с зонами разломов, контактами пластов, флексурами и замками складок обеспечивает отличные структурные ловушки для рудообразования.

Пострудные дайки также имеют большое значение, как индикаторные факторы, контролирующее движение рудных растворов. Пострудные дайки могут значительно разубожить или наоборот обогатить рудные тела; они могут воздействием тепла вызвать изменения в минеральном составе и распределении полезных компонентов. Внедрение пострудных даек приводит к околоконтактовым изменениям рудных тел и самой дайки, а в отдельных случаях может сопровождаться дополнительным привносом металлов.

Следует отметить, что по обоим зальбандам дайки сохранились одинаковые мощности продуктивной жилы, ее морфологические особенности, содержания Au и Ag, а также одинаковые текстуры и повторяющиеся ритмы в участках ритмично-полосчатого сложения в жиле. Таким образом, дайки риолитов на месторождении Купол, по-видимому, не замещают продуктивную жильную систему, что свидетельствует об их дилатационном характере и заполнении трещин отрыва.

При рассмотрении петрографии и петрохимии риолитов, слагающих дайку, становится очевидным, что баланс вещества остается достаточно близким (см. табл. 1). Вместе с тем, отмечается окварцевание туфов на контакте с дайкой (см. табл. 1, рис. 5и, к).

Обычно дайки риолитового состава на многих хорошо изученных эпитегральных месторождениях ОЧВП почти всегда – дорудные. Однако в результате выполненных исследований установлено, что риолитовая дайка на месторождении Купол образовалась позднее, чем рудное тело.

К признакам, указывающим на послерудный возраст дайки можно отнести следующие данные: 1) отчетливое пересечение дайкой мощной рудной жилы; 2) остеклование материала дайки на

контакте с жилой; 3) цементирование риолитом раздробленного кварцевого жильного материала; 4) появление отдельных мелких апофиз дайки, проникающих в кварцевую жилу; 5) ксенолиты кварцевого жильного материала в теле дайки; 6) отсутствие проникновения в дайку апофиз рудного тела; 7) увеличения концентрации жильных и рудных минералов на поверхности контакта дайки или в трещинах эндоконтактной зоны.

Факт остеклования дайки на контакте с жилой свидетельствует о ее внедрении в уже остывшую систему.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акинчин В.В., Томсон Б., Ползунов Г.О. U–Pb и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование магматизма и минерализации на золоторудных месторождениях Купол и Двойное // Изотопное датирование геологических процессов: новые результаты, подходы и перспективы // Материалы VI Росс. конференции по изотопной геохронологии. СПб.: ИГГД РАН, 2015. С. 19–21.
- Белый В.Ф. Стратиграфия и структуры Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Наука, 1977. 171 с.
- Белый В.Ф., Сидоров А.А., Волков А.В., Ващилов Ю.Я. Структура и развитие Каемравеевского рудного поля (новый рудный район Чукотки) // Вулканология и сейсмология. 2008. № 3. С. 10–18.
- Вартанян С.С., Лоренц Д.А., Сергиевский А.П., Щепотьев Ю.М. Золотосеребряные руды Кайемравеевского узла Чукотского автономного округа // Отечественная геология. 2005. № 4. С. 10–18.
- Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Савва Н.Е., Сидоров А.А., Бянкин М.А., Уютнов К.В., Колова Е.Е. Рудообразование на золото-серебряном месторождении Купол, Северо-восток России (по данным изучения флюидных включений) // Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54. № 4. С. 350–359.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Прокофьев В.Ю., Савва Н.Е., Колова Е.Е., Мурашов К.Ю. Геохимические особен-

сти эпitherмальных Au–Ag месторождений Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса (Северо-Восток России) // Вулканология и сейсмология. 2018. № 6. С. 1–20.

Глухов А.Н. Региональная геологическая позиция, структура и минералого-геохимическая зональность золото-серебряного месторождения Купол (Чукотский автономный округ) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2008. № 3. С. 34–45.

Котляр В.Н., Яковлев П.Д. Вулканизм и оруденение. М.: Недра, 1984. 108 с.

Кравцов В.С., Белый В.Ф., Волков А.В., Алексеев В.Ю., Сидоров А.А., Томсон И.Н. Региональная геолого-структурная позиция золото-серебряного месторождения Купол (Чукотка) // Докл. АН. 2005. Т. 404. № 2. С. 216–219.

Леонова В.В., Акинин В.В., Гельман М.Л., Глухов А.Н. Характерные особенности петрографии рудовмещающего комплекса золото-серебряного месторождения Купол (Чукотка), новое определение возраста // Чтения памяти акад. К.В. Симакова (Магадан, 27–29 ноября 2007 г.). Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2007. С. 94–95.

Петрография и петрология магматических, метаморфических и метасоматических горных пород / Под ред. В.С. Попова, О.А. Богатикова М.: Логос, 2001. 768 с.

Савва Н.Е., Бянкин М.А. Au–Ag месторождение Купол – типичный или не типичный объект? // Чтения памяти академика К.В. Симакова // Тез. докл. Всеросс. науч-

ной конференции, Магадан 25–27 ноября 2009 г. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2009. С. 137–138.

Савва Н.Е., Пальянова Г.А., Бянкин М.А. К проблеме генезиса сульфидов и селенидов золота и серебра на месторождении Купол (Чукотка, Россия) // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 3. С. 457–466.

Сахно В.Г., Цурикова Л.С., Максимов С.О. Геохронология и петрогеохимические особенности генезиса магматических комплексов золото-серебряных рудоносных систем Чукотского сектора Арктического побережья России // Литосфера. 2019. Т. 19. № 6. С. 861–888.

Сахно В.Г., Цурикова Л.С. Изотопно-геохимические особенности генезиса магматических комплексов рудоносных систем Чукотского сектора Арктического побережья России // Литосфера. 2020. Т. 20. № 2. С. 196–211.

Сидоров А.А., Белый В.Ф., Волков А.В., Прокофьев В.Ю. Геология и условия образования уникального золото-серебряного месторождения на Чукотке // Докл. АН. 2007. Т. 412. № 2. С. 234–239.

Сидоров А.А., Ващиллов Ю.Я., Волков А.В., Белый В.Ф. Глубинное строение Каемравеевского рудного района и особенности формирования золото-серебряного оруденения // Докл. АН. 2008. Т. 421. № 1. С. 80–85.

Lewis D.V. Relationships of ore bodies to dykes and sills // Econ. Geol. 1955. V. 50. P. 495–516.

Mookher A. Dykes, Sulphide Deposits, and Regional Metamorphism: Criteria for Determining their Time Relationship // Mineral. Deposita. 1970. V. 5. P. 120–144.

The Relationship of the Ore Body, Volcanic Rocks and Rhyolite Dikes at the Epithermal Kupol deposit (Western Chukotka)

N. E. Savva^{1,*}, A. V. Volkov^{2,**}, A. A. Sidorov², and M. A. Byankin¹

¹Northeast Multidisciplinary Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Portovaya str., 16, Magadan, 685010 Russia

²Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Staromonetny lane, 35, Moscow, 119017 Russia

*e-mail: nsavva7803@mail.ru

**e-mail: tma2105@mail.ru

The relationship of the ore body, volcanic rocks, and rhyolite dikes in the large epithermal Kupol deposit (Western Chukotka) is considered. Almost throughout its entire length (more than 3000 m), the ore body of the deposit is intersected by rhyolite dikes. In the studied profiles in the mine workings at the horizons 425, 455, 470, 515 m, the rhyolite dike clearly intersects and bisects the ore body – a substantially quartz vein with an adult, about 20 m thick. Rhyolite has a porphyry structure. The main mass is devitrified with the formation of an aphanite quartz-feldspar aggregate with a mosaic microstructure. Fluidity is observed in some areas. Rhyolites contain from 72.96 to 74.97 wt % SiO₂, and the composition corresponds to biotitic granites of the low-alkaline series. Identified the following criteria that indicates the age of the post-ore dikes: a clear intersection of the dike powerful ore veins; the dykes material vitrification on contact with ore veins; cementing by rhyolite a times-crushed quartz vein material; the emergence of some small dikes apophyses in quartz vein; xenoliths of quartz vein material in the dike body; absence of penetration of the apophysis of the ore body into the dike; increased concentration of vein and ore minerals on the contact surface of the dike or in the fracturing of the endocontact zone. The formation of obsidian (vitrophyre) along the rhyolite contact with the ore body, indicates the introduction of a dike into the already cooled system. Preservation of the productive vein thickness, its morphological features, and the Au and Ag contents of the rhyolite dikes on both sides; the same textures and repeating rhythms in the areas of rhythmic-banded addition in the vein on both sides of the dike shows that in the Kupol deposit, post-ore dikes do not replace or dilute the productive vein system, which is probably due to their dilatation nature and the implementation of separation fracture.

Keywords: Western Chukotka, volcanic belt, Kupol deposit, epithermal veins, breccias, xenoliths, post-ore dyke of rhyolites, vitrophyre, petrography, petro chemistry