
Б. З. Белашев, Л. В. Кулешевич

ДЕКРЕПИТАЦИЯ ГАЗОВО-ЖИДКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КВАРЦЕ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ КАРЕЛИИ

Методическая основа работы

Метод декрепитации используется при решении прикладных задач. Он прост в применении и позволяет статистически вести в одной навеске исследование большого числа включений. Декрепитационные исследования – это предварительный этап изучения газовой-жидких включений, позволяющий выявить интервалы температур их вскрытия и объединить включения определенного генетического типа в группы, имеющие близкие температуры, при которых они взрываются. Вид кривой декрепитации является типоморфной характеристикой минеральных образований (Пашков, 1982).

Теория метода декрепитации предполагает, что при нагревании минерала после гомогенизации газовой-жидких включений давление в них даже при незначительных приращениях температуры резко возрастает, что приводит к разрушению их стенок. При этом после гомогенизации плотность газовой-жидких включений уменьшается, при постоянной массе они должны расширяться и занимать больший объем. Однако ограниченность объема вакуолей ведет к резкому повышению давления в них даже при незначительных приращениях температуры. Температура вскрытия включений при одинаковой степени заполнения зависит от прочностных свойств минерала-хозяина и размерности зерна. В области температур, при которой достигаются давления, превышающие два предела прочности минерала-хозяина, они вскрываются, при этом сразу может быть вскрыто до 85% включений одного конкретного генетического типа, что проявляется на кривой в виде пика. Однако изучение включений под микроскопом показывает, что не всегда гомогенизация и взрыв включения следуют один за другим. Чаще высокотемпературные включения лопаются несколько раньше, чем происходит их гомогенизация.

Для исследования включений методом декрепитации обычно применяются установки с механоакустическими и барометрическими датчиками в вакууме (Хотеев, 1982). В ходе нагревания механоакустические датчики могут фиксировать также импульсы, связанные с разрушением зерен фракции, и некоторые другие незначительные влияния, что следует учитывать при расшифровке кривых.

При проведении работы по изучению кварца из различных рудных объектов Карелии для регистрации звуковых импульсов, возникших в результате раскрытия газовой-жидких включений при нагревании, использовалось самодельное механоакустическое устройство (Белашев и др., 2001). Пробу в специальном контейнере, жестко соединенном с концом спицы из нержавеющей стали, помещали в центр вертикально установленной кольцевой электрической печи. Другой конец спицы опирался на мембрану телефона. От щелчка в контейнере звук по спице передавался мембране, преобразовывался в электрический импульс, который далее усиливался усилителем и через фильтр высоких частот поступал на частотомер, работающий в режиме счета импульсов. Электрическую печь запитывали от регулируемого лабораторного автотрансформатора ЛАТР-1, постепенно поднимая напряжение. Температуру в контейнере пробы определяли по показаниям прецизионного вольтметра, соединенного с хромель-алюмелевой термопарой, находящейся в тепловом контакте с контейнером.

Помехами данного способа регистрации декрепитации являются импульсы, возникающие в контейнере при тепловом расширении отдельных зерен или их механическом перемещении. Как правило, такие импульсы имеют меньшую амплитуду, чем импульсы декрепитации. Если их амплитуда меньше порога частотомера, то они не регистрируются. Регулируя коэффициент усиления усилителя, можно увеличить или уменьшить чувствительность регистрации декрепитации газовой-жидких включений, а также влияние помех на результаты измерений. Декрепитацию проб регистрировали как при высокой, так и при низкой чувствительности.

Результаты измерений были обработаны с помощью программы Grapher и представлены на графиках, сгруппированных по рудным объектам (рис. 1–3).

Фактический материал и результаты исследований

Для изучения газовой-жидких включений методом декрепитации были взяты монофракции кварца размером 1–0,5 мм из жил и прожилков различных формационных и генетических типов руд (табл.).

Результаты исследований газово-жидких включений в кварце методом декрепитации

№	№ образца	Характеристика кварца	Месторождение	Температура (Т °С)
1	С-306/295,1	Белый полупрозрачный кварц из грейзенизированных гранитов с молибденитом, пиритом	Лехтинская структура, месторождение Лобаш (молибденовое)	T ₁ = 170° max T ₂ = 280–300° max T ₃ = 220–240°
2	С-306/280			T ₁ = 275° max T ₂ = 340°, 310° max T ₃ = 220° T ₄ = 430–470°
3	С-169/68,4	Сливной прозрачный кварц, ассоциирующий с пиритом, хлоритом	Месторождение Лобаш-1 (золото-полиметаллическое)	T ₁ = 130° max T ₂ = 190° max T ₃ = 220°
4	С-169/182	Белый полупрозрачный кварц, ассоциирующий с карбонатом, сульфидами полиметаллов		T ₁ = 120° max T ₂ = 265° T ₃ = 480°
5	7306/2	Квац полупрозрачный ассоциирует с эпидотом, молибденитом	Месторождение Лобаш (молибденовое)	T ₁ = 335–355° max T ₂ = 400°
6	7345/1	Белый полупрозрачный кварц с сульфидами	Участок Нигалмозеро	T ₁ = 130° max T ₂ = 190–200° max T ₃ = 220°
7	9213	Прозрачный сливной кварц с галенитом	Участок Хахлозеро	T ₁ = 200° max T ₂ = 280° max
8	5002/1	Прозрачный кварц, ассоциирующий с хлоритом, сфалеритом, молибденитом из зоны грейзенизаций толщ среднего состава	Ведлозерско-Сегозерский зеленокаменный пояс, рудопоявление Бергаул (молибденовое)	T ₁ = 240° max T ₂ = 130°
9	5010/9			T ₁ = 190–200° max T ₂ = 110° T ₃ = 330–360°
10	5003/1	Белый полупрозрачный кварц, ассоциирующий с карбонатом, молибденитом, сульфидами полиметаллов		T ₁ = 220° max T ₂ = 120° T ₃ = 320–380°
11	К-4/1	Прозрачный сливной с пирротинном, пиритом, секущий колчеданную залежь	Рудопоявление Бергаул (колчеданное)	T ₁ = 400–480° max T ₂ = 220°
12	П-2/8	Полупрозрачный серый кварц, ассоциирующий с хлоритом, пиритом	Ведлозерско-Сегозерский зеленокаменный пояс, месторождение Педролампи (золото-сульфидное)	T ₁ = 270° max T ₂ = 440° max T ₃ = 190°
13	П-2/10			T ₁ = 400° max T ₂ = 290° T ₃ = 110–160° T ₄ = 230–250°
14	П-1(4)	Белый полупрозрачный кварц, ассоциирующий с сульфидами, турмалином	Месторождение Педролампи (золото-сульфидно-кварцевое)	T ₁ = 240° max
15	П-1(5)			T ₁ = 340° max T ₂ = 420–470° T ₃ = 150°
16	П-15	Сливной полупрозрачный белый кварц с сульфидами	Рудопоявление Эльмус	T ₁ = 250° max
17	К-21	Полупрозрачный сливной кварц без видимых сульфидов в метабазах	Костомукшская структура, участок Таловейс	T ₁ = 130° max T ₂ = 220° (T ₃ = 330°) незнач. (T ₄ = 400–430°) незнач.
18	К-14/5			T ₁ = 370° max T ₂ = 190° T ₃ = 240–260°
19	Т-12	Белый полупрозрачный сливной кварц, секущий гранит-порфиры березитизированные	Месторождение Таловейс (золото-кварцевое)	
20	Б-2/1	Белый полупрозрачный кварц, секущий граниты	Большезерская структура, участок Большезерский	T ₁ = 110° max T ₂ = 160° max T ₃ = 190–240° T ₄ = 315° T ₅ = 420°

С месторождения Лобаш были отобраны и изучались образцы кварца из молибденит-кварцевых жил и золото-полиметаллических кварцевых и карбонат-кварцевых прожилков. Кварц представлен белой прозрачной и полупрозрачной разновидностями из молибденитовых жил, полупрозрачной и непрозрачной – из кварц-карбонатных золото-сульфидсодержащих прожилков. С участка Хахлозеро и Нигалмозеро изучались галенит-кварцевые и сульфидсодержащие жилы белого сливного прозрачного и полупрозрачно-

го кварца. С месторождения Бергаул были отобраны монофракции белого полупрозрачного кварца из прожилков, содержащих сульфиды полиметаллов и молибденит с молибденитового проявления, и сливного прозрачного кварца из жилы, секущей колчеданные руды и содержащей крупнокристаллический пирротин поздней генерации. С месторождения Педролампи изучался серый полупрозрачный кварц из зоны северо-западного рассланцевания и лиственитизации в базальтах, ассоциирующий с кубическим пиритом,

и белый полупрозрачный кварц, насыщенный включениями и ассоциирующий с турмалином из зон наложенной золото-сульфид-турмалин-кварцевой жильной пропитки. С участка Эльмус белый сливной полупрозрачный кварц был выделен из сульфидсодержащей кварцевой жилы, секущей березитизированные кислые вулканы. В Костомукшской структуре были отобраны монофракции кварца с месторождения Таловейс из золото-кварцевой жилы в гранит-порфирах и жил в базальтах, а также из сульфидно-кварцевых прожилков из карьера. Кварц этих жил белый, полупрозрачный, часто насыщенный включениями породы. Из Большезерской структуры исследовался всего лишь один образец белого полупрозрачного сливного кварца из жил, секущих граниты с неустановленной золотоносностью.

Все проанализированные монофракции кварца содержат разнообразные газожидкие включения – воду, углекислоту, кристаллики соли, наблюдаемые под микроскопом в тонких пластинках при большом увеличении. Анализ полученных декрептограмм (табл., рис. 1–3) показывает следующие результаты.

Месторождение Лобаш (рис. 1). Кварцевые жилы с молибденитового месторождения Лобаш (С-306/280; С-306/295.1) характеризуются максимальной интенсивностью вскрытия газожидких включений в интервале температур 270–340 °С (с максимумами 270–280, 300–340 °С). Отличаются эти графики появлением пика с $T = 120$ °С и незначительного пика с $T = 170$ °С на декрептограмме образца С-306/295.1, что может быть связано с присутствием более поздней

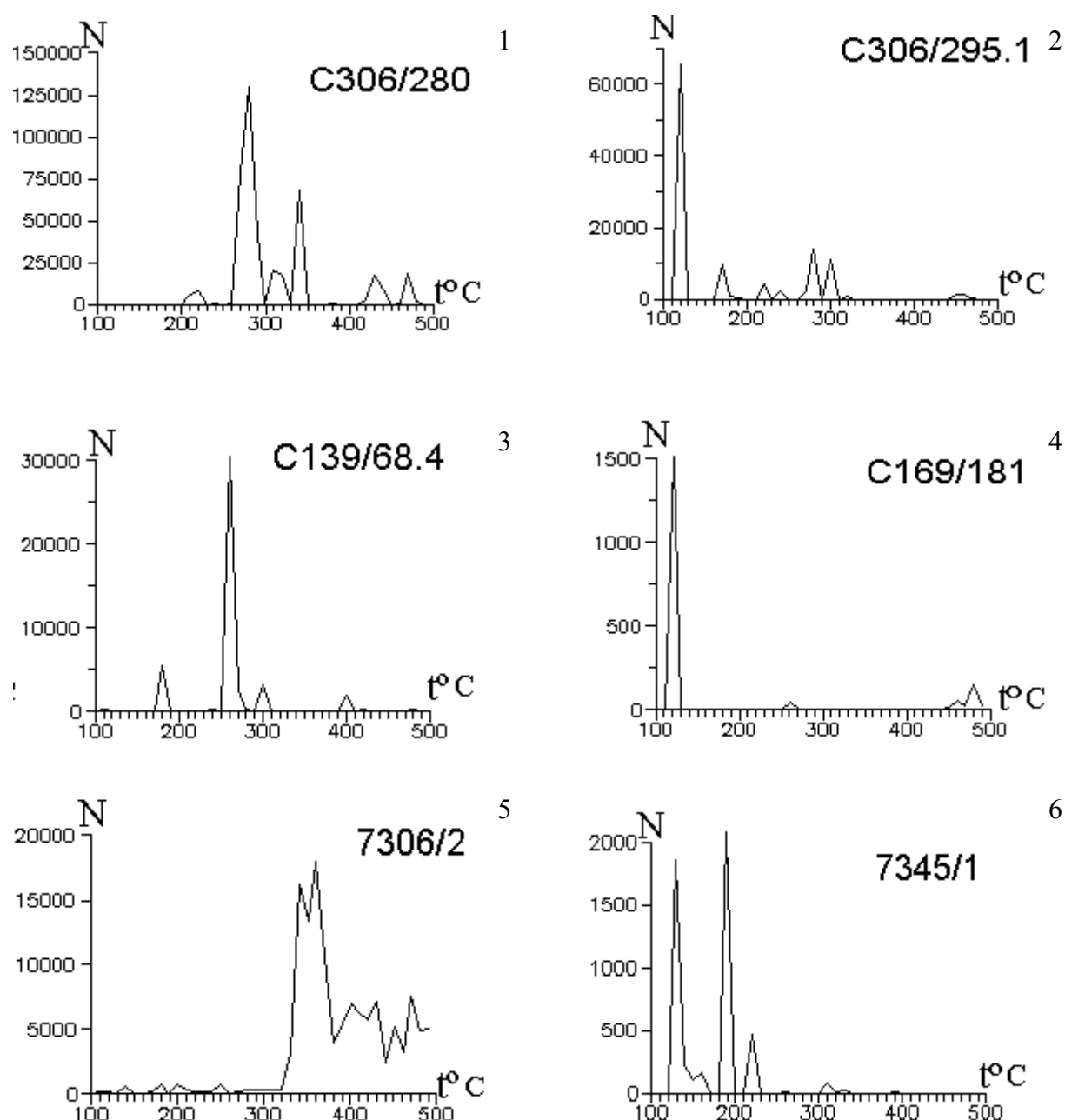


Рис. 1. Графики зависимости частоты звуковых импульсов от температуры для кварца участка Лобаш

низкотемпературной генерации кварца, сопровождаемого пиритом и содержащего позднюю генерацию включений.

Особую позицию занимает белый полупрозрачный кварц, ассоциирующий с эпидотом из молибденит-халькопирит-кварцевых прожилков (обр. 7306/2), секущих габбро на участке Лобаш. Для него характерны

повышенные температуры декрепитации, 330–350 °C и выше, и практически отсутствуют низкотемпературные значения.

Образцы из золото-сульфидного месторождения Лобаш-1, представленные разными генерациями кварца, ассоциирующего с разными сульфидами, соответственно, показали разные температуры вскрытия

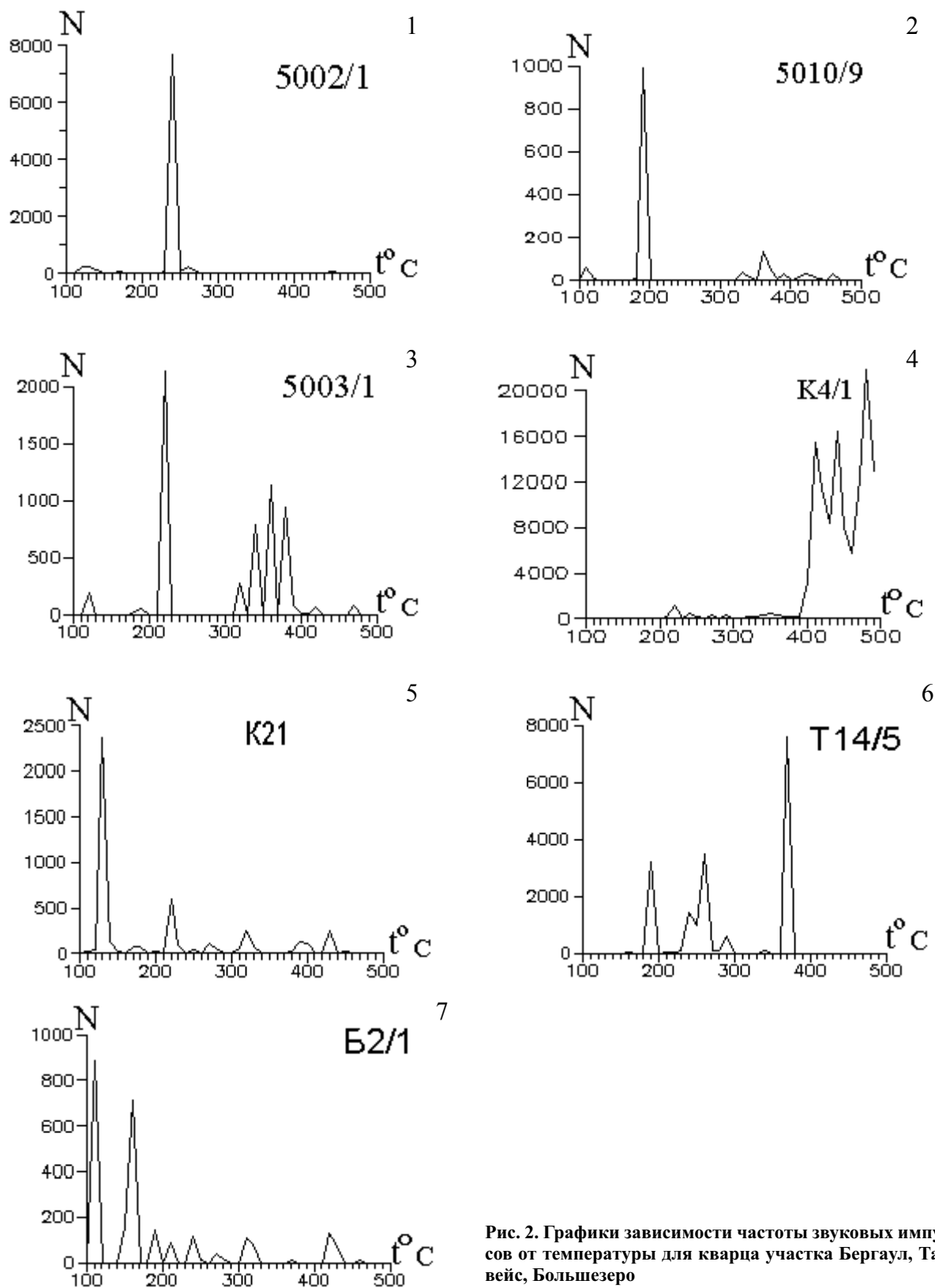


Рис. 2. Графики зависимости частоты звуковых импульсов от температуры для кварца участка Бергаул, Таловейс, Большезеро

газово-жидких включений. Жильный сливной полупрозрачный кварц (С-139/68,4) имеет максимальную температуру вскрытия одной группы включений при $T = 300^\circ\text{C}$. Кроме того, он содержит более низкотемпературные включения с $T = 180^\circ\text{C}$. Белый непрозрачный кварц, ассоциирующий с карбонатом и сульфидами полиметаллов, отличается исключительно низкими температурами, при которых вскрывается максимальное количество включений в нем – 120°C , что в целом свидетельствует о его низкотемпературном генезисе.

Участок Нигалмозеро (рис. 1). Кварц из прожилков (7345/1) из зоны прокварцевания с участка Нигалмозеро обладает двумя максимумами вскрытия включений при $T = 130$ и 190°C и менее интенсивным пиком при $T = 220^\circ\text{C}$. Он также, судя по температурам декрепитации, является низкотемпературным с двумя основными типами флюидных включений.

Участок Хахлозеро (рис. 1). Галенит-кварцевые жилы (9213), секущие протерозойские породы в районе оз. Хахлозеро, в отличие от кварца участка Нигалмозеро содержат флюидные включения с более

высокими температурами, при которых происходит их растрескивание: $T_1 = 200^\circ\text{C}$, $T_2 = 280^\circ\text{C}$.

Участок Большезеро (рис. 2). Кварцевые жилы (Б-2/1), секущие граниты на участке Большезеро, в отличие от жил в гранитах месторождения Лобаш имеют более низкие температуры вскрытия включений – 110°C , 160°C и небольшие пики в интервале $T = 190\text{--}240^\circ\text{C}$, свидетельствующие о низкотемпературном характере его образования.

Рудопоявление Бергаул (рис. 2). Кварц из полиметаллических – молибденитовых прожилков, отобранный в западной части рудопоявления, полупрозрачный и имеет белый цвет, ассоциирует с хлоритом, серицитом. Он характеризуется (по образцам 5002/1, 5003/1, 5010/9) максимальной температурой вскрытия газово-жидких включений в интервале $190\text{--}240^\circ\text{C}$ с незначительным пиком, приходящимся на интервал $110\text{--}130^\circ\text{C}$ и в образце 5003/1 на $T = 320\text{--}380^\circ\text{C}$. В образце кварца (К-4/1) из крупной сульфид-кварцевой жилы, секущей колчеданную часть месторождения, максимальная температура приходится на интервал

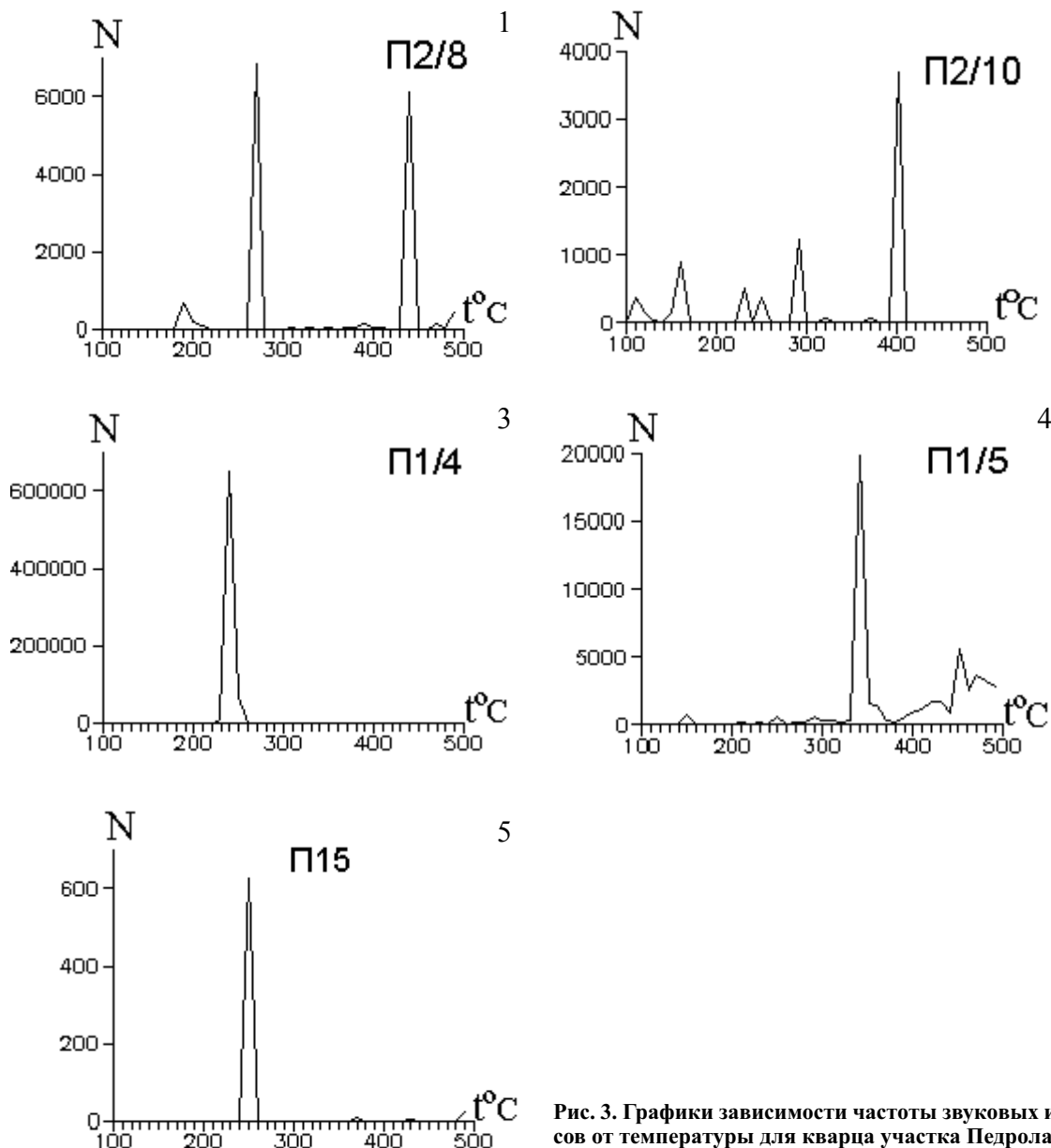


Рис. 3. Графики зависимости частоты звуковых импульсов от температуры для кварца участка Педролампи

400–480 °С. В контакте этой жилы происходит перекристаллизация и укрупнение сульфидов – образование крупнокристаллического галенита, сфалерита, пирротина, пирита.

Эльмусская структура. Месторождение Педролампи (рис. 3). Нагреванию подвергались два типа образцов кварца с месторождения Педролампи. Монофракции кварца из зон золото-пиритовой вкрапленной минерализации (образцы П-2/8, П-2/10) полупрозрачные серовато-белые. В них присутствует кварц двух генераций из гнезд и прожилков, содержащий газожидкие включения трех групп. Максимальное вскрытие включений, характеризующее максимальной частотой их взрывов, происходит при температурах 270–190 °С (№ 1) и 400–440 °С (№ 2). Менее интенсивно проявлены пики 160–190 и 230 °С (№ 3). Анализ образцов белого полупрозрачного кварца (образец П-1/3 (№ 3), П-1/5 (№ 4)) из золото-сульфид-кварцевых жил, секущих зону рассланцевания с кубическим пиритом, показал присутствие средне- и высокотемпературных включений, таких же, как в образцах П-2/8, П-2/10, с температурами максимального вскрытия 240, 350 и 450 °С.

Рудопоявление Эльмус (рис. 3). Белый прозрачный кварц, секущий кислые серицитизированные вулканиты и ассоциирующий с пиритом и пирротинном (П-15), содержит газожидкие включения преимущественно одной генерации с максимальной температурой декрепитации 250 °С.

Костомукшская структура. Месторождение Таловейс (рис. 2). С месторождения Таловейс был проанализирован полупрозрачный сливной кварц из жил, секущих metabазальты в ореоле гранит-порфиров штока Центрального (образцы К-21, Т-14/5). Максимальная температура вскрытия газовых включений в этих образцах, выявленная при их нагревании, равна 130–190 °С (1), 220–260 °С (2) и 370 °С (в образце Т-14/5), что отражает многостадийное развитие флюидной системы и захват кварцем высоко- и низкотемпературных включений.

Обсуждение и заключение

Использовать декрепитацию, как отмечается всеми исследователями, занимавшимися изучением газожидких включений, для оценки температур минералообразования без контроля результатов этих исследований методом гомогенизации напрямую нельзя. По кривым декрепитации можно судить лишь об относительных температурных интервалах газовыделения и о распределении включений по температурам взрываемости, приближающимся к температурам гомогенизации.

Обобщая изложенные результаты измерений, можно сказать, что практически для всех монофракций характерно присутствие разнотемпературных (низко-, средне- и реже высокотемпературных) включений.

Молибденит-кварцевые жилы месторождения Лобаш имеют максимальные температуры декрепитации в интервале 270–280 и 300–340 °С, на месторождении Бергаул – 190–240 °С и в меньшей степени встречаются с $T = 110–130$ и $320–380$ °С. Судя по температурам декрепитации, очевидно, что температура образования молибденит-кварцевых жил Лобаша выше, чем прожилкового оруденения рудопоявления Бергаул. Золото-полиметаллические кварцевые и карбонат-кварцевые прожилки месторождения Лобаш отличаются более низкими температурами образования. Об этом мы можем судить по более низкой температуре взрываемости газожидких включений. Она равна 300, 260, 180 °С для кварцевых жил и опускается ниже для кварц-карбонатных прожилков – до 120 °С. В турмалин-кварцевых жилах зон сдвиговых деформаций месторождения Педролампи газожидкие включения имеют $T_{дек.} 450$ °С с максимумами, приходящимися на 350 и 240 °С, тогда как кварц из пирит-кварцевых линзовидно-гнездовых обособлений характеризуется $T_{дек.}$ в интервале 400–440 и 270–290 °С и наиболее низкотемпературными, но менее интенсивными в интервале 200–230 и 160 °С. Это свидетельствует о многоступенчатой эволюции флюида и захвате во включениях растворов, имевших разные температуры. Жилы с рудопоявления Эльмус являются более низкотемпературными и отличаются $T_{дек.} 250$ °С. На месторождении Таловейс в кварцевых жилах из зон ССВ деформаций, секущих гранит-порфиры и вмещающие базальты, установлены три типа включений с $T_{дек.} 370$ °С (незначительное количество) и 220–260, 190–130 °С (максимальное газовыделение). Галенит-кварцевые жилы из зоны деформаций в ятулийских базальтах участка Хохлозеро содержат два типа среднетемпературных включений с $T_{дек.} 280$ и 200 °С. Следует отметить, что для золото-кварцевых жильных месторождений из зон сдвиговых деформаций характерен широкий диапазон температур вскрытия включений (или газовыделения), близких к температурам гомогенизации.

Таким образом, полученные результаты позволяют нам сделать предварительное заключение о насыщенности газожидкими флюидами жильного кварца и о температурных интервалах их вскрытия при нагревании. Максимумы взрывов включений (растрескивания) происходят при температурах, когда прочность давления в них превышает прочность их стенок. Эти условия близки к температуре гомогенизации (т. е. к минимальным температурам образования без учета поправок на давление), хотя ей четко не соответствуют. Они же являются самостоятельным типоморфным признаком минерала. В целом для месторождения Лобаш-1 характерен широкий температурный интервал газовыделения из включений – от 300 до 120 °С, для месторождения Педролампи – от 450 до 240 и 160 °С, для месторождения Таловейс – от 370 до 260–130 °С.

ЛИТЕРАТУРА

Белашев Б. З., Скамницкая Л. С., Лебедева Г. А., Озерова Г. П. Нетрадиционные методы очистки кварца от газожидких включений // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 3. Петрозаводск, 2001. С. 131–134.

Паиков Ю. Н. Вопросы применения метода декрепитации // Использование методов термобарогеохимии при

поисках и изучении рудных месторождений. М., 1982. С. 73–76.

Хотев А. Д. Методы и аппаратура для декрепитационных исследований // Использование методов термобарогеохимии при поисках и изучении рудных месторождений. М., 1982. С. 76–85.