УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ

УДК 553.462,463(553.242.4)

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГРЕЙЗЕНОВ НА КОКЛАНОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ВОЛЬФРАМА И МОЛИБДЕНА (КУРГАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

М.В. Заботина¹, Е.Е. Паленова^{1,2}, А.М. Юминов²

¹ Институт минералогии УрО РАН, г. Muacc, Mary_7-88@mail.ru ² Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Muacce

FORMATION CONDITIONS OF GREISENS AT THE KOKLANOVSKOE W-MO DEPOSIT (KURGAN DISTRICT)

M.V. Zabotina¹, E.E. Palenova^{1,2}, A.M. Yuminov²

¹ Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, Mary_7-88@mail.ru

² South Ural State University, Miass

Руды вольфрама и молибдена на Коклановском месторождении связаны с грейзенами, развитыми в гранитах и во вмещающих их апобазитовых амфибол-биотитовых сланцах и скарнах. Незначительные проявления золота зафиксированы в апосерпентинитовых лиственитах и березитоподобных метасоматитах. Для выявления возможной генетической связи между грейзенами и карбонатсодержащими метасоматитами применены методы термобарогеохимии. Установлено, что грейзены формировались при воздействии на граниты и вмещающие сланцы углекислотных Cl-K-Ca растворов с возможной примесью NaF, KF и NaHCO₃ и варьирующей концентрацией солей, при истинных температурах 225—465 °C и давлении ~1.1 кбар. Учитывая данные PTV, полученные нами ранее для листенитов, показано, что формирование грейзенов и лиственитов могло протекать в результате эволюции единого флюида при снижении температуры, а к появлению апогрейзеновых карбонатных ассоциаций привело истощение растворов по отношению к F и их обогащение CO₃²⁻. В качестве источника Ca и Mg предполагаются вмещающие кристаллические сланцы с линзами мраморов и метагипербазитов.

Илл. 7. Библ. 17.

Ключевые слова: грейзены, карбонатсодержащие метасоматиты, листвениты, Коклановское месторождение, условия образования, термобарогеохимия.

Wolfram and molybdenum ore at Koklanovka deposit relates with greisen which developed on granite and wall apobasitic amphibole-biotite schists and skarnes. Insignificant Au mineralisation is determined at aposerpentinite listvenite and beresite-like metasomatites. Method of thermobarogeochemistry was used for detecting of genetic relation between the greisen and carbonate-bearing metasomatites. It was obtained that greisen was formed with carbon-dioxide Cl-K-Ca solution, possible NaF, KF μ NaHCO₃ admixture and variable salt concentration under 225–465 °C and ~1.1 kBar. Taking into account our earlier obtained PTV data for listvenite it was revealed, that greisen and listvenite can be formed as the result of evolution of the same fluid under decreasing of temperature. Depletion of F and CO₃²⁻ enrichment lead to post greisen carbonate association forming. Schist with marble and metaultrabasite lenses are supposed as Ca and Mg sources.

Figures 7. References 17.

Key words: greisens, carbonate-bearing metasomatites, listvenites, Koklanovskoe deposit, formation conditions, thermobarogeochemistry.

Введение

Традиционно к грейзенам относят высоко- и среднетемпературные метасоматические породы кварц-слюдистого, кварц-топазового и кварцтурмалинового состава, сопровождающиеся редкометальной (Sn, W, Mo, Be) минерализацией (Рундквист и др., 1970; Барабанов, 1995). Грейзены образуются за счет воздействия на алюмосиликатные породы высококонцентрированных фторидно-хлоридно-калиево-натриевых растворов, связанных с гранитоидами, при участии летучих кислотных компонентов: F, Cl, B, S и CO₂. Типичные грейзены развиваются по гранитам, однако, жильные тела, генетически связанные с апогранитными грейзенами, могут залегать и во вмещающих породах, при этом их основу составляют такие типоморфные минералы как кварц, слюды, флюорит, иногда топаз. Формирование лиственит-березитовых золотоносных метасоматитов также считается связанным с кислыми интрузивными породами и обусловлено воздействием флюидов хлориднонатриево-калиевых растворов, обогащенных СО, и СН₄. Листвениты формируются за счет ультрамафитов, а березиты - пород более кислого состава (Метасоматизм..., 1998; Harlov, Austrheim, 2013).

Принято связывать образование грейзенов с редкометальными гранитами, а лиственит-березитовых ассоциаций – с гранитоидами более широкого формационного диапазона – тоналит-гранодиоритового и габбро-гранитного типов (Сазонов, 1998). Следует учесть, что в ряде случаев к березит-лиственитовой формации относят рудоносные метасоматиты, связь которых с материнскими интрузиями предполагается только по косвенным признакам, а прямая – не прослеживается (Сазонов, 1998).

На Коклановском месторождении в кварцфлюоритовых жилах, залегающих как в измененных гранитах, так и во вмещающих сланцах, часто присутствует кальцит. Более того, сами граниты значительно карбонатизированы, хотя карбонатизация для грейзенов не типична (Метасоматизм..., 1998). Также в гранитах встречаются линейные зоны наложенных глинистых изменений («аргиллизации»), в которых, помимо гидрослюд, присутствует кальцит. Следует учитывать, что во вмещающей толще метаморфических сланцев присутствуют тела скарнов, образовавшиеся за счет линз известковистых вулканогенно-осадочных пород и линз

карбонатных пород, по отношению к которым ассоциации грейзенов являются наложенными.

Предыдущими исследователями образование грейзенов на Коклановском месторождении связывалось с Коклановским массивом лейкогранитов ($1\gamma P_2 lb$), специализированным на W, Mo (Морозова, 2007), скарнов – с Соколовским массивом габбро-диорит-гранодиоритовой $(\delta D_{2,3}b)$, а продукты карбонатизации мации относили к березит-лиственитовой формации (Конаныхин и др., 1989ф) или аргиллизации (Карагодин и др., 1989) без указания генетической связи между метасоматитами и конкретным интрузивным комплексом.

Учитывая повсеместное распространение карбонатов во всех типах метасоматических образований на Коклановском месторождении и недостаток данных для обоснования модели рудообразования на месторождении в целом, представляется важным определение условий формирования основных рудоносных минеральных ассоциаций. Ранее методами термобарогеохимии были проанализированы Т-Р параметры формирования золотоносных лиственитов (Заботина и др., 2014). Предлагаемая работа посвящена выяснению условий формирования ассоциации грейзенов и оценке вероятности формирования грейзенов и карбонатных ассоциаций в результате эволюции единого флюида.

Методы исследований

Минералого-петрографический анализ рудоносных метасоматитов и вмещающих пород проводился с помощью поляризационных микроскопов (ПОЛАМ-Р113, Axiolab CZ, Olympus BX51) с цифровыми приставками. Валовый минеральный состав был подтвержден методом рентгеноструктурного анализа (рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-6000, аналитик Е.Д. Зенович). Оценка Т-Р условий рудообразования опиралась на изучение флюидных включений в кварце из апогранитных грейзенов. Флюидные включения изучались в микрокриотермокамере Linkam THMSG-600 с использованием микроскопа Olympus BX 51-52 и программного обеспечения LinkSystem 32 DV-NC (лаборатория термобарогеохимии, ЮУрГУ, г. Миасс). Солевой состав гидротермальных растворов во включениях оценивался по температурам эвтектик (Борисенко, 1977). Температуры гомогенизации фиксировались в момент исчезновения газового пузырька при нагревании препарата в термокамере и приняты за минимальные температуры процесса минералообразования (Реддер, 1987). Концентрации солей для включений в растворах рассчитывались по температурам плавления последних кристаллических фаз (Bodnar, Vityk, 1994). Давление рассчитано по плотностям углекислоты (Смит, 1968).

Краткая характеристика Коклановского месторождения

Коклановское вольфрам-молибденовое месторождение находится в Курганской обл., в 30 км на ЮЮЗ от г. Катайска и расположено в Куровско-Улугушском антиклинории, приуроченном к сочленению Зауральского мегантиклинория и Восточно-Уральского прогиба (Пумпянский и др., 2003). Редкометальное оруденение связано с позднепалеозойско-мезозойской тектономагматической активизацией и контролируется Коклановским массивом лейкогранитов (Конаныхин и др., 1989ф).

Рудовмещающий комплекс включает в себя биотит-кварц-полевошпатовые, амфибол-кварц-полевошпатовые, амфибол-биотитовые сланцы, образованные по вулканогенно-осадочным породам нижнего палеозоя, содержащие редкие тела мраморов (Бирючев, 1988ф; Конаныхин и др., 1989ф), серпентинизированные гипербазиты и лейкограниты с сопровождающим дайковым комплексом (рис. 1). Промышленная шеелит-молибденитовая минерализация развита, в основном, в грейзенах, распространенных в кварц-флюоритовых (± микроклин, карбонаты) жильных ассоциациях в скарнах и метаморфических сланцах. Апогранитные грейзены преимущественно специализированы на молибден.

Специфической чертой Коклановского месторождения является повсеместное распространение карбонатов (преимущественно кальцита и доломита) в гранитах, кристаллических сланцах, метагипербазитах, грейзенах и скарнах.

Грейзены в гранитах развиты повсеместно и образуют тела с постепенными границами, жилы и штокверковые зоны. В сланцах и скарнах грейзены представлены жилами, в гипербазитах – зонами флогопитизации (Новоселов и др., 2013ф).

Граниты Коклановского массива лейкократовые, с наложенными процессами связано изменение окраски на зеленоватую за счет развития тонкочешуйчатого мусковита и красную — за счет

низкотемпературной ассоциации глинистых минералов и карбонатов (рис. 2).

Главные минералы – альбит, ортоклаз, микроклин-пертит, кварц, незначительно развиты биотит и мусковит, типичный акцессорный минерал циркон (Морозова, 2007). Характерно, что породы, визуально определяемые как грейзены по типичной кварц-мусковитовой ассоциации, не всегда содержат максимальные количества фтора, который на данном месторождении преимущественно сконцентрирован во флюорите. Наиболее контрастно изменения гранитов в рудной зоне проявлены в увеличении содержаний карбонатов с сопровождающимся уменьшением новообразований флюорита и мусковита, что свидетельствует об уменьшении фтора и калия. Содержания фтора и карбонатов в измененных разностях гранитов не коррелируют друг с другом (рис. 3а), что соответствует одновременному присутствию флюорита и кальцита в различных количественных соотношениях и иллюстрирует невозможность разделения продуктов грейзенизации и карбонатизации. Для выборки, включающей слабоизмененные граниты, по данным (Конаныхин и др., 1989ф) характерна прямая корреляция между содержаниями карбонат-иона и натрия (рис. 3б), иногда – алюминия. Сера, основным носителем которой является пирит, слабо коррелирует с содержанием карбонатов в измененных гранитах (рис. 3в).

Грейзены, образующиеся no гранитам, массивные, участками неоднородные, пятнистые за счет гнезд кварц-флюоритового состава. Главные минералы – кварц, мусковит (серицит), флюорит, микроклин, реликты альбита, пирит, образования грейзенов кальцит. Признаками в гранитах являются частичное или полное замещение полевых шпатов (микроклина, ортоклаза) тонкочешуйчатым серицитом, появление вторичного кварца и флюорита в виде гнезд в макроскопически «свежем» граните (рис. 4a, б). интенсивно измененных участках более появляется крупночешуйчатый мусковит, в предельном случае образуются типичные кварцмусковитовые грейзены с гнездовым флюоритом (рис. 4г, д).

Кварц в массивных апогранитных грейзенах, так же, как в прожилковых и гнездовых образованиях, содержит множество газово-жидких и многофазных включений (рис. 5). Альбит и калиевые полевые шпаты повсеместно замещаются агрегатами серицита, карбонатизированы (рис. 4в). При этом

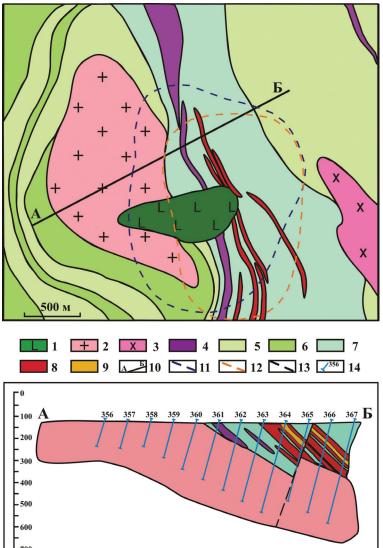


Рис. 1. Геологическая схема и разрез (А-Б) Коклановского месторождения (по В.И. Баль). 1-4 - комплексы: 1 - Туринский, экструзивные тела и дайки долеритов и габбро-долеритов (Т₁₋₂), 2 – Лобановский, граниты лейкократовые Коклановского массива (1\gamma P_2/b), 3 - Баклановский, габбро-диориты, диориты $(\delta D_{2}, b), 4 - Дружнинский, серпентиниты, уль$ трамафиты, тальковые метасоматиты (σO?dr); 5-7 - Алексеевский комплекс: 5 - сланцы кварц-биотитовые, биотит-кварцевые, 6 - сланполевошпат-кварц-биотит-амфиболовые, полевошпат-кварц-амфиболовые, квариамфибол-биотитовые, 7 - сланцы полевошпаткварц-биотит-амфиболовые с прослоями кварцбиотитовых и биотит-кварцевых сланцев; 8 – скарны гранатовые, пироксен-гранатовые; 9 - магнетитовые руды; 10 - геологический разрез; 11-12 - контуры редкометального оруденения: 11 - содержание Мо ≥ 0.01 %, 12 - содержание $WO_2 \ge 0.3$ %; 13 – тектонические нарушения; 14 - скважины и их проекции на горизонтальную плоскость (пройденные при поисковых работах).

Fig. 1. Geological scheme and section of the Koklanovskoe deposit (modified and simplified after V.I. Bal'). 1–4 – complexes: 1 – Turinsky, extrusive bodies and dykes of dolerite and gabbrodolerite (T_{1-2}), 2 – Lobanovsky, leucocratic granites of the Koklanovsky massif ($l\gamma P_2/b$), 3 – Baklanovsky, gabbro-diorite, diorite ($\delta D_{2-3}b$), 4 – Druzhninsky, serpentinites, ultramafic rocks, talc metasoma-

tic rocks (σ O?dr); 5–7 – Alexeevsky complex: 5 – biotite-quartz and quartz-biotite schist, 6 – amphibole-biotite-quartz-feldspar, amphibole-quartz-feldspar, biotite-amphibole-quartz schist, 7 – amphibole-biotite-quartz-feldspar with interlayers biotite-quartz and quartz-biotite schist; 8 – garnet and garnet-pyroxene skarns; 9 – magnetite ores; 10 – geological section; 11 – content of Mo \geq 0.01 %, 12 – content of WO₂ \geq 0.03 %; 13 – tectonic faults; 14 – drill holes and their projection on horizontal plane (traversed during prospecting).

альбит больше подвержен карбонатизации, а по ортоклазу и микроклину развивается мусковит, реже флюорит или кальцит. Фиолетовый до бесцветного флюорит, как правило, образует гнездовые скопления совместно с мусковитом, рутилом, цирконом и кальцитом. В шлифах иногда можно наблюдать развитие метакристаллов кальцита во флюорите. Обратные соотношения, свидетельствующие о замещении карбоната флюоритом, не выявлены.

Развитие *грейзенов в кристаллических сланцах* проявляется в формировании жил, линз и гнезд разного масштаба кварц-флюоритового, полевош-

пат-карбонатно-флюоритового состава (см. рис. 2г). Калиевый полевой шпат замещается карбонат-серицитовыми агрегатами (рис. 4е), в то время как флюорит и мусковит тесно ассоциируют с кальцитом и их формирование близко к одновременному (рис. 4ж, 3).

Результатом образования грейзенов по гипербазитам являются зоны светлых флогопитовых слюдитов мощностью от первых сантиметров до первых десятков сантиметров и жилы преимущественно, микроклин-флюоритового состава. Слюдиты массивные, сложены чешуйчатым агре-

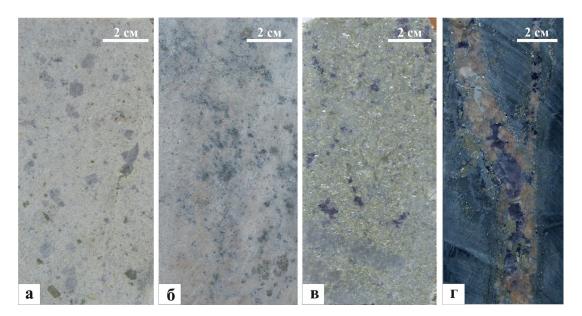
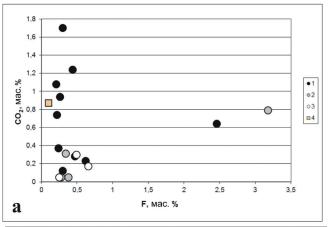
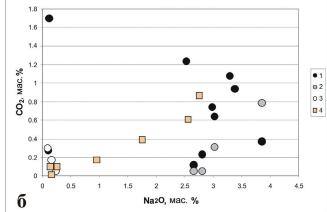


Рис. 2. Грейзенизированные граниты (а) и (б): а – с порфировыми выделениями кварца и ортоклаза. Полевой шпат частично замещен серицитом, чешуйками мусковита, карбонатом; б – кварц-ортоклаз-альбитового состава с наложенными флюоритом, карбонатом, мусковитом, хлоритом и глинистыми минералами. Содержит гнезда пирита и молибденита. Грейзены (в) и (г): в – кварц-мусковитового состава с гнездами флюорита; г – кварц-флюорит-полевошпатовая жила в кристаллическом сланце, полевой шпат серицитизирован и карбонатизирован.

Fig. 2. Greisenized granites (a) and (δ): a – with quartz and orthoclase fenocrysts. Feldspar is partially replaced by sericite, muscovite, carbonate; δ – orthoclase-albite-quartz granite with fluorite, carbonate, muscovite, chlorite, and clay minerals alteration containing of pyrite and molybdenite. Greisens (ϵ) and (ϵ): ϵ 0 – with muscovite-quartz composition and fluorite spot; ϵ 1 – feldspar-fluorite-quartz vein in the schist, feldspar replaced by sericite and carbonate.





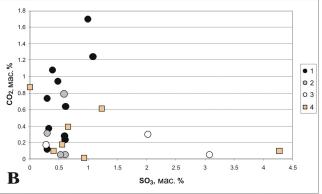


Рис. 3. Изменение химического состава гранитов при карбонатизации и грейзенизации. 1 — граниты; 2 — измененные граниты; 3 — кварц-мусковитовые грейзены; 4 — граниты, неразделенные по степени изменения, содержания фтора проанализированы для одной пробы (Конаныхин и др., 1989ф).

Fig. 3. Chemical composition variation of granites for carbonatization and greisenization. 1 – granites; 2 – altered granites; 3 – muscovite-quartz greisens; 4 – altered and unaltered granites, content of F was analyzed for one sample (Konanykhin et al., 1989φ).

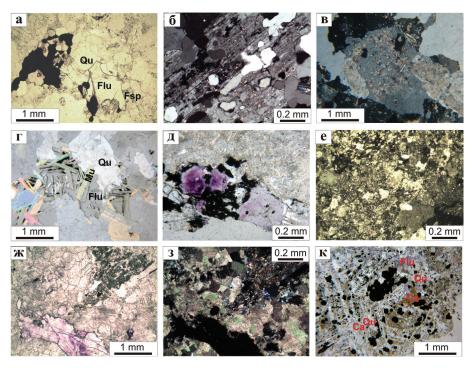


Рис. 4. Микроструктуры изученных пород: а – гнездо флюорита и рудного минерала в слабо грейзенизированном граните; б – серицитизированный альбит и новообразованный кварц в граните; в – замещение ортоклаз-микропертита серицитом и альбита карбонатом; г – мусковит-кварцевый грейзен; д – флюорит и сульфиды в интерстиции карбонатизированного альбита и кварца; е – замещение микроклина серицитом и карбонатом, альбита серицитом в кварц-полевошпатовой жиле; ж, з – карбонат-флюоритовый грейзен; вверху справа – агрегат эпидота; к – замещение зонального кристалла граната агрегатом кварца, кальцита и флюорита при грейзенизации скарна.

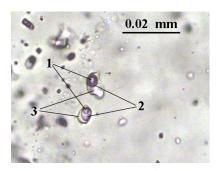
а, г, д, ж, к – николи $\|$; б, в, е, з – николи \times .

Fig. 4. Microstructure of studied rocks: a – fluorite and ore mineral spot in the slightly greisenizated granite; 6 – sericitizated albite with newly formed quartz in the granite; β – the replacement of orthoclase-microperthite by sericite and albite by carbonate; γ – quartz-muscovite greisen; χ – fluorite and sulfides in interstices of sericitised albite and quartz; γ – replacement of microcline by sericite and carbonate, and partly sericitised albite in quartz-feldspar vein; γ – carbonate-fluorite greisen. At the top right – epidote aggregate; γ – replacement of zonal crystal of garnet by quartz-calcite-fluorite aggregate because the greisenization of skarn.

а, г, д, ж, κ – Nichols ||; б, в, е, 3 – Nichols \times .

гатом флогопита и содержат акцессорные циркон и апатит. Вторичные изменения сводятся к хлоритизации флогопита, сопровождающейся образованием метакристаллов доломита. Слюдиты могут пересекаться прожилками флюорит-полевошпатового состава. Для апогипербазитовых грейзенов характерно развитие пылевидного гематита, придающего породе красную окраску и не характерен кварц. Среди акцессорных минералов нужно упомянуть циркон с гиацинтовой огранкой, образующий включения во флюорите, свидетельствующий о генетической связи слюдитов с процессами грейзенизации.

В скарнах минеральная ассоциация, образование которой можно связать с грейзенами, представлена жилами и гнездами кальцит-кварцфлюоритового состава. В некоторых случаях можно проследить структуры замещения крупных зональных кристаллов граната агрегатом кварца, кальцита и иногда флюорита, при этом распределение кальцита подчеркивает реликтовую структуру граната (рис. 4к). Кварц из жил грейзенов в скарнах содержит мелкие многофазные включения, сходные с включениями из кварца апогранитных грейзенов. Флюорит в скарнах встречается как в поздних жилах, так и в массе гранат-диопсидовых агрегатов в составе замещающего комплекса. Вре-



Puc. 5. Трехфазные включения в грейзенах: 1 – газовая фаза (CO_2), 2 – жидкая фаза (углекислота), 3 – жидкая фаза (солевой раствор).

Fig. 5. Three-phase fluid inclusions in greisens: 1 - gas phase (CO₂), 2 - liquid phase (carbon dioxide), 3 - liquid phase (salt solution).

менные взаимоотношения флюорита и карбонатов в скарнах варьируют.

Новообразованные ассоциации, соответствующие березитам (кварц + кальцит + серицит + пирит) и лиственитам (кальцит + кварц + фуксит + пирит), проявлены в виде тел с постепенными границами соответственно в гранитах и метагипербазитах. Прямые пересечения этих ассоциаций с ассоциацией грейзенов не наблюдались, что не позволяет однозначно определить их относительный возраст. Тем не менее, судя по характеру взаимоотношений между минералами в шлифах, карбонат-содержащие минеральные ассоциации массивных «березитов» формировались позднее кварцмусковитовых грейзенов.

Результаты термобарогеохимических исследований

Для оценки условий формирования грейзенов был изучен кварц в массивном апогранитном грейзене из рудной зоны. По положению в зерне кварца и морфологии выделены первичные и вторичные включения. Первичные включения обособленные, имеют вытянутую округлую или угловатую форму, иногда с элементами огранки отрицательного кристалла, двухфазные (водный раствор и газовый пузырек светлого и темного цвета округлой формы, занимающий 30–50 % от общего объема включения) и многофазные (водный раствор, газовый пузырек, жидкая углекислота и кристаллическая фаза) включения (см. рис. 5). Размер изученных включений достигает 10–40 мкм. Вторичные включения мелкие (1–2 мкм), представлены одной жидчения мелкие (1–2 мкм), представления мелкие (1–2 мкм) мелкие (1–2 мкм)

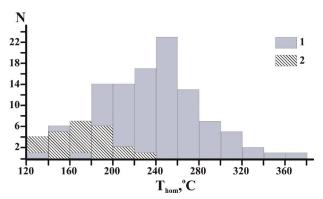


Рис. 6. Температуры гомогенизации флюидных включений в апогранитном грейзене (1) и листвените (2).

Fig. 6. Homogenization temperatures of fluid inclusions in greisen after granite (1) and in the listvenite (2).

кой фазой, в большом количестве встречаются вдоль залеченных трещин и изучению не подлежали.

Температуры гомогенизации $(T_{\text{\tiny DOM}})$ ных включений лежат в диапазоне от 140 до $380 \, ^{\circ}\text{C} \, (n = 105) \, (рис. \, 6)$. По температурам эвтектики (n = 33), варьирующим в пределах от -26 до -20.5 °C и температурам плавления последнего кристаллика льда (n = 29), составляющим от -0.2 до -16.7 °C, был определен солевой состав, близкий системе NaCl-KCl-H₂O с возможной примесью NaF, KF и NaHCO₂ и концентрацией солей в растворе, варьирующей от 0.5 до 23.4 мас. % NaCl-экв (рис. 7) с преобладанием более низких концентраций (0.5-2 и 4-8 мас. % NaCl-экв). Однако, присутствие включений с кристалликом твердой фазы указывает на участие в минералообразовании и высококонцентрированных растворов. По температурам частичной гомогенизации (+27...+27.4 °C) и удельному объему углекислоты (1.40 м³/кг) в трехфазных углекислотных включениях установлено значение исходного давления в районе ~1.1 кбар. С учетом «поправки на давление» (+85 °C) истинные температуры образования кварца в грейзенах составили 225-465 °C.

Обсуждение и выводы

Образование грейзенов и метасоматитов лиственит-березитовой формации происходит под воздействием различающихся по составу растворов. Грейзены образуются в условиях варьирующих температур (600–400 до 200 °C) с концентрацией солей в растворе от >40 до 10–15 мас. % NaCl-экв (Harlov, Austrheim, 2013) и давлении до 1.6 кбар

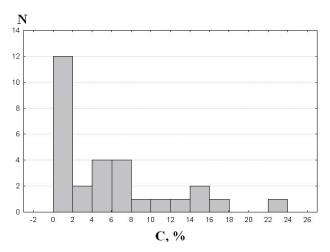


Рис. 7. Концентрация солей в растворе (C, %) флю-идных включений в апогранитном грейзене. N – количество замеров.

Fig. 7. Salinity of solution (C, %) from fluid inclusions in greisen after granite.

(Метасоматизм..., 1998). Основными компонентами флюида являются NaCl, KCl, HF и ${\rm CO_2}$ (Harlov, Austrheim, 2013). Типичные листвениты и березиты образуются под воздействием хлоридно-натриево-калиевых растворов, обогащенных ${\rm CO_2}$ при температурах 290–340 °C для лиственитов и 490–350 °C для березитов и давлении 1–3 кбар (Harlov, Austrheim, 2013; Метасоматизм..., 1998).

Образование грейзенов в рудной зоне Коклановского месторождения по физико-химическим параметрам близко к формированию типичных грейзенов с редкометальной молибденит-вольфрамит-кварцевой минерализацией (Метасоматизм..., 1998), однако отличаются от них более низкими концентрациями солей в растворе (0.5-2 и 4-8 мас. % NaCl-экв). Одновременное присутствие низкоконцентрированных флюидных включений и включений с кристаллической фазой (рассолов), а также полученные нами широкие вариации концентраций, указывают на возможность фазовой сепарации (Von Damm et al., 2003). Полученные нами значения давления формирования грейзенов ожидаемо ниже, чем оценки начального давления формирования гранитного массива (Морозова, 2007).

Ранее было показано, что листвениты на Коклановском месторождении образуются при более низких, чем указано в (Harlov, Austrheim, 2013), температурах 150–200 °С (Заботина и др., 2014).

По полученным данным, с учетом широкого распространения поздних карбонатов в грейзенизированных гранитах и жильных грейзенах можно предположить, что на Коклановском месторождении образование грейзенов и поздняя наложенная карбонатизация, включая формирование березитлиственитовых ассоциаций, связана с эволюцией единого остаточного флюида. Формирование грейзенов с редкометальной минерализацией происхо-

дило под воздействием на граниты и вмещающие сланцы хлоридно-калиево-натриевых растворов, обогащенных ${\rm CO_2}$ с вероятной примесью NaF, KF и NaHCO₃, и варьирующих концентрациях солей, при истинных температурах 225–465 °C и давлении ~1.1 кбар. Снижение температуры, закономерное истощение растворов HF $^-$ и обогащение их ${\rm CO_2}$ способствовало развитию наложенных карбонатов во всех метасоматических породах месторождения. В качестве дополнительного источника кальция и магния предполагаются вмещающие кристаллические сланцы с линзами мраморов и метагипербазитов.

Результаты изучения метасоматитов были использованы при разделении минералого-технологических разновидностей руд при подготовке материалов разведочных работ для утверждения запасов Коклановского месторождения в Государственном комитете по запасам полезных ископаемых $P\Phi$.

Авторский коллектив выражает искреннюю благодарность ООО «Уралмедьсоюз» за предоставленную возможность работы на месторождении, а также Е.В. Белогуб, К.А. Новоселову (ИМин УрО РАН) и рецензенту — Н.И. Красновой (СПбГУ) за критическое обсуждение результатов.

Работа поддержана программой УрО РАН, проект № 14-5-ИП-54.

Литература

Барабанов В.Ф. Вольфрамовые месторождения. Минералогия. Геохимия. Генезис. Проблемы комплексного использования. Т. 1. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 1995. 332 с.

Бирючев С.И. Отчет о поисковых работах на железные руды в пределах Синаро-Теченской площади в 1985–88 гг. Лесниково, 1988ф. 158 с.

Борисенко А.С. Изучение солевого состава растворов газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–28.

Заботина М.В., Юминов А.М., Новоселов К.А., Паленова Е.Е., Блинов И.А. РТ-условия образования золотосодержащих лиственитов на Коклановском месторождении вольфрама и молибдена (Курганская область) // Металлогения древних и современных океанов—2014. Двадцать лет на передовых рубежах геологии месторождений полезных ископаемых. Миасс: ИМин УрО РАН, 2014. С. 133–137.

Карагодин С.С., Макаров А.Б., Бирючев С.И., Рысин В.А. Околорудные метасоматиты Кирдинского месторождения // Геология рудных месторождений. 1989. Т. XXXI. 4. С. 116–121.

Конаныхин А.С., Бирючева В.В., Семенов А.Л. $u \partial p$. Отчет о поисковых работах на вольфрам-молибденовые руды в пределах Улугушской площади в 1987—89 гг. Курган, 1989ф.

Метасоматизм и метасоматические породы / Жариков В.А., Русинов В.Л., Маракушев А.А. и др. М.: Научный мир, 1998. 492 с.

Морозова А.В. Петролого-геохимическая характеристика редкометальных гранитов Коклановского массива (Зауралье) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 16-ой научной конференции. Сыктывкар: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 2007. С 130–132.

Новоселов К.А., Белогуб Е.В., Паленова Е.Е., Заботина М.В. Отчет по вещественному составу минералого-технологических разновидностей руд и околорудных пород Коклановского редкометального месторождения. Миасс, 2013. 250 с.

Пумпянский А.М., Горбачев Ю.Н., Тараканов Ф.Ф. Геологическое строение и металлогения Улугушского блокового поднятия Зауральского метасинклинория // Уральский геологический журнал. 2003. № 3 (33). С. 45–72.

Реддер Э. Флюидные включения в минералах: в 2-х т. Т. 1. Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 560 с.

Руднквист Д.В., Денисенко В.К., Павлова И.Г. Грейзеновые месторождения. М.: Недра, 1970. 328 с.

Сазонов В.Н. Золотопродуктивные метасоматические формации подвижных поясов. Екатерин-бург: УГГГА, 1998. 181 с.

Смит Ф.Г. Физическая геохимия. М.: Недра, 1968. 475 с.

Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Pontignana-Siena, 1994. P. 117–130.

Harlov D.E., Austrheim H. Metasomatism and the chemical transformation of rock, Lecture Notes in Earth System Sciences. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. 806 p.

Von Damm K.L., Lilley M.D., Shanks III W. C. et al. Extraordinary phase separation and segregation in vent fluids from the southern East Pacific Rise // Earth and Planetary Science Letters. 2003. V. 206. P. 365–378.

Поступила в редакцию 15 апреля 2015 г.