

А. М. Юминов, В. А. Симонов

**ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
ОБРАЗОВАНИЯ ПИРОФИЛЛИТСОДЕРЖАЩИХ ЖИЛ
БЕРЕЗОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (УРАЛ)**

A. M. Yuminov, V. A. Simonov

**THERMOBAROGEOCHEMISTRY OF PYROPHYLLITE-CONTAINING
VEINS FORMATION OF BEREZOVSK ORE FIELD (URALS)**

In result of thermobarogeochemical researches of the Kremlevsk mine viens (Berezovsk ore field, Urals) is established, that pyrophyllite mineralisation is connected to an initial stage of vien formation. Formation of pyrophyllite-turmaline-quartz vien occured in CaCl_2 solutions enriched in carbonic acid, at temperature 300—330 °C and pressure 0.5—0.7 kbar. Pyrophyllite-turmaline-quartz-carbonate viens were formed in multicomponent (Ca, Mg, Na) chloride solutions and at lower temperatures (240—270 °C). Different thermodynamic conditions of vien formation predetermine distinctions of chemical composition, structure features and physical properties of different types of pyrophyllite from Berezovsk. A correlation of these parameters with thermodynamic conditions of gold viens formation allow to consider, that the formation of pyrophyllite mineralisation occured in an initial stage of ore process.

Введение

Березовское золоторудное месторождение расположено в 13 км северо-восточнее г. Екатеринбурга. Оно находится на восточном склоне Урала, в зоне Восточно-Уральского поднятия, в пределах Сысертско-Ильменогорского антиклинория. С месторождением генетически связаны рудные участки: Пышминский, Становлянский, Крутихинский, Шульгинский и Кремлевский. Отличительной особенностью последнего является наличие на нем пиррофиллитовой минерализации в безрудных кварцевых жилах. К настоящему времени существуют два различных взгляда на время образования пиррофиллитсодержащих жил: первая [11, 12, 16] предполагает их формирование в начальную стадию золоторудного процесса, по второй [4] — пиррофиллитовая минерализация связана с заключительной и, в основном, пострудной стадиями образования.

Ограниченность распространения пирофиллита, плохая обнаженность района и отсутствие подробной геологической документации старых горных выработок (рудник был отработан старателями еще в конце прошлого века), не позволяют решить данный вопрос с помощью традиционного геолого-минералогического изучения. Это привело к необходимости применения различных косвенных методов, одним из которых и является термобарогеохимические исследования включений минералообразующих сред в минералах. Комплекс термобарогеохимических методов, включающий определение температуры гомогенизации флюидных включений, состава и концентрации гидротермальных растворов, а также установление интервалов температуры и давления в момент формирования жил, позволяет получить объективную информацию об основных физико-химических условиях кристаллизации минералов, и с его помощью имеется возможность уточнить пространственно-временные закономерности формирования месторождения.

Флюидные включения широко используются для оценки физико-химических условий образования минералов [7, 8, 17]. Первые исследования флюидных включений в кварце Березовского месторождения были проведены Л. И. Колтуном в 1957 г. Им определены значения температуры и давления образования золота: 139—193 °С и 600 атм. Большая работа по изучению состава газовой-жидких включений в минералах Березовского рудного поля проводилась Г. Н. Вертушковым, Ю. А. Соколовым и В. А. Поповым (1970). Ими были установлены различия в соотношении объемов воды и углекислоты в рудном и безрудном кварце (содержание CO₂ в рудном в 2.7 раза больше). Температура гомогенизации первичных газовой-жидких включений в минералах из рудных жил по определению В. А. Попова составляла 290 °С и ниже. К сожалению, в подавляющем большинстве опубликованных работ по исследованию флюидных включений в минералах Березовского золоторудного месторождения приводятся обобщенные данные, что не позволяет оценить конкретные обстановки минералообразования, так как рассматриваются в целом включения всех генетических типов и генераций, различающиеся по условиям захвата и составу флюида.

Авторы выражают признательность А. С. Баталину и В. А. Попову за предоставленные материалы и оказанную помощь при подготовке и обсуждении статьи.

Геологическое строение и пиррофиллитовая минерализация Кремлевского рудника

Березовское месторождение размещено в пределах вулканогенно-осадочных и терригенных пород силурийского и девонского возраста, содержащих многочисленные тела серпентинизированных ультрабазитов (рис. 1). На южном фланге месторождения выходят адамеллиты Шарташского плутона. Рудные тела представлены субмеридиональными дайками гранит-порфиоров, содержащими густую сеть золотоносных кварцевых жил. Часть жил выходит из даек во вмещающие лиственитизированные породы. Жилы имеют четкие асимметричные контакты, угловатую форму ксенолитов, зоны геометрического отбора индивидов кварца в приконтактных частях и остаточные друзовые полости, что говорит об образовании их в трещинах отрыва. Рост жил происходил от зальбандов к центру.

Кремлевский рудник расположен в северо-восточной части Березовского рудного поля, является его составной частью и характеризуется близкими чертами геологического строения, но имеет небольшие отличия. На участке развит малосульфидный золото-кварцевый тип оруденения. Золотое оруденение контролируется системой субмеридиональных даек гранитоидов и кварцевыми жилами субширотного простирания, сопровождающимися лиственитами и сгруппированными в свиты (рис. 2). По элементам залегания различают две системы кварцевых жил: крутопадающие золотоносные ($75\text{--}85^\circ$) и безрудные пиррофиллитосодержащие, с углом падения $45\text{--}55^\circ$. Среди золотоносных жил преобладают малосульфидные карбонат-кварцевые и турмалин-карбонат-кварцевые жилы.

Пиррофиллитовая минерализация, присутствующая в безрудных жилах, приурочена к массиву габброидов раннедевонского возраста, разделяющему тектонические пластины, сложенные серпентинитами и вулканогенно-осадочными отложениями.

Среди пиррофиллитосодержащих жил по минеральному составу, условиям и времени формирования выделены три типа: пиррофиллит-турмалин-кварцевые, пиррофиллит-турмалин-карбонат-кварцевые и карбонат-пиррофиллитовые [21]. Пиррофиллит каждого типа отличается по морфологии, цвету, химическому составу, присутствию аксессуарных минералов и другим признакам.

Пиррофиллит-турмалин-кварцевые жилы имеют относительно большую мощность (5—10 см, до 1 м в раздувах) и зональное строение, выраженное в чередовании кварцевых, турмалиновых и пиррофиллитовых полос различной мощности. Кварц

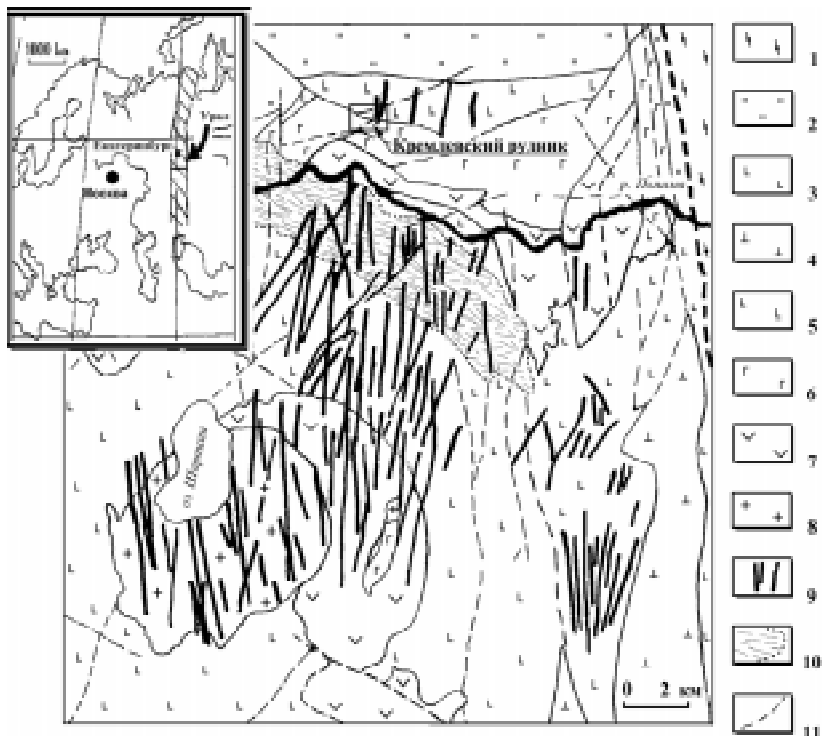


Рис. 1. Схема геологического строения Берзовского рудного поля (по В. Н. Сазонову, Г. М. Левитану и др.)

1 — допалеозойский Мурзинский комплекс: гнейсы, кристаллические и графитистые сланцы с прослоями мраморизованных известняков; 2 — кремнистые и глинисто-кремнистые породы; 3 — океанические базальты, спилиты и их туфы; 4 — андезито-базальты с прослоями дацитовых кварцитов; 5 — габбро-диабазы; 6 — офиолитовые габбро; 7 — серпентинизированные и оталькованные гарцбургиты; 8 — адамеллиты; 9 — дайки гранитоидов; 10 — зона развития золотоносных кварцевых жил Берзовского месторождения; 11 — разломы

светло-серого и белого цвета, на периферии жил мелко- и среднезернистый, в центральной зоне крупноблочный. Хромовый турмалин (шерл-дравитового ряда) представлен в виде сростков игольчатых зеленых кристаллов или образует серовато-зеленые мелкозернистые массы в приконтактовых частях жилы. Розетковидные или сферолитовые агрегаты пирофиллита сгруппированы у зальбандов жилы, реже — в друзовых полостях. Размер сферолитов колеблется от первых мм до 2—4 см. Цвет — зеленый с различными оттенками. Сферолиты сложены отдельными

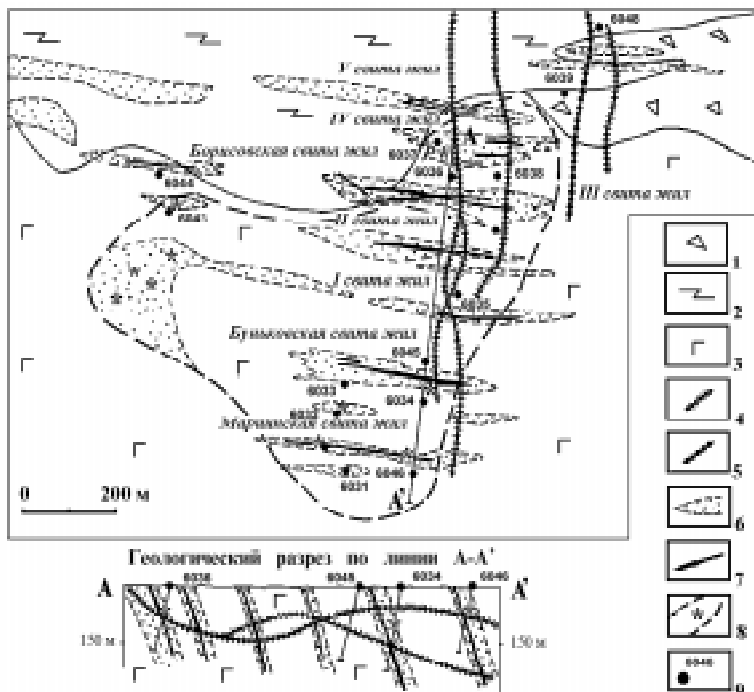


Рис. 2. Схема геологического строения района Кремлевского рудника (по Пелешко О. П., Туманов В. А и др. с дополнениями).

1 — вулканомиктовые отложения смешанного состава (S_1); 2 — диабазы и пироксен-плагноклазовые андезиты-базальты (D_{2-3}); 3 — габбро (νD_1); 4—5 — дайки (PZ₃₇): 4 — плагιοгранит-порфиров, 5 — диоритовых порфиров; 6 — зоны развития лиственитов и березитов; 7 — золотоносные зоны; 8 — область распространения пиррофиллитовой минерализации; 9 — местоположение и номера скважин

пластинчато-клиновидными агрегатами, вытянутыми по радиусу, и, в свою очередь, делящимися на более дробные полосчато-клиновидные зоны. Изучение минерала с помощью микрозонда показало присутствие в нем окиси хрома в количестве первых десятых процента. Большинство сферолитов наряду с пиррофиллитом содержат хлорит, определенный как донбассит [13] и образованный на последующих этапах гидротермального процесса в результате изоморфного замещения пиррофиллита [6]. Акцессорная минерализация приурочена к контактам различно окрашенных зон, швам, микротрещинам и, в основном, сконцентрирована по периферии сферолита. Среди акцессориев обнаружены: аргентопирит, пирит, халькопирит, гейкелит, ильменит, вольфрамит.

Пирофиллит-турмалин-кварц-карбонатные и близкие к ним *хлорит-карбонат-пирофиллитовые* жилы встречаются чаще, их мощность не превышает 1 см. Жилы имеют зональное строение: по периферии отмечаются зоны карбонатного вещества (в основном, анкерита в пирофиллит-турмалин-кварц-карбонатных и доломита, анкерита и кальцита — в хлорит-карбонат-пирофиллитовых), затем следуют полосы переменной мощности, выполненные светло-серым полупрозрачным кварцем и зеленовато-серым турмалином (в последнем типе жил их количество минимально). Пирофиллит образует 1—1.5 мм досчатые и серповидные агрегаты серебристо-белого цвета. В большинстве рентгенограмм фиксируются линии парагонита. Микронзондовые анализы подтверждают в составе чешуйчатых агрегатов примесь натрия. Чешуйки разориентированы и выполняют промежутки между кварцевыми зернами. Присутствие хрома в пирофиллите карбонатсодержащих жил не обнаружено. Акцессорная минерализация прожилков не отличается большим разнообразием. Здесь зафиксированы зерна магнетоплюмбита, аргентопирита и ферберита.

Методы и аппаратура экспериментальных исследований

Исследования флюидных включений проводились в Объединенном институте геологии, геофизики и минералогии СО РАН (Новосибирск). В ходе криометрических и термометрических экспериментов использовались микрокриокамеры и термокамеры конструкции В. А. Симонова [18].

При изучении флюидных включений определялись следующие параметры: температура эвтектики растворов во включениях, температура плавления последней фазы и температура гомогенизации. При наблюдении включений с высокими содержаниями растворенных газов, фиксирующихся по наличию жидкой фазы в газовом пузырьке при комнатной температуре, дополнительно определялись те же параметры и для жидкости, находящейся в пузырьке.

Скорость замораживания регулировалась так, чтобы избежать быстрого застывания. Размораживание происходило медленно, температура эвтектики фиксировалась по появлению первых порций раствора. Диагностика состава включений происходила по близости этой температуры к температуре эвтектической кристаллизации определенного солевого раствора бинарной системы соль–вода [3]. По температуре плавления последнего кри-

сталлика во включениях определялась суммарная концентрация солей на диаграммах растворимости солей в растворах [3, 17].

Температура гомогенизации включений (минимальная температура минералообразования) определялась по температуре исчезновения газового пузырька при нагревании препарата. Диагностика жидкой углекислоты в газовом пузырьке проводилась методом глубокого замораживания включений и последующего оттаивания, близкого к температуре тройной точки CO_2 . Плотность CO_2 оценивалась по температуре гомогенизации на P–V–T диаграмме, построенной по справочным данным [20]. Расчеты по определению давления велись при помощи P–V–T диаграммы CO_2 для высоких температур и давлений [19] по уже вычисленным температурам захвата включений и плотностям углекислоты в них.

В самом березовском пиррофиллите не удалось обнаружить крупных флюидных включений, подходящих для термобарогеохимических исследований. Для анализов были выбраны флюидные включения в кварце, который образует индукционные поверхности с пиррофиллитом, что говорит об одновременном образовании этих минералов в близкой термодинамической обстановке.

После предварительного просмотра под микроскопом по внешнему виду для анализов выбирались первичные и мнимовторичные включения, которые характеризуются более крупными размерами (10—30 мкм) и правильными объемными формами, часто имеющими элементы огранки. Для получения достоверных результатов были набраны статистические данные, включающие более 50 замеров по криометрии и свыше 100 определений температуры гомогенизации флюидных включений для каждого типа жил.

Исследованные образцы

Образцы золото-кварцевых и пиррофиллитсодержащих жил были взяты из керна разведочных скважин 6036 и 6046, пробуренных в южной части Кремлевского рудника.

Образец 6036/57.4 (пиррофиллит-турмалин-кварцевая жила). Мощность жилы 5 см, контакты четкие, неровные, с частыми заплывами. Пиррофиллит представлен двумя генерациями: пиррофиллит-I совместно с хлоритом локализован в виде отдельных 0.7—1.5 см сине-зеленых сферолитов; более поздний пиррофиллит-II образует одиночные полупрозрачные чешуйки, расположенные в открытых трещинах. В пиррофиллите флюидные включения редки. Они имеют удлинненно-вытянутую форму со

сглаженными краями, как правило, ориентированными длинной осью вдоль агрегатов. Величина включений не превышает 5 мкм. Турмалин представлен редкими одиночными игольчатыми 0.3—0.5 мм кристаллами. Кварц светло-серого и белого цвета сливного облика, на периферии жил — мелко- и среднезернистый со следами индукционных поверхностей с пиррофиллитом, в центральной зоне — крупноблочный. Количество включений в кварце непостоянное, и большинство из них сосредоточены на периферийных участках жилы. По расположению газово-жидких включений четко выделяются три группы:

1. Расположенные хаотично, без видимой приуроченности к залеченным трещинам (первичные).
2. Находящиеся в двух пересекающихся субпараллельных плоскостях, в одном кварцевом зерне (первичные или мнимовторичные).
3. Приуроченные к залеченным трещинам, рассекающим несколько зерен перекристаллизованного кварца (вторичные).

Первичные и мнимовторичные включения сгруппированы сериями по зонам роста. Они имеют выдержанные каплевидные или изометричные формы, с элементами огранки. В газовом пузырьке некоторых включений отмечено присутствие жидкой фазы углекислоты. Измеренная температура оттаивания вымороженной твердой углекислоты (–56.3—57.6 °C) незначительно отличается от эталонной (–56.6 °C), что говорит о малом содержании других газов-примесей. Размер включений – 15—20 мкм, в единичных случаях достигает 30 мкм.

В солевой системе преобладают растворы хлорида кальция (измеренные температуры эвтектик –45.5—44.7 °C), значительной солёности (концентрация солей 18.9—21.6 мас. %) с высокими концентрациями углекислоты. Температура гомогенизации 300—330 °C, давление 1.3—1.5 кбар.

Наибольшее количество вторичных включений фиксируется в минералах центральной части жилы. Для них характерна неправильная форма, осложненная выступами. Вторичные включения обычно двухфазовые (газ + солевой раствор) с небольшим газовым пузырьком. Преобладающие размеры 3—10 мкм. В растворах части вторичных включениях присутствуют хлориды магния и, возможно, железа, фиксирующиеся по повышению температуры эвтектики вплоть до –41.4—37.1 °C.

Образец 6036/54.0 (пиррофиллит-турмалин-кварц-карбонатная жила). Мощность жилы 0.5—1.0 см. Границы с

вмещающими породами неровные, часто присутствуют заливы и мелкие апофизы карбонатного вещества. Жила имеет зональное строение. Периферийные зоны выполнены желтовато-коричневыми разномасштабными агрегатами анкерита, образующими в друзовых полостях 0.75—1.2 мм кристаллы с очень плохой огранкой. Центральная часть жилы сложена молочно-белым и полупрозрачным кварцем. При приближении к ядру отмечается увеличение крупности зерен кварца. В кварцевой массе присутствуют 2—5 мм пятна зеленовато-серого цвета, сложенные тонкими сростками разноориентированных кварцевых и турмалиновых агрегатов. В полостях между кварцевыми зернами, а также в трещинах находятся чешуйчатые, реже клиновидные агрегаты полупрозрачного пирофиллита, близкие по морфологическим и химическим особенностям к пирофиллиту-II из пирофиллит-турмалин-кварцевых жил.

Флюидные включения в кварце расположены неравномерно: на периферии жилы в мелкозернистом кварце, а также в местах контакта кварца с турмалином преобладают, как правило, 5—10 мкм плоские формы с округлыми и выровненными краями. В крупнозернистом кварце включения имеют в большей степени удлиненные формы, длинная ось которых ориентирована в направлении заполнения жилы. В центральной части жилы количество флюидных включений возрастает примерно в 3—5 раз по сравнению с периферией из-за увеличения числа вторичных включений. Вблизи с пирофиллитом в кварце отмечается присутствие крупных 15—20 мкм включений с очень большим газовым пузырьком, занимающим 30—40 % от объема включения.

Во время исследований в криокамере установлено, что первичные включения замерзают при температуре около $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Первые порции жидкости (эвтектика) появляются в температурном интервале $-55.6\text{—}52.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует солевой системе $\text{CaCl}_2\text{—NaCl—H}_2\text{O}$ и $\text{CaCl}_2\text{—MgCl}_2\text{—H}_2\text{O}$ [3]. Очевидно, концентрация углекислоты в данном флюиде была меньшей по сравнению с жилообразующими растворами пирофиллит-турмалин-кварцевых жил, о чем говорит значительное сокращение количества включений, имеющих жидкую CO_2 в газовом пузырьке. Плавление последних кристаллических фаз наблюдается при температуре $26.3\text{—}20.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует концентрации солей в растворе 22.4—25.1 мас. %. Эксперименты в микротермокамере определили интервал температуры гомогенизации в $240\text{—}270\text{ }^{\circ}\text{C}$. Рассчитанное давление составляет 1.2—1.5 кбар.

Вторичные включения, расположенные в залеченных трещинах, имеют небольшие размеры и содержат маленький газовый пузырек, находящийся в светлой прозрачной жидкости. Физико-химические параметры растворов вторичных включений практически совпадают с данными по первичным включениям ($T_{\text{эвт}} = 52.7\text{—}58.7\text{ }^{\circ}\text{C}$; соленость 22.5—25.2 мас. %).

Образец 6046/42.7 (золотосодержащая жила). Мощность жилы более 5 см. Кварц в основном массивный, отмечаются небольшие участки стекловатой текстуры, местами полупрозрачен, средний размер индивидов 0.5—1.0 мм, цвет серовато-серый до белого. На периферии жилы присутствуют 0.5—0.7 мм линзовидные обособления желтовато-коричневого анкерита. В отдельных тонких трещинах отмечено присутствие темно-зеленого хлорита. Жила содержит кубические кристаллы пирита размером 3—5 мм.

Флюидные включения в кварце расположены неравномерно. Среди них выделены три вида:

1. Крупные (20—30 мкм), угловатые субквадратные таблитчатые включения, осложненные выступами и амебовидными отростками. Они отмечаются по всей площади жилы и сосредоточены отдельными группами. Включения двухфазовые (газ + солевой раствор).

2. Размером 5—10 мкм, узкие, вытянутые по одной оси, часто ориентированные включения, сгруппированные в своеобразные полосы и образованные, вероятнее всего, по залеченным трещинкам. По составу — двухфазовые с небольшим газовым пузырьком в светлой прозрачной жидкости.

3. Округлые, чаще овальные или веретенообразные включения, величиной 3—5 мкм, как правило, приуроченные к трещинкам, в части из них отсутствует газовый пузырек.

В результате проведенных экспериментов параметры формирования кварца из золотосодержащих жил Кремлевского рудника, по данным изучения первичных флюидных включений, следующие: в растворе преобладает хлорид кальция ($T_{\text{эвт}} = 42.2\text{—}49.7\text{ }^{\circ}\text{C}$), концентрация солей 20.0—22.2 мас. % ($T_{\text{плавления последнего кристаллика}} = 19.0\text{—}22.8\text{ }^{\circ}\text{C}$), температура гомогенизации 190—240 $^{\circ}\text{C}$. Вторичные включения содержат те же солевые растворы, но несколько меньшей концентрации — 18.3—21.6 мас. % ($T_{\text{плавления последнего кристаллика}} = 15.4\text{—}21.7\text{ }^{\circ}\text{C}$).

В газовом пузырьке флюидных включений золотосодержащих жил жидкая фаза углекислоты не обнаружена.

Обсуждение результатов

Результаты термометрических и криометрических исследований первичных и мнимовторичных флюидных включений для различных типов жил Кремлевского рудника сведены в таблицу. Там же представлены экспериментальные данные по флюидным включениям в жильном кварце Березовского золоторудного месторождения, взятые из работ других авторов (табл. 1).

Как видно из экспериментальных данных, условия рудоотложения в пределах Березовского рудного поля значительно отличаются в его разных частях. На снижение температуры образования рудного кварца Березовского месторождения в направлении с юга на север указывалось Ю. А. Бакулиным [1]. Формирование золоторудных кварцевых жил в центре Березовского месторождения происходило под воздействием магматогенных и/или метаморфогенных NaCl-MgCl_2 растворов, обогащенных углекислотой и содержащих метан, при температуре 270—300 °С и давлении около 1.5 кбар [2], тогда как золотоносные жилы, развитые на северном фланге рудного поля, были образованы при значительно меньших температурах и давлении ($T_{\text{гом}} = 190\text{—}240$ °С, $P = 0.5\text{—}0.7$ кбар) из растворов с преобладанием хлоридно-кальциевых солей. Полученные результаты близки к термодинамическим параметрам отложения золота для северной части Березовского месторождения ($T = 160\text{—}200$ °С, $P = 0.2\text{—}0.4$ кбар) [14]. Однако принципиальные различия в солевом составе жилообразующих флюидов Березовского месторождения и Кремлевского рудника, позволяют предположить, что источники гидротермальных растворов данных объектов были разными. Эти наблюдения могут свидетельствовать о различном генезисе золотого оруденения. Скорее всего, происхождение флюидов на флангах рудного поля в основном связано не с магматическими процессами, как в центральной части рудного поля, а, в большей мере, зависит от метаморфических преобразований вмещающих пород.

Относительно однородный солевой состав флюидов в жильном кварце Кремлевского рудника и практически близкие значения их солёности могут быть обусловлены общим источником происхождения. Но дискретное распределение температур фазовых превращений и незначительное изменение концентрации солей растворов, предполагает длительный и многоэтапный процесс формирования жил.

Таблица 1

Термобарогеохимические параметры образования жил Березовского рудного поля

Тип жил	Температура, °С					Давление, кбар	Химический состав (основные компоненты)	Концентрация солей (мас. %)
	Гомогенизации	Эвтектики	Плавления последнего кристаллика	Плавления CO ₂	Гомогенизации CO ₂			
Кремлевский рудник								
Pf-tu-q	330—300	-45.5 — -44.7	-21.6 — -17.2	-56.3 — -57.6	22.8—30.2	1.3—1.5	CaCl ₂ -H ₂ O	18.9—21.6
Pf-tu-q-carb	270—240	-55.6 — -52.3	-26.3 — -20.8	-56.2	16.4—27.8	1.2—1.5	CaCl ₂ - MgCl ₂ -H ₂ O; CaCl ₂ - NaCl-H ₂ O	22.4—25.1
Au-содержащие	240—190	-42.2 — -49.7	-19.0 — -22.8				CaCl ₂ -H ₂ O	20.0—22.2
Березовское месторождение (по И. А. Бакшееву и др.)								
Шее-лит-q	360—290	-37 — -28				2.5	NaCl-MgCl ₂	9.2—15.3
Au-рудные	300—270					1.5	NaCl-MgCl ₂	8.4—17.0

Примечание: буквами в таблице обозначены жилы: Pf-tu-q — пиррофиллит-турмалин-кварцевые, Pf-tu-q- arb — пиррофиллит-турмалин-кварц-карбонатные.

Анализ графика зависимости температуры гомогенизации от солености флюида (рис. 3) позволяет выделить несколько групп жильного кварца. Кварц из пиррофиллит-турмалин-кварцевых жил имеет более высокие температуры гомогенизации флюидных включений, чем кварц из золотосодержащих жил, при этом соленость флюидов не меняется. Несколько большими концентрациями солей отличаются растворы, генерирующие пиррофиллит-турмалин-кварц-карбонатные жилы. Это говорит о существовании трех разных флюидов, ответственных за формирование жил Кремлевского рудника.

Гистограммы температур гомогенизации флюидных включений в жильном кварце Кремлевского рудника показывают, что жилы многократно испытывали перекристаллизацию, вызванную внедрением последующих более холодных гидротерм, что подтверждается близкими значениями интенсивности пиков в определенных температурных интервалах (рис. 4).

По интенсивности пиков можно выделить 7 стадий жилообразования:

300—330 °С	—	образование пиррофиллит-турмалин-кварцевых жил и пиррофиллитовых сферолитов.
270—290 °С	—	замещение пиррофиллита донбасситом и образование чешуйчатого пиррофиллита.
220—270 °С	—	образование пиррофиллит-турмалин-кварц-карбонатных жил и чешуйчатых агрегатов пиррофиллита
200—240 °С	—	образование золото-кварцевых жил
150—210 °С	}	— воздействие вторичных низкотемпературных растворов
110—160 °С		
70—120 °С		

Термометрические данные по флюидным включениям указывают на образование пиррофиллитсодержащих жил Кремлевского участка в дорудную стадию, причем вначале был сформирован зеленый хромсодержащий пиррофиллит. Чешуйчатые бесцветные агрегаты пиррофиллита, имеющие незначительную примесь парагонита, образовывались при более низких температурах, на фоне увеличения рН растворов вследствие дегазации углекислоты. Это согласуется с экспериментальными данными по синтезу пиррофиллита в различных термодинамических условиях, которые определили его устойчивость в температурном интерва-

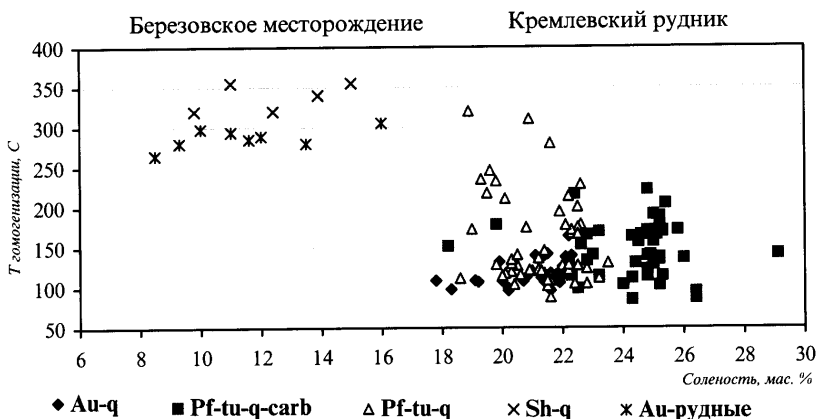


Рис. 3. График зависимости температуры гомогенизации флюидных включений в жильном кварце Березовского месторождения от солености растворов.

ле 300—575 °С [9, 22]. Уменьшение температуры синтеза ниже этого уровня при увеличении щелочности среды (до 3.5 рН) приводит к образованию серицита и парагонита [15, 23].

Пирофиллитовая минерализация, подобная описанной в жилах Березовского месторождения, известна на рудных полях в других регионах мира. Мономинеральные прожилки встречаются на колчеданных (Кабанское, Красноуральское) и золоторудных месторождениях (Витватерсранд). Пирофиллит в ассоциации с другими минералами отмечен в пирофиллит-кварцевых (Кварцито-Шор, Ибитиара), пирофиллит-кианит-кварцевых (Грубепендиты, Кумус-Тюбе, Вастана, Варmland, Гревс), диаспор-пирофиллитовых (Уттар-Прадеш, Мадхья-Прадеш), андалузит-топаз-кварц-пирофиллитовых (Алпыс, Оранж, Кровдерс), флюорит-пирофиллитовых (Мынаральский рудный узел) и других типах жил. Агрегаты пирофиллита из разных точек жильной минерализации близки по морфологии, но отличаются по цвету, размеру и составу механических и структурных примесей, что связывается с различными (и, в первую очередь, термодинамическими) условиями образования пирофиллита.

Основные выводы

В результате изучения соотношений термодинамических параметров образования золоторудных и пирофиллитсодержащих жил установлено, что пирофиллитовая минерализация происходила в начальную стадию рудного процесса.

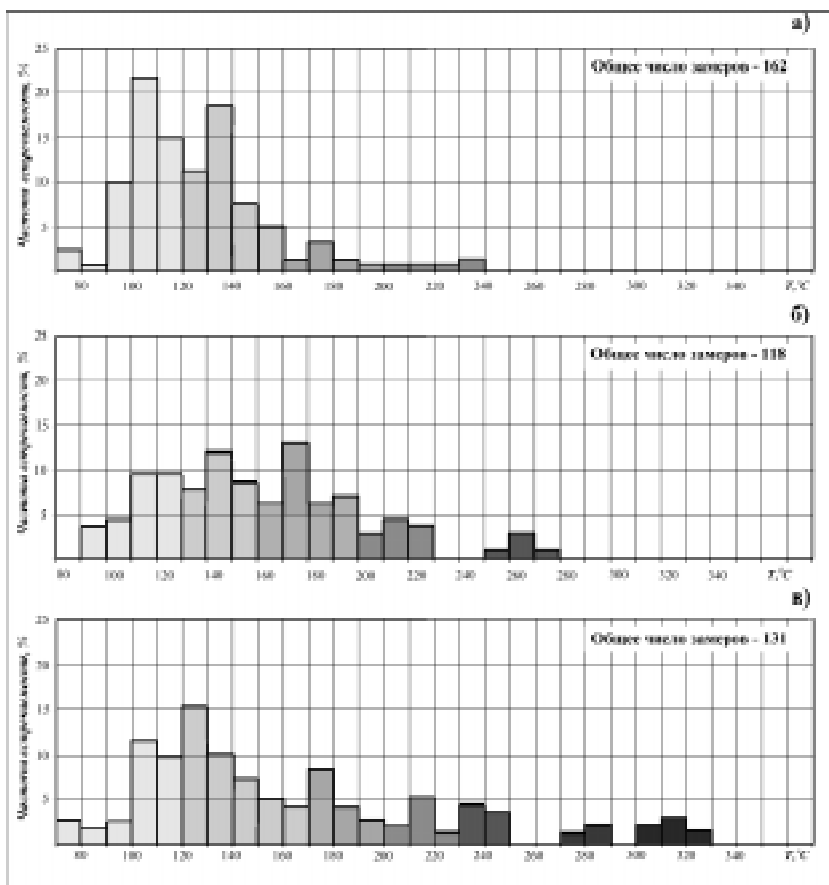


Рис. 4. Гистограммы температур гомогенизации флюидных включений в жильном кварце Кремлевского рудника.

а — золотосодержащие жилы

б — пиррофиллит-турмалин-кварц-карбонатные жилы

в — пиррофиллит-турмалин-кварцевые жилы

Пиррофиллит-турмалин-кварцевые жилы Березовского месторождения формировались в хлоридно-кальциевых растворах, обогащенных углекислотой, при температуре 300—330 °C и давлении 1.3—1.5 кбар.

Образование пиррофиллит-турмалин-кварц-карбонатных жил происходило в температурном интервале 240—270 °C при давлении 1.2—1.5 кбар из многокомпонентных хлоридных раст-

воров. Это говорит о том, что бесхромовый чешуйчатый пиррофиллит по отношению к хромсодержащему пиррофиллиту из сферолитов является вторичным.

Вероятно, существовало, как минимум, два источника гидротермальных растворов, ответственных за золотое оруденение Березовского рудного поля.

Литература

1. *Бакулин Ю. А.* Температурные условия образования кварцев Березовского месторождения // Доклады IX науч.-техн. конф. инженер. ф-та Универ. Дружбы народов им. П. Лумумбы. М., 1974. С. 198—199.
2. *Бакиев И. А., Прокофьев В. Ю., Устинов В. И.* Условия формирования жильного кварца Березовского золоторудного поля, Средний Урал, по данным изучения флюидных включений и изотопным данным // Материалы Уральской летней минералогической школы-98. Екатеринбург: УГГГА, 1998. С. 41—49.
3. *Борисенко А. С.* Изучение солевого состава растворов газожидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16—28.
4. *Бородаевский Н. И., Бородаевская М. Б.* Березовское рудное поле. М.: Металлургиздат, 1947. 264 с.
5. *Вертушков Г. Н., Соколов Ю. А., Попов В. А.* Жильный кварц некоторых золоторудных месторождений Урала // Минералогический сборник № 3. Труды Института геологии и геохимии УФАИ СССР. Свердловск: УФАИ СССР, 1970. Вып. 86. С. 38—43.
6. *Делицын Н. Г., Звягин Ю. В., Сидоренко О. В.* Преобразование пиррофиллита в ди-триоктаэдрический хлорит // ДАН СССР, 1981. Т. 258. № 3. С. 738—740.
7. *Ермаков Н. П.* Геохимические системы включений в минералах. М.: Недра, 1972. 375 с.
8. *Ермаков Н. П., Долгов Ю. А.* Термобарогеохимия. М.: Недра, 1979. 271 с.
9. *Жариков В. А., Иванов И. П., Фонарев В. И.* Минеральные равновесия в системе $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$. М.: Наука, 1972. 145 с.
10. *Колтун Л. И.* Применение минералотермического анализа для изучения генезиса некоторых золоторудных месторождений Урала // Труды Всесоюз. науч.-исслед. ин-та пьезооптического сырья. М., 1957, Вып 1. № 2. С. 63—88.
11. *Кутюхин П. И.* Березовское золоторудное месторождение // Минералогия Урала. М., 1954. Т. 1. С. 303—329.
12. *Кутюхин П. И.* Условия локализации золотых руд в жилах Березовского месторождения // 200 лет золотой промышленности Урала. Свердловск: Изд. Горн.-геол. ин-та УФАИ СССР, 1948. С. 249—275.
13. *Лазаренко Е. К.* О донбассите из Березовска на Урале // Докл. АН СССР. 1952. Т. 84. № 4. С. 781—784.

14. Мурзин В. В., Таланцев А. С., Леонтьев Р. Л. Самородное золото на глубоких горизонтах Березовского месторождения (Урал) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1987. № 5. С. 70—79.
15. Омельяненко Б. И., Воловикова И. М., Дриц В. А. и др. О содержании понятия серицит // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1982. № 5. С. 69—87.
16. Попов В. А. Онтогенез кварца Березовского золоторудного месторождения на Урале: Автореф. дисс.... канд. геол.-мин. наук. Хабаровск, 1971. 18 с.
17. Реддер Э. Флюидные включения в минералах. М.: Мир, 1987. Т. 1. 557 с.
18. Симонов В. А. Петрогенезис офиолитов: Термобарогеохимические исследования. РАН, Сиб. отд-ние. Объед. Ин-т геологии, геофизики и минералогии. Новосибирск, 1993. 247 с.
19. Смит Ф. Г. Физическая геохимия. М.: Недра, 1968. 475 с.
20. Справочник химика. Т. 1. М.: Госхимиздат, 1963. 356 с.
21. Юминов А. М., Сняжковская И. В., Зайков В. В. Пиррофиллитовая минерализация в жилах Березовского золоторудного поля (Урал) и ее аналоги // Уральский минералогический сборник № 5. Миасс: ИМин УрО РАН. 1995. С. 138—155.
22. Eberl D. Synthesis of pyrophyllite polytypes and mixed layers. Am. Mineral., Vol. 64, 1979. № 9—10. P. 1091—1096.
23. Vidal O. Experimental study of the thermal stability of pyrophyllite, paragonite, find clays in thermal gradient. Eur. J. Mineral. 1997. № 9. P. 123—140.