

Научная статья

УДК 549.02

DOI 10.46698/VNC.2024.1.1.007

Гейзериты Эльбрусского вулканического центра

Виктор Магалимович Газеев

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), Лаборатория петрографии, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Москва; ВНЦ РАН, Комплексный научно-исследовательский отдел, старший научный сотрудник, Владикавказ, Россия, gazeev@igem.ru

Анатолий Георгиевич Гурбанов

ИГЕМ РАН, Лаборатория петрографии, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Москва; Владикавказский научный центр РАН, Комплексный научно-исследовательский отдел, ведущий научный сотрудник, Владикавказ, Россия, ag.gurbanov@yandex.ru

Елена Олеговна Грознова

Институт экспериментальной минералогии им. академика Д.С. Коржинского Российской академии наук (ИЭМ РАН), Лаборатория гидротермальных процессов, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Черноголовка, Россия

Алексей Борисович Лексин

ИГЕМ РАН, Лаборатория геоинформатики, специалист, Москва, Россия, lexin@igem.ru

Ольга Александровна Гурбанова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, кандидат химических наук, ассистент кафедры минералогии и кристаллохимии, Москва, Россия, gur_o@mail.ru

Аннотация. Обнаружение нами в пределах вулканической постройки Эльбруса, в коренном залегании и в виде высыпок (шлейфов), гейзеритов представляет несомненный практический интерес в связи с существованием самостоятельного типа вулканогенных гейзеритово-опалитовых месторождений, приуроченных к вулканическим поясам Калифорнии, Невады, Италии, Японии, Чили, Курил (вулкан Ку-дрявый и др.) и Камчатки. Для оценки их практической значимости необходимо изучение физико-химических параметров образования гейзеритов с оценкой их геохимических особенностей и масштабов распространения. Объектами для исследований были прожилки и шлейфы гейзеритов, развитые как в пределах Кюкюртлинской и Ирикской рудно-магматических систем, так и в местах интенсивного проявления гидротермально-метасоматических процессов, наложенных на разновозрастные лавовые потоки в пределах Эльбрусского вулканического центра. Гейзеритами сложены разные по возрасту и составу прожилковые образования и шлейфы, среди которых встречаются существенно магнезиальные, глинозисто-кремнистые и кремнеземистые разности. В гейзеритах установлены содержания (в г/т) следующих элементов: Sc (0,1–5,2); Zn (6,0–17,0); As (0,9–7,4); Mo (1,2–9,4); Ag (0,3–2,9); Sb (0,1–0,8); Cs (0,7–9,8); Ba (30,0–98,0); Ce (3,6–19,1); Cu (1,0–17,0); Pb (следы–10,0); иногда Au (до 1,2) и W (1,0–2,8). Гидротермальные растворы, участвовавшие в метасоматических изменениях пород Кюкюртлинской рудно-магматической системы (КРМС) и сформировавшие как вторичные кварциты, так и термальные растворы, образовавшие гейзериты, имели фторидный состав. Об этом свидетельствуют впервые обнаруженные нами в этих метасоматитах фторсодержащие минералы – жарчихит, ральстонит, α-ральстонит, флюорит. Флюидные включения в кварце гейзеритов имеют температуры гомогенизации в интервале 120–152 °С при концентрации растворов до 5–14,2 мас. % экв. NaCl. Все это может быть свидетельством возможного присутствия в пределах КРМС под зоной аргиллизитов рудной минерализации (Cu-Mo, Au-Ag-As, Pb-Zn), связанной с экструзивными телами кислого состава (дациты). Учитывая малые мощности (0,5–5,0 см) гейзеритовых прожилков, относительно невысокие содержания рудных элементов, а также их редкую встречаемость и их ограниченные объемы, мы считаем, что в пределах ЭВЦ этот гейзеритово-опалитовый тип рудной минерализации не имеет промышленной значимости.

Ключевые слова: гейзериты, флюидные включения, геохимические особенности минералов, Эльбрусский вулканический центр, Кюкюртлинская рудно-магматическая система

Для цитирования: Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Грознова Е.О., Лексин А.Б., Гурбанова О.А. Гейзериты Эльбрусского вулканического центра // Вестник Владикавказского центра РАН. 2024. Т. 24. № 1. С. 67–74. DOI 10.46698/VNC.2024.1.1.007.

Благодарность. Работа выполнена в рамках Базовой темы Лаборатории петрографии ИГЕМ РАН № 124022400143-9 «Петрология магматических комплексов для реконструкций геодинамических режимов формирования Восточно-Европейского кратона».

Geyserites of the Elbrus volcanic center

Victor M. Gazeev

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), laboratory of petrography, researcher, PhD, Moscow; VSC RAS, Complex research department, senior researcher, Vladikavkaz, Russia, gazeev@igem.ru

Anatoly G. Gurbanov

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), laboratory of petrography, PhD, leading researcher, Moscow; Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Complex research department, leading researcher, Vladikavkaz, Russia, ag.gurbanov@yandex.ru

Elena O. Groznova

Institute of experimental mineralogy named after Academician D.S. Korzhinsky of the Russian academy of sciences (IEM RAS); Laboratory of hydrothermal processes; PhD, Senior researcher; Moscow region, Russia

Alexey B. Lexin

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), laboratory of «Geoinformatics» workshop, specialist, Moscow, Russia, lexin@igem.ru

Olga A. Gurbanova

Moscow State University M.V. Lomonosov, Faculty of Geology, Assistant of the Department of Mineralogy and Crystalchemistry, PhD, Moscow, Russia, gur_o@mail.ru

Abstract. *Relevance of research. The discovery by us within the volcanic structure of Elbrus, in the bedrock and in the vysypok (rocks fragments of a bedrocks) of geyserites, is of undoubted practical interest in connection with the existence of an independent type of volcanogenic geyserite-opalite deposits confined to the volcanic belts of California, Nevada, Italy, Japan, Chile, Kuriles (volcano Kudryavy, etc.) and Kamchatka. Purpose of research. The study of the physico-chemical parameters of the formation of geyserites with an assessment of their geochemical features and extent of distribution, which is necessary to assess their practical significance. The objects for research were veinlets and trains of geyserites developed both within the Kyukuyurtlinskaya and Irikskaya ore-magmatic systems, and in places of intense manifestation of hydrothermal-metasomatic processes superimposed on lava flows of different ages within the Elbrus volcanic center. Results and discussion. Geyserites are composed of veinlets and trails of different age and composition, among which there are essentially magnesian, aluminous-siliceous and siliceous varieties. The contents (in g/t) of the following elements have been established in geyserites: Sc (0.1-5.2); Zn (6.0-17.0); As (0.9-7.4); Mo (1.2-9.4); Ag (0.3-2.9); Sb (0.1-0.8); Cs (0.7-9.8); Ba (30.0-98.0); Ce (3.6-19.1); Cu (1.0-17.0); Pb (traces-10.0); sometimes Au (up to 1.2) and W (1.0-2.8). Hydrothermal solutions that participated in the metasomatic alteration of the rocks of the Kyukuyurtlinskaya ore-magmatic system (KOMS) and formed both secondary quartzites and thermal solutions that formed geyserites had a fluoride composition. This is evidenced by the fluorine-containing minerals first discovered by us in these metasomatites - jarchichite, ralstonite, α -ralstonite, fluorite. Fluid inclusions in geyserite quartz have homogenization temperatures in the range of 120-152°C at solution concentrations up to 5-14.2 wt. % equiv. NaCl. All this may be evidence of the possible presence of ore mineralization (Cu-Mo, Au-Ag-As, Pb-Zn) associated with extrusive bodies of acid composition (dacites) within the KOMS under the argillite zone. Conclusion. Given the low thickness (0.5-5.0 cm) of geyserite veinlets, relatively low content of ore elements, as well as their rare occurrence and their limited volumes, we believe that within the EVC this geyserite-opalite type of ore mineralization has no industrial significance.*

Keywords: geyserites, fluid inclusions, geochemical features of minerals, Elbrus volcanic center, Kyukuyurtly ore-magmatic system

For citation: Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Groznova E.O., Leksin A.B., Gurbanova O.A. Geyserites of the Elbrus Volcanic Center // Bulletin of the Vladikavkaz Center of the Russian Academy of Sciences. 2024. Vol. 24. No.1. P. 67–74. DOI 10.46698/VNC.2024.1.1.007.

Acknowledgements. *The work was carried out within the framework of the Basic topic of the Laboratory of Petrography of IGEM RAS No. 124022400143-9 "Petrology of magmatic complexes for reconstructions of geodynamic regimes of the formation of the East European craton".*

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что с вулканами центрального типа миоцен-четвертичного возраста, содержащими в жерлах куполообразные субвулканические тела, часто ассоциируют рудопроявления и месторождения Au, Ag, Sn, Cu, Mo, Pb и Hg [7]. В пределах вулканической постройки Эльбруса нами были обнаружены в коренном залегании и в виде высыпок (шлейфов) гейзериты – отложения палеотермальных источников. В связи с существованием самостоятельного типа вулканогенных гейзеритово-опалитовых месторождений [4], приуроченных к вулканическим поясам Калифорнии, Невады, Италии, Японии, Чили, Курил (вулкан Кудрявый и др.) и Камчатки [4, 5], находки гейзеритов на Эльбрусе могут представлять практический интерес. Месторождения этого типа образуются в близповерхностных условиях из газовых эксгаляций и термальных

растворов. Установлено, что такой тип оруденения обычно формируется при следующих параметрах: температура до 300°С; давление до 20 атм; растворы – кислые или слабощелочные; температура фумарол, сольфатар и паровых струй падает от 600–1000 °С сразу после извержения до 330–200–100 °С через 3–5 лет [5].

На Эльбрусе гейзериты были впервые описаны в 1897 году профессором Мюнхенского университета Людвигом Аммоном, изучавшим штучной образец с западной вершины, принесенный Готфридом Мерцбахером с восхождения на Эльбрус в 1891 г. [2]. Л. Аммон отметил, что многочисленные пустоты в породе заполнены новообразованиями, напоминающими по внешнему виду халцедон и карбонат. Позже С.П. Соловьев [9], при изучении юго-восточного подножья Эльбруса в верховьях р. Ирик, обнаружил в лавах маломощные (до 0,5 см) прожилковые белые плотные криптокристаллические

породы. По данным микроскопического изучения они имели как гомогенное, так и полосчатое сложение, что свидетельствовало, по его мнению, об их образовании из водных растворов. По показателю преломления $n_g = 1.404\text{--}1.425$ они соответствовали опалу, но проверочная химическая реакция показала, что вещество не полностью растворяется в КОН и даже в HF.

МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определения концентраций микро- и макроэлементов в гейзеритах проводились в ЦКП «ИГЕМ - АНАЛИТИКА» методами РФА (на спектрометре последовательного действия PW-2400); и инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) в ИГЕМ РАН с определением содержания ряда элементов со следующим порогом чувствительности (в г/т): K, Ca, Fe, Sr, Rb, Zr, Ba, Sn – 100–1 000; Cr, Zn, Br, Ga, Ge, Cd, Mo, Ag, W, Re – 10–1 000; Na, As, Cs, Sb, Ta, Th, U – 1–5; Co, Au – 0.1–0.5. Минеральный состав гейзеритов изучался методом рентгено-фазового анализа на дифрактометре Rigaku D/Max-2200 и на микроанализаторе «Camebax SX-50» фирмы «Cameca» и на сканирующем электронном микроскопе JEOL-scanning JSM-5300 с системой Link ICIS SATW в ИГЕМ РАН. Для оценки температур образования гейзеритов и составов растворов были изучены флюидные включения (ФВ) в минералах из гейзеритов. Микротермометрия, в интервале температур от -196 до +600 °C, проводилась на термостатической камере «Linkam-TMMSG 600» (Англия) с длиннофокусным объективом 80× фирмы «Olympus» (Япония) (микроскоп фирмы «Karl Zeiss Jena», оснащенный видеокамерой).

ОБЪЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе наших исследований (1997–2009 гг.) было установлено, что гидротермалиты (гейзериты) имеют довольно широкое распространение в пределах Эльбурского вулканического центра (ЭВЦ). Это разные по возрасту и составу прожилковые образования (рис. 1), среди которых встречаются существенно магнезиальные, глиноземисто-кремнистые и кремнеземистые разновидности (табл. 1).

Существенно магнезиальные гидротермалиты распространены локально и встречаются только в вулканитах раннего этапа кальдерной стадии. Пространственно они ассоциируют с экструзией Кюкюртлю, группируясь на значительном удалении (до 1–1.5 км) от ее контактов. Гейзериты были обнаружены как в коренном залегании, так и в виде высыпок, образующих шлейфы. Кроме того, они встречаются в боковой морене в истоках р. Бийтик-Тебе (обр. 36-1), в правом борту морены ледника Кюкюртлю и на водоразделе рек Кюкюртлю и Уллукам (обр. 26-3). Внешне это плотные, белые, фар-

форовидные образования, обычно наблюдаемые в виде желваков размером до 3–8 см и реже в виде маломощных пунктирных прожилков мощностью до 1–1.5 см. Их пространственная ассоциация с экструзией не случайна. Так, во вкрапленниках кварца в дацитах экструзивного купола, в зоне развития аргиллизитов, вместе с расплавленными включениями были обнаружены двухфазные флюидные включения, трассирующие залеченные трещины, т. е. вторичные флюидные включения (ФВ). Газовая фаза включений не превышает 10 % объема вакуоли, температура их гомогенизации (T_g) варьирует в пределах 139–145 °C. Температуры плавления эвтектики (Тпл.э) находятся в пределах от -33.4 до -33.5 °C, что несколько выше Тпл.э системы $MgCl_2\text{--}H_2O$ (теоретическое значение Тпл.э = -33.6 °C [1]). Следовательно, основным компонентом растворов ФВ является $MgCl_2$. Концентрация растворов – 20.5 мас. % экв. NaCl. Растворимость этой соли при комнатной температуре составляет 35 вес. %, поэтому растворы следует считать среднесолеными.

Пространственное расположение магнезитовых гидротермалитов, близость их состава с сидерит-магнезитовыми карбонатами, развитыми в зонах аргиллизации, а также их присутствие в зонах аргиллизации и в теле экструзии флюидных включений, основным компонентом растворов которых является $MgCl$, позволяет рассматривать такие гейзериты как индикаторы наличия зон аргиллизации, расположенных на некотором удалении от них.

Кремнеземистые и глиноземисто-кремнистые гидротермалиты (гейзериты) с примесью магния встречаются в виде маломощных (до 1–5 см) прожилков или их обломков в вулканитах кальдерной стадии и в потоках, относящихся к позднему этапу посткальдерной стадии. Они были встречены в верховьях рек Бийтик-Тебе, Кызыл-кол, Бирджалысу; а единичные находки сделаны в верховьях рр. Ирик, Гарабаши, Уллукам, Уллу-Хурзук (рис. 1). Внешне это белые, матовые либо полупрозрачные, опало- либо халцедоновидные образования изменчивого состава. Изучение флюидных включений из-за чрезвычайно малого размера (менее 10 мкм) было крайне затруднительно. В скрытокристаллическом агрегате халцедона температура гомогенизации ФВ составляет 120–140 °C. Существенно кремнеземистые гидротермалиты подразделяются по минеральному составу на тридимитовые и кварцевые. Первые встречены на севере Эльбурской вулканической постройки в истоках р. Малки, а вторые – на западе вулканической постройки и на востоке – в районе перевала Ирик-Чат (рис. 1). Судя по размеру отдельных обломков, мощность жил могла достигать 0,3 м.

Глиноземисто-кремнистые гидротермалиты имеют сложный минеральный состав. В них впервые для Эльбруса установлены в переменных количествах: тридимит, α -ральстонит, жарчихит, флюорит и альбит. Выявлено закономерное увеличение содержаний Al_2O_3 , Na_2O , F, Sc, Rb,

Cs, Ba и снижение SiO_2 в направлении к привершинной части вулкана Эльбрус. Шлейф обломков глиноземисто-кремнистых гидротермалитов с переменным количеством магния был обнаружен и в лавах Кыртык-Сылтранской вулканической постройки (табл. 1, обр. 57-1, 2) вблизи от жерловой части маленького вулкана. Они также сложены тридимитом, α -ральстонитом и жарчихитом.

В существенно кремнеземистых и глиноземисто-кремнистых гидротермалитах в отдельных про-

бах (табл. 1) отмечается повышение содержания W, Mo, As, Pb, Hf, Sb, As, Ag, Sc и Cr.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исходя из изложенных выше данных, можно констатировать, что вулканическая активность в пределах ЭВЦ сопровождалась гидротермальными процессами, температурные параметры которых на

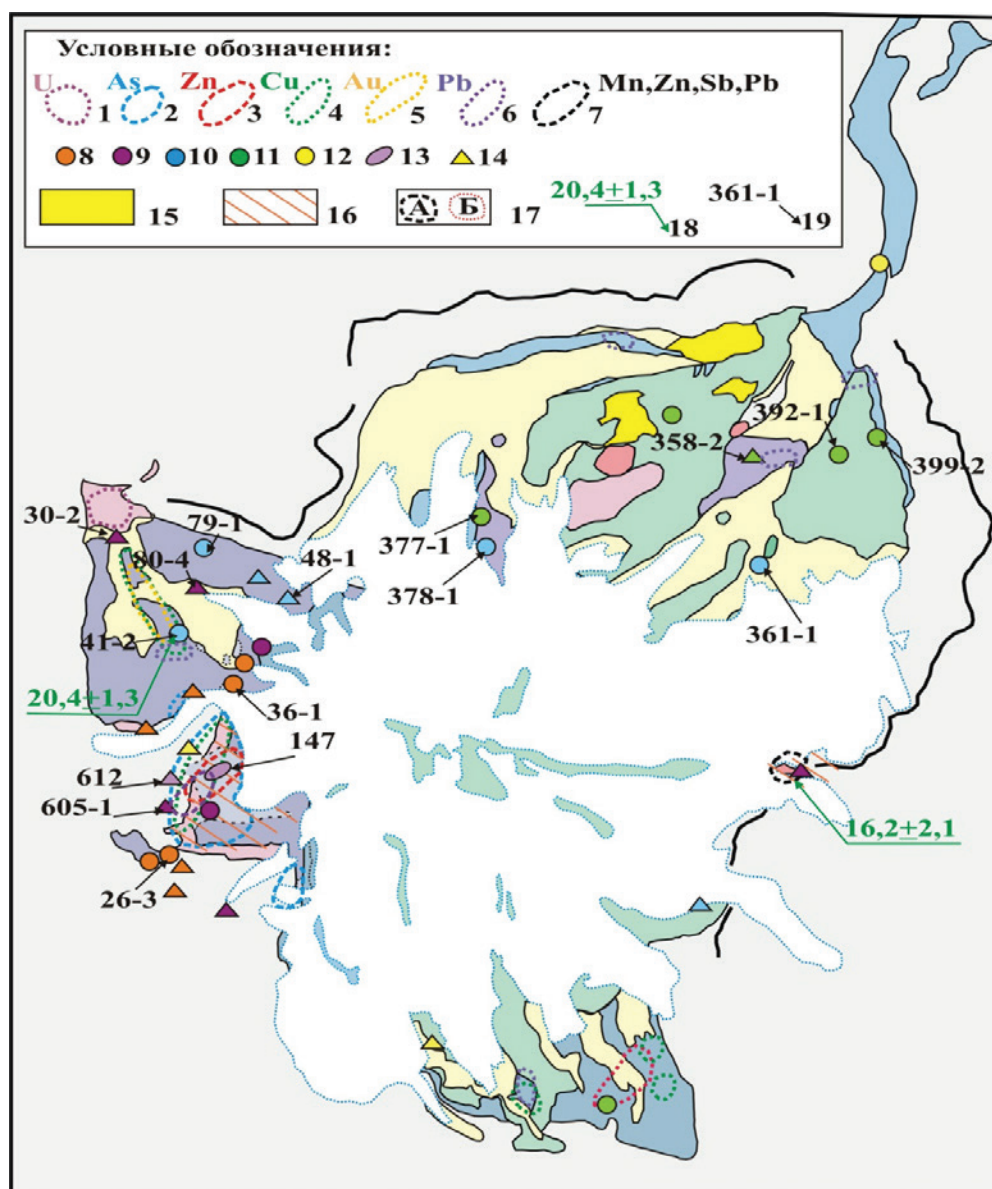


Рис. 1. Схематическая карта проявлений гидротермальной минерализации и геохимических аномалий

Условные обозначения: 1–7 – участки, характеризующиеся повышенными содержаниями: 1 – урана (>7–8 ррт); 2 – мышьяка (15–322 ррт); 3 – цинка (120–497 ррт); 4 – меди (>60 ррт); 5 – золота (0,05–0,3 ррт); 6 – свинца (>60 ррт); 7 – марганца, цинка, свинца, сурьмы. 8–13. Проявления жильной минерализации: 8 – магнезита; 9 – кварца; 10 – сложного состава; 11 – тридимита; 12 – арагонита; 13 – вторичных кварцитов. 14 – жильная минерализация в обломках. 15 – озерные отложения (песчано-гравийные смеси). 16 – площадная аргиллизация. 17 – контуры участков с повышенными содержаниями: А – более 5 кларков; Б – 2–4 кларка. 18 – результаты ЭПР-датирования кварца жильной минерализации. 19 – номера образцов

уровне современного эрозионного среза изменяются от 199 до 110 °С. Температуры образования собственно гейзеритов не превышают 110–140 °С. Состав гидротермалитовых прожилков усложняется по мере приближения к кратерной части вулканических построек.

В современном эрозионном срезе (протяженность по вертикали до 800 м, а по латерали до 2 500 м) Кюкюртлинской рудно-магматической системы (КРМС) широко проявлены автометасоматические и гидротермально-метасоматические изменения, как в пределах экструзии, так и во вмещающих ее лавовых потоках кальдерной стадии. В верхней части разреза установлена зона аргиллизитов с пиритом, марказитом, алунином, ярозитом и резко повышенными концентрациями бария, сформировавшаяся при температурах 120–180 °С и имеющая площадной характер развития при мощности в первые сотни метров. В этой зоне выделены две фации аргиллизитов: а) с монтмориллонитом (низкосульфидные и безсульфатные) и б) с галлазитом (высокосульфидные и сульфатсодержащие), отвечающие фронтальным (слабо кислые) и внутренним (сильно кислые) частям гидротермальной системы, соответственно. Следующие этапы изменения пород проявлены в более нижних частях вскрытого эрозией разреза и представлены зонами развития миароловой минерализации (кальцит-доломит-арагонит-сапонит-натролит-пирит-марказит) и вторичных кварцитов (окварцевание, гематитизация и пиритизация исходных вулканитов).

В.И. Коваленко с соавторами [3], рассматривая физико-химические параметры образования рудоносных гранитоидов, провели комплексное изучение флюидных включений в минералах из рудных тел эндогенных месторождений Sn, W, Be, Ta, Mo и Au. Ими было установлено, что температуры гомогенизации для продуктивной стадии рудообразования варьируют от 150 до 400 °С при низких концентрациях растворов, составляющих 8–10 мас. % экв. NaCl, и преимущественно их фторидном составе.

Гидротермальные растворы, участвовавшие в метасоматических изменениях пород Кюкюртлинской рудно-магматической системы (КРМС) и сформировавшие как вторичные кварциты, так и термальные растворы, образовавшие гейзериты, имели фторидный состав. Об этом свидетельствуют впервые обнаруженные нами в этих метасоматитах рентгено-структурным анализом фторсодержащие минералы – жарчихит, ральстонит, α-ральстонит, флюорит. Температуры гомогенизации флюидных включений в кварце из апикальной части экструзии Кюкюртлю и в секущих их карбонатных прожилках составляют 139–145 °С и 168–171 °С при концентрации растворов до 20,5 и 3,2–3,5 мас. % экв. NaCl, соответственно. Флюидные включения в кварце гейзеритов имеют температуры гомогенизации в интервале 120–152 °С при концентрации растворов до 5–14,2 мас. % экв. NaCl. Все это может быть свидетельством возможного присутствия в

пределах КРМС под зоной аргиллизитов рудной минерализации (Cu-Mo, Au-Ag-As, Pb-Zn), связанной с экструзивными телами кислого состава (дациты). Помимо этого, о наличии на глубине фанеритового штока гранодиоритового состава свидетельствуют многочисленные ксенолиты гранодиоритов в вулканиках кальдерной стадии развития ЭВЦ.

Геологически похожая картина наблюдается в Чили, где в пределах пояса Марикунга (Maricunga) месторождения благородных металлов порфиорового типа связаны с миоценовыми вулканитами андезитового и андезидацитового составов. Au-Ag месторождения пояса Марикунга приурочены к штокам диорит-гранодиоритового состава, а эпitherмальные месторождения – к вмещающим их гидротермально-метасоматически измененным вулканитам [10]. Важно отметить, что для этих месторождений (Марте, Вали, Санта Сесилия, Ла Пепа и др.) характерно то, что промышленное Au-Ag оруденение перекрывается мощной (до 400–600 м) аргиллизитовой «шляпой». В нашем случае в пределах КРМС породы, претерпевшие изменения аргиллизитовой фации, обогащены пиритом, алунином, баритом и содержат самородную медь и энаргит. Проведенная реконструкция порфиоровых систем предполагает [10], что богатые золотом штоквеки образовались на глубинах 600–1 000 м от палеоповерхности. Следовательно, можно предполагать, что по аналогии с порфиоровыми типами месторождений Чили и полученными геохимическими и минералогическими данными по вулканитам КРМС и ЭВЦ (в частности, резко повышенные содержания Ag, Mo, Zn, As, Sb, Se и Ba, масштабность и площадной характер развития процесса аргиллизации), можно предполагать обнаружение в зоне пропилитизации на глубинах 400–600 м от современного эрозионного среза КРМС Pb-Zn оруденения в приразломных кварц-алунитовых жилах, а на более глубоких уровнях (60–1 000 м) – штокверков с Au-Ag, Cu или Cu-Mo оруденением верхней части порфиоровой рудно-магматической системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В поле развития пород кальдерной и посткальдерной стадий, выделяемых в истории формирования Эльбрусского вулканического центра (ЭВЦ) [6], обнаружены прожилки и шлейфы гейзеритов – отложений палеотермальных источников, часто с повышенными (далее пов.) и максимальными (далее макс.) содержаниями (в г/т) следующих элементов: Sc (0,1–5,2; макс. – 7,1–10,8); Zn (6,0–17,0; пов. – 27–35; макс. – 161 и 497); As (0,9–7,4; пов. – 21,6–35,5; макс. – 322); Mo (1,2–9,4; макс. – 374,8); Ag (0,3–2,9; макс. – 16,0); Sb (0,1–0,8; макс. – 1,9–3,2); Cs (0,7–9,8; макс. – 14,5–19,2); Ba (30,0–98,0; макс. – 238–765); Se (3,6–19,1; макс. – 92,6); Cu (1,0–17,0; макс. – 23,0–40,0); Pb (следы – 10,0; макс. – 12,0–14,0); иногда Au (до 1,2) и W (1,0–2,8; макс. – 21,0–23,0). Однако, учитывая малые мощ-

Таблица 1

Химический состав (в мас. %) и геохимические (в г/т) особенности гейзеритов

№ обр.	36-1	26-3	57-1	361-1	57-2	194-2	48-1	79-1	41-2	621-3
Минерал	Магнезит		Тридимит, ральстонит	Ральстонит, флюорит, жарчихит	Ральстонит, жарчихит		Альбит, жарчихит, ральстонит			
SiO ₂	6.55	6.6	28.75	44.16	56.03	53.69	53.51	74.99	68.84	69.21
TiO ₂	0.04	0.04	0.15	0.22	0.47	0.73	1.69	0.99	0.87	0.43
Al ₂ O ₃	1.18	1.36	23.52	20.61	19.99	26.14	18.5	11.08	12.5	15.99
Fe ₂ O ₃	0.27	0.18	0.31	1.02	2.07	1.54	0.98	2.04	1.18	6.95
MnO	0.08	0.09	0.09	0.01	0.1	0.02	0.09	0.11	0.11	0.37
MgO	39.46	38.95	13.41	2,8	1.78	2.7	3.22	0.36	1.79	0.32
CaO	1.36	1.73	1.92	15	1.59	0.92	1.11	1.95	1.17	0.75
Na ₂ O	0.87	0.15	5.58	4, 27	2.59	2.22	2.86	2.02	2.05	0.99
K ₂ O	0.22	0.21	0.35	0.58	2.79	2.04	1.6	2.4	1.87	4.48
п.п.п.	49.39	49.66	24.74	н.о.	12.78	н.о.	16.56	3.83	9.54	н.о.
P ₂ O ₅	0.02	0.03	0.18	0.09	0.17	0.47	0.19	0.17	0.11	0.07
F	н.о.	н.о.	н.о.	>1, 0%	н.о.	>1, 0%	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Сумма	99.44	99	98.85	88.76	100.36	90, 47	100.31	99.94	100.03	99.56
Sc	1.8	3	9.6	5.2	7.1	10, 8	7.7	5	4.4	7.9
Cr	15	6	9	7	26	13	16	34	17	1323
Co	0.8	0.9	1.4	1.8	3.7	3, 1	2.3	3.2	1.6	15.4
Zn	5	5	19	18	35	27	9	15	13	88
As	0.3	0.3	1.3	0.9	1.2	34, 6	25.9	1.2	7.4	2.6
Se	0.3	0.4	2.9	0.7	0.8	1	2.6	3.5	2.3	2
Rb	8	6	312	367	167	408	282	99	227	235
Sr	25	23	64	417	219	115	162	366	172	127
Mo	1.8	0.5	1.3	2.2	15	3.3	374.8	1.6	6.5	4.8
Ag	0.2	0.5	2.9	н.о.	0.5	н.о.	1.7	0.4	16	1
Sb	0	0.1	0.5	0.1	0.5	0.6	0.8	0.3	0.4	1419
Cs	0.9	0.9	19.2	14.5	9.8	14.7	30.2	6.9	18.1	53.1
Ba	49	107	44	723	404	238	669	765	496	187
La	5.6	2.5	19	43.2	34.8	21.1	30.5	53.4	39.6	49.2
Ce	8.8	6.8	29.8	92.6	59.7	39.4	35.7	87.2	75.3	80
Nd	4	3	10	45	26	14	11	32	40	26
Sm	0.75	0.46	1.7	7.77	4.13	1.94	1.84	3.74	6.58	5.02
Eu	0.12	0.06	0.39	1.65	0.78	0.35	0.62	0.77	0.82	0.97
Tb	0.16	0.05	0.17	0.89	0.47	0.43	0.24	0.46	0.74	0.68
Yb	1.7	0.8	0.5	1.7	1.1	0.7	0.6	1	1.4	1.8
Lu	0.29	0.15	0.01	0.14	0.11	0.11	0.11	0.09	0.12	0.07
Hf	0.3	0.3	1.7	2.1	4.3	5.3	5.1	6.9	6	5.4
Ta	0.05	0.05	0.51	0.39	0.69	0.74	0.98	1.2	1.04	1.39
W	0.7	0.6	2.8	1.7	21	2.2	15.8	10.5	2.4	3.5
Th	3.9	4	15.2	21.1	16.7	20.5	14.3	26.5	21.1	25.4
U	0.4	0.4	0.3	1.1	3.3	2.5	2.4	3.9	2.8	5.3
Ni	10	10	10	15	17	16	25	10	13	185
Cu	5	5	5	35	5	40	6	5	6	19
Y	6	5	5	44	7	37	13	5	12	24
Zr	20	20	25	58	144	153	268	296	176	211
Pb	8	8	8	0	8	9	8	8	8	72

Продолжение таблицы 1

№ обр.	358-2	392-1	399-2	378-1	377-1	80-4	30-2	605-1	620
Минерал	Тридимит	Тридимит	Тридимит, ральстонит	Тридимит, ральстонит	Тридимит, ральстонит	Кварц	Кварц	Кварц	Кварц
SiO ₂	92.86	92.25	96.5	81.64	86.13	94.75	90.17	96.01	92.14
TiO ₂	0.17	0.06	0.18	0.17	0.22	0.02	0.11	0.08	0.05
Al ₂ O ₃	0.98	0.44	0.34	6.57	1.12	0.27	2.9	1.6	0.75
Fe ₂ O ₃	0.62	0.57	0.51	0.49	0.69	0.88	1.1	1.3	0.94
MnO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07
MgO	1.31	1.14	1.59	3.4	1.2	1.13	0.21	0.1	1.37
CaO	0.08	0.12	0.08	0.77	0.24	0.38	1.09	0.3	4.33
Na ₂ O	1.68	0.12	0.13	1.86	0.25	0.25	0.68	0.5	0.25
K ₂ O	0.76	0.05	0.05	0.16	0.17	0.15	0.06	0.4	0.12
ППП	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	3.2	н.о	н.о
P ₂ O ₅	0.02	0.03	0.27	0.06	0.03	0.15	0.43	0.01	0.02
F	0.67	0.15	0.1	>1, 0%	0.32	0.04	0.06	н.о	н.о
Сумма	99.16	94.94	99.76	95.13	90.38	98.03	100.02	100.31	100.04
Sc	0.4	0.2	0.2	3.8	1	0.1	1	0.8	0.3
Cr	6	4	5	7	8	8	26	2525	1912
Co	0.8	0.7	0, 6	0.7	1.3	1.1	1.5	2.5	3.3
Zn	11	11	8	6	12	11	7	1	10
As	1.2	2.9	2	2.2	21.6	35.5	6	4.8	0.3
Se	2.2	3.3	2.5	5.4	3.5	0.2	0.4	0.2	0.2
Rb	46	24	16	141	41	26	30	11	2
Sr	19	46	17	46	31	22	50	44	79
Mo	0.5	0.6	2.2	6.1	1.2	9.4	4.2	1.1	1.2
Ag	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.3	0.1	0.1
Sb	0.2	0.1	0.5	0.2	0.2	1.9	1	0.5	71.7
Cs	2.5	0.7	0.7	8.4	1.4	0.6	2.8	1.5	2
Ba	30	9	7	96	72	67	98	13	20
La	4.4	13.9	3.2	54.3	6	1.2	5.5	5.7	3.4
Ce	6.9	19.1	5.1	86.9	11.7	3.6	11	11.7	7.4
Nd	2	5	2	30	5	2	5	5	5
Sm	0.25	0.57	0.35	3.57	0.68	0.38	1.01	0.74	0.78
Eu	0.04	0.07	0.04	0.64	0.12	0.03	0.15	0.12	0.07
Tb	0.02	0.45	0.06	0.36	0.08	0.02	0.09	0.05	0.2
Yb	0.2	1.3	0.4	0.5	0.3	0.03	0.2	0.2	0.2
Lu	0.02	0.1	0.03	0.05	0.03	0.08	0.02	0.04	0.01
Hf	1.2	5	1.5	2.3	2.7	0.1	0.7	0.4	0.8
Ta	1.01	0.91	1.22	1.6	1.93	0.01	0.12	0.09	0.03
W	1.9	2	1	1.2	2.3	1	23	0.05	0.4
Th	3.7	24.5	11.9	31.4	5.1	1.7	2.8	2.8	1.3
U	0.3	3.6	0.8	0.3	0.7	4.7	1.7	0.9	0.4
Ni	3	7	3	8	9	10	10	169	130
Cu	1	4	6	6	13	17	6	9	7
Y	3	8	0	12	3	4	5	5	4
Zr	86	64	130	89	84	26	0	36	44
Pb	4	1	4	5	6	3	10	12	14

ности (0,5–5 см) гейзеритовых прожилков, а также их редкую встречаемость и ограниченные объемы, мы считаем, что в пределах ЭВЦ этот тип рудной минерализации не имеет промышленной значимости.

2. В гейзеритах рентгено-структурным анализом установлены α -кварц, кристобалит, тридимит, редко альбит и, в значительных количествах, фтор-содержащие минералы: жарчихит, ральстонит, α -ральстонит, реже флюорит, что свидетельствует о фторидном характере термальных растворов.

3. В первичных ФВ, обнаруженных в халцедоне

гейзеритов из долины реки Бийтик-Тебе, состав и концентрацию растворов не удалось определить из-за малых (менее 10 мкм) размеров флюидных включений, а температура их гомогенизации составила 120–140 °С. В трещиноватых зернах кварца из гейзеритов (истоки р. Малки) обнаружены только вторичные ФВ с газовой фазой до 15–20 % от их объема. Температура их гомогенизации варьирует в пределах 127–152 °С, а концентрация растворов – от 5,0 до 14,2 мас. % экв. NaCl. Основным компонентом растворов является NaCl с примесью KCl (менее 10 %).

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисенко А.С. О возможном определении карбонатов и бикарбонатов натрия в растворах газовой-жидких включений в минералах // Докл. АН СССР 1974. Т. 214, № 8. С. 16–27.
2. Дубянский В.В. К петрографии Эльбруса. Изв. Варшавского политех. ин-та. Варшава. 1914. 489 с.
3. Коваленко В.И., Наумов В.Б., Богатилов О.А. Потенциальная рудоносность кислых магматических пород // 27 МГК, Петрология / Секция С.09: Доклады. Т. 9. – М.: Наука, 1984. С. 94–103.
4. Котляр В.Н. Основы теории рудообразования. – М.: Недра. 1970. С. 263–307.
5. Науменко В.В. Вулканизм и вулканогенное оруденение. – Киев: Препринт ИГФМ. 1987. 65 с.
6. Новейший и современный вулканизм на территории России (Автор. колл. Лавров Н.П., Добрецов Н.Л., Богатилов О.А. Гурбанов А.Г. и др.). – М.: Наука. 2005. 604 с.
7. Рудич К.Н. Субвулканические образования и их рудоносность // VI Всесоюзное металлогенич. совещ. – Владивосток. 1971. С. 46–47.
8. Синяков В.И. Основы теории рудогенеза. – Л.: Недра. 1987. 188 с.
9. Соловьев С.П. Геолого-петрографический очерк верховьев р. Ирик (юго-восточное подножие Эльбруса) // Изв. Гл. геол.-разв. упр. 1931. Т. L. Вып. 18.
10. Vila T., Sillitoe R.H. Gold-rich porphyry systems in the Maricunga Belt, Northern Chile // Economic Geology. 1991. V. 86. P. 1238–1260.

REFERENCES

1. Borisenko A.S. O vozmozhnom opredelenii karbonatov i bikarbonatov natriya v rastvorax gazovo-zhidkix vklyucheniij v mineralax // Dokl. AN SSSR 1974. T. 214, № 8. S. 16–27.
2. Dubyanskiy V.V. K petrografii E'l'brusa. Izv. Varshavskogo. politex. in-ta. Varshava. 1914. 489 s.
3. Kovalenko V.I., Naumov V.B., Bogatnikov O.A. Potencial'naya rudonosnost' kisly'x magmaticheskix porod // 27 MGK, Petrologiya / Sekciya S.09: Doklady. T.9. – M.: Nauka, 1984. S. 94–103.
4. Kotlyar V.N. Osnovy teorii rudoobrazovaniya. – M.: Nedra. 1970. S. 263–307.
5. Naumenko V.V. Vulkanizm i vulkanogennoe orudenenie. – Kiev: Preprint IGFМ. 1987. 65 s.
6. Novejsij i sovremennyj vulkanizm na territorii Rossii (Avtor. koll. Laverov.N.P., Dobreczov N.L., Bogatnikov O.A. Gurbanov A.G. i dr.). – M.: Nauka. 2005. 604 s.
7. Rudich K.N. Subvulkanicheskie obrazovaniya i ix rudonosnost' // VI Vsesoyuznoe metallogenich. soveshh. – Vladivostok. 1971. S. 46–47.
8. Sinyakov V.I. Osnovy teorii rudogeneza. – L.: Nedra. 1987. 188 s.
9. Solov'ev S.P. Geologo-petrograficheskij ocherk verxov'ev r. Irik (yugo-vostochnoe podnozhie E'l'brusa) // Izv. Gl. geol.-razv. upr. 1931. T. L. Vy'p. 18.
10. Vila T., Sillitoe R.H. Gold-rich porphyry systems in the Maricunga Belt, Northern Chile // Economic Geology. 1991. V. 86. P. 1238–1260.