

## К ВОПРОСУ О ПАРАГЕНЕТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ БЕРЕЗОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С АДАМЕЛЛИТАМИ ШАРТАШСКОГО МАССИВА (СРЕДНИЙ УРАЛ)

Ю. А. Поленов, В. Н. Огородников, В. В. Бабенко

Образование уральских золоторудных месторождений кварцево-жильного типа генетически связано с массивами гранитоидов тоналит-гранодиоритовой формации. Не является исключением и крупное Березовское месторождение. В последние десятилетия получены убедительные доказательства связи этого месторождения, располагающегося в надынтрузивной зоне Шарташского гранитного массива, со становлением этого массива.

*Ключевые слова:* Шарташский массив; Березовское месторождение; кварцевые жилы; дайковый комплекс; золоторудный кварц; шеелитоносный кварц; метасоматиты.

Район Шарташского гранитного массива издавна привлекает к себе внимание исследователей, так как здесь находится Березовское золоторудное месторождение. Проблема образования крупного месторождения кварцево-жильного типа для Урала имеет большое практическое значение поисков золоторудных объектов этого типа на новых площадях Уральского складчатого пояса.

Шарташский гранитный массив расположен на восточной окраине г. Екатеринбурга, доступен для наблюдения в карьерах и коренных выходах. Представляет собой изометричную в плане интрузию площадью около 30 км<sup>2</sup>. В тектоническом отношении массив приурочен к одноименной с ним брахиантиклинали, расположенной в северном погружении Сысертского мегантиклинория, относящегося к Восточно-Уральскому тектоническому поднятию. Непосредственно вмещающими граниты породами являются в основном амфиболиты и зеленые сланцы силурийского возраста, а также тальково-карбонатные породы – продукты метаморфизма ультрабазитов силура (рис. 1).

Шарташский массив сложен почти полностью неопределенными по содержанию кремнезема гранитами. Лишь в одном пункте, в его северо-восточной части, установлены гранодиориты. Контакт их с гранитами не вскрыт. По гравиметрическим данным, Шарташский интрузив – крупное тело, расширяющееся на глубину и представляющее собой один из выходов на дневную поверхность Большого

Шарташского плутона неправильной формы в плане и субширотной ориентировки. Вертикальные размеры этого плутона около 5 км. Западный Шарташский и расположенный восточнее Шпанчевский выступы картируются на современном срезе, более восточный Становлянский (слепой) выступ четко фиксируется локальной отрицательной аномалией в поле силы тяжести. Его апикальная часть вскрыта структурно-поисковой скважиной на глубине около 800 м [1].

Неоднородность геологического строения массива обусловлена трехфазным внедрением гранитов-адамеллитов и сопутствующим внедрением многочисленных даек разнообразного состава: от лампрофиров до аляскитов. Р. С. Куруленко [2] расчленил граниты на три самостоятельные фазы, каждая из которых сопровождалась многочисленными дайками разнообразного состава. Первая фаза представлена крупнозернистыми, вторая – среднезернистыми и третья – мелкозернистыми гранитами, близкими по минеральному и химическому составу. Контакты между выделенными разновидностями пород четкие интрузивные. Жильные образования, следующие после каждой из интрузивных фаз, представлены пегматитами, аплитами, гранит-порфирами, гранодиорит-порфирами и лампрофирами, внедрившимися в антидромной коллизионной последовательности. Эти данные позволили Р. С. Куруленко [2] рассматривать совокупность пород, слагающих Шарташский массив, в качестве сложной

многоритмовой (мультиплетной, по терминологии Э. П. Изоха) серии, состоящей из трех интрузивно-дайкиковых комплексов. Следует

подчеркнуть, что антидромная последовательность внедрения пород – специфическая особенность только Шарташского массива,

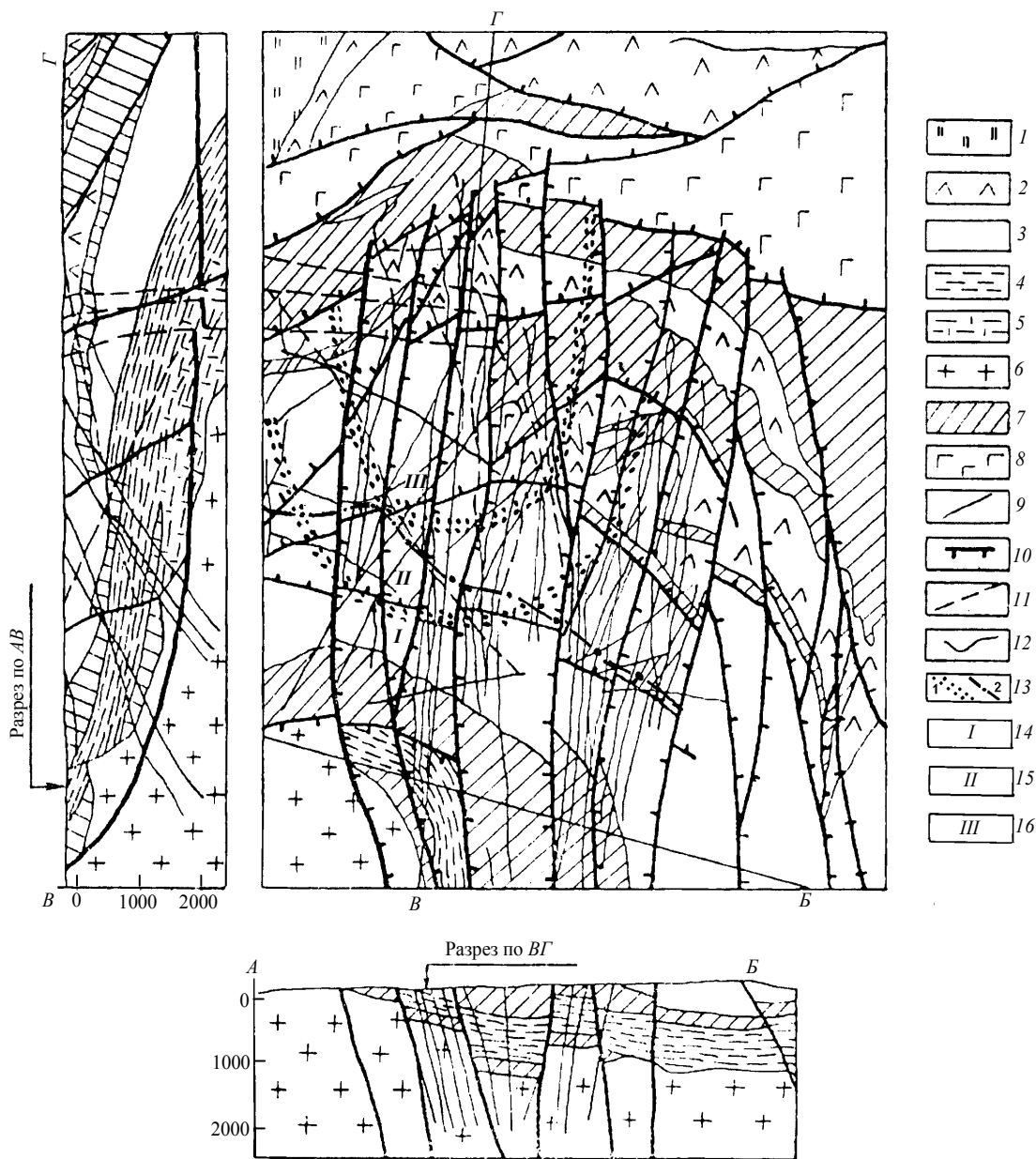


Рис. 1. Геологическая схема Березовского рудного поля [1]:

1 – углисто-кремнистые, кремнисто-глинистые породы; 2 – афириды базальтовые, диабазы тонкозернистые; 3 – афириды базальтовые, вариолиты, туфогравелиты, туфопесчаники, зеленые сланцы; 4 – углисто-кварцевые, серицит-кварцевые сланцы; 5 – плаггиогнейсы и гнейсы биотитовые и роговообманково-биотитовые; 6 – граниты среднезернистые, биотитовые; 7 – серпентиниты и тальково-карбонатные породы; 8 – габбро; 9 – дайки гранитоидов; 10 – додайковые тектонические нарушения; 11 – последайковые тектонические нарушения; 12 – границы пород; 13 – границы минеральных ассоциаций полиметаллической формации; 14 – анкерит-кварцевой; 15 – пирит-кварцевой; 16 – полиметаллической и карбонатной

не отмеченная ни в одном другом массиве.

По минеральному составу, а также по составу и свойствам главных породообразующих минералов граниты всех структурных разновидностей не отличаются. Среднее содержание главных породообразующих мине-

ралов в гранитах следующее, %: зональный плаггиоклаз (№ 15) – 33...50; кварц – 22...23, микроклин-пертит – 11...20, биотит – 5...6; изредка присутствует роговая обманка. Зональность плаггиоклаза обычно прямая, реже обратная. Рудные и аксессуарные минералы

– магнетит, пирит, циркон, эпидот, ортит, апатит.

Химический состав пород также свидетельствует об отсутствии существенных различий между разномасштабными гранитами, принадлежности их к калиево-натриевому ряду и недонасыщенности кремнеземом в сравнении с мировым типом гранита. Особенностью шарташских гранитов является их повышенная основность, по сравнению со средним уральским гранитом: пониженное содержание двуоксида кремния, сравнительно высокое содержание темноцветной части, большая доля плагиоклазов среди полевых шпатов. По анортитовому числу они относятся к промежуточным породам между гранитами и гранодиоритами, т. е. к адамеллитам.

В Шарташских гранитах располагаются многочисленные дайки разных типов жильных пород. Дайки гранит-порфиров, лампрофиров, прожилки пегматита и аплиты выполняют крутопадающие трещины субмеридионального простирания. С трещинами северо-западного простирания ( $330...340^\circ$ ), падающими на северо-восток под углом  $65...70^\circ$ , связаны сложные дайки гранит-порфиров, эолитов, пегматитов, лейкократовых гранитов. Трещины северо-восточного простирания ( $20...50^\circ$ ) с падением на северо-запад под углом  $70...80^\circ$  контролируют дайки мелкозернистых гранитов, прожилки пегматитов, аплитов. Субширотные трещины иногда выполнены маломощными прожилками пегматита, аплиты, лейкократового гранита, кварца, гранит-порфира [2].

*Гранит-порфиры* – наиболее широко распространенные жильные породы массива. Мощность даек – от единиц сантиметров до  $40...50$  м, строение неоднородное: наблюдается постепенное уменьшение крупности зерна от центральных к периферическим частям даек, обусловленное различной степенью переохлаждения расплавов. Различные по структуре гранит-порфиры встречаются и в виде самостоятельных даек. Гранит-порфиры II встречены в виде единичных маломощных (до 1 м) даек. От гранит-порфиров I они отличаются наличием сравнительно крупных вкрапленников микроклина, кварца, плагиок-

лаза и отсутствием во вкрапленниках биотита. Основная масса мелкозернистая, яснокристаллическая.

*Лампрофиры* – сравнительно редкие дайки, мощностью до 2 м. Различают лампрофиры I – ранние и II – поздние. Лампрофиры I представляют собой зелено-черные порфировидные породы, редкие вкрапленники которых состоят из зеленой роговой обманки и вторичного биотита. Лампрофиры II состоят из двух разновидностей. Первая содержит во вкрапленниках черные игольчатые кристаллы роговой обманки, прямоугольные зерна белого плагиоклаза и единичные округлые зерна кварца. Основная масса тонкозернистая темно-серая. По количественному минеральному составу (кварц – 16 %, плагиоклаз – 59,0 %, калишпат – 6,0 %, темноцветные – 19,0 %) лампрофиры относятся к жильным кварцевым диоритам (мальхитам).

*Лейкократовые граниты* наблюдаются в виде многочисленных даек мощностью от единиц сантиметров до 70 см. В юго-восточном экзоконтакте массива известны дайки лейкократовых гранитов мощностью 2...10 м. Аплиты – широко распространенные жильные породы массива, обычно они имеют мощность 1...20 см, в отдельных случаях 10...50 м. Макроскопически аплиты белого, розовато- и желтовато-белого цвета, тонкозернистые, мелкозернистые, переходящие в пегматоидные.

*Пегматиты* образуют маломощные, слабо дифференцированные жилы мелкоблочкового и тонкозернистого сложения. Центральная часть жил обычно сложена кварцем. Кварцевые жилы встречаются в виде тонких прожилков (0,1...10 см) и линзовидных включений в гранитоидах. Сравнительно мощные кварцевые жилы (до 1,5 м) известны в экзоконтакте массива.

Наблюдения над взаимными пересечениями, проведенные в карьерах, показали сложную историю формирования жильных пород. В широком диапазоне времени внедрялись лейкократовые граниты, аплиты, пегматиты и кварцевые жилы. Они известны во взаимных пересечениях со всеми описанными разновидностями жильных пород массива и неод-

нократно пересекаются между собой. Гранит-порфиры также представляют собой сложные и многократные образования. Дайки лампрофиров I пересекают средне- и крупнозернистые граниты; лампрофиры II рассекают мелкозернистые граниты и гранит-порфиры I [2].

При изучении гранитоидов и метасоматитов Шарташского массива краткие сведения о кварцевых жилах, залегающих в гранитоидах, приведены в работах А. И. Грабежева, Б. В. Чеснокова, Р. С. Куруленко, В. Н. Сазонова и многих других. Однако наиболее полное полевое описание кварцевых жил сделано Р. С. Куруленко [3] и О. А. Сустановым [4], а минеральный состав жил наиболее полно рассмотрен в работах С. В. Прибавкина с соавторами [5, 6].

Р. С. Куруленко [3] в Шарташском гранитном карьере описан участок развития многочисленных кварцево-сульфидных жил и гидротермально измененных пород, несущих разнообразную сульфидную минерализацию, образующую местами крупнокристаллические скопления и друзовые образования в кварцевых жилах. Участок находится в зоне контакта средне- и мелкозернистых адамеллитов, рассланцованных и пересеченных дайками и жилами: среднезернистые адамеллиты рассечены дайками адамеллит-порфиров, гранодиорит-порфиров, лампрофиров, аплитов, кварцевых жил; мелкозернистые адамеллиты – лейкократовыми гранитами, аплитами, кварцевыми жилами.

Кварцевые жилы имеют небольшую мощность (от долей до 2 см), крутое падение, расположены на расстоянии 0,01...2,0 м друг от друга, породы вдоль них в виде полосы шириной 0,1...30 см интенсивно березитизированы. Серия кварцевых жил является секущей по отношению к отмеченным дайкам и согласной с простиранием контакта средне- и мелкозернистых адамеллитов. Жилы примерно на 60 % выполнены полупрозрачным мелкозернистым, иногда друзовым кварцем серого, светло-серого до белого цвета и значительно менее распространенным кальцитом. Сульфиды образуют вкрапленность, прожилки и редко гнездовые скопления в кварце, а в березите – тонко рассеянную вкрапленность

и нитевидные прожилки. По подсчету в одной из глыб, пирит составляет 25 % объема жилы, тетраэдрит – 8 %, сфалерит – 2,5 %, галенит – 1,5 %. Кристаллы пирита наблюдаются в виде кубов, редко пентагондодекаэдров; сфалерит представлен кристаллами клейофана зеленовато-желтого до серого цвета, тетраэдрического облика; галенит встречается в виде кубических, редко октаэдрических кристаллов; тетраэдрит образует тонкозернистые агрегаты. В полированных шлифах наиболее ранним из сульфидных минералов является пирит, образующий идиоморфные зерна, замещаемые галенитом, сфалеритом. Нередко сульфиды образуют сростки друг с другом: сфалерит, как правило, приурочен к тетраэдриту, последний замещается галенитом, образуя графические структуры [3].

Крупная кварцевая жила в Шарташском гранитном массиве описана О. А. Сустановым и Е. Н. Паршаковым [4, 7]. Жила располагается в 6 км к востоку от Екатеринбурга, у дороги Екатеринбург–Ново-Свердловская ТЭЦ (0,4 км к западу от автобусной остановки Сады). Мощность жилы до 1 м, длина по простиранию более 175 м. Она имеет северо-восточное простирание, падение на юго-восток около 80°. В настоящее время жила в значительной степени выработана. Жила залегает среди обычных среднезернистых низкощелочных шарташских гранитов, местами идет вдоль контактов секущей граниты дайки лампрофиров мощностью до 4 м. С запада к жиле подходит пересекающая граниты мощная (до 10 м) дайка гранит-порфиров северо-западного простирания.

Гранит приобретает возле жилы желтоватую окраску в связи с начинающейся пелитизацией микроклина. Вокруг некоторых тонких апофиз кварцевой жилы наблюдается замещение плагиоклаза и биотита гранитов микроклином и серицитом. В контактах кварцевых прожилков, залегающих в гранит-порфирах, происходит почти полная серицитизация плагиоклаза гранит-порфиров с образованием метасоматита, состоящего из серицита, кварца и исходного микроклина.

Лампрофиры в контактах с кварцевой жилой подвергаются осветлению в связи с за-



мещением биотита, амфибола, отчасти плагиоклаза серицитом и увеличением количества кварца. Микроклин в ходе этих преобразований остается свежим.

Измененные граниты и гранит-порфиры по составу сходны с породами внешней зоны метасоматической колонки гумбеитизации, а измененные лампрофиры – березитизации, с тем отличием, что карбонатов в рассматриваемых породах не отмечается.

Жила сложена гигантозернистым замутненным кварцем. В нем наблюдаются волнистое угасание, системы изгибов, блокирование, полигонизация. В жиле нередко присутствует микроклин. В виде отдельных гнезд и по трещинам в кварце наблюдаются галенит и блеклые руды; последние образуют крупные выделения с примесью пирита и тонкозернистые срастания с галенитом. Встречаются также серицит и сфалерит (клейофан). Химический состав и параметры кристаллической решетки блеклых руд соответствуют тетраэдриту. С приближением к сульфидам молочно-белый кварц нередко сменяется прозрачным. В молочно-белом кварце наблюдаются прожилки прозрачного кварца 2-й генерации с галенитом, а также прожилки прозрачного кварца с кристаллами горного хрусталя. При разработке жилы в ней было встречено гнездо размером более 1 м, в котором находились кристаллы кварца длиной до 0,5 м.

Кристаллы горного хрусталя бесцветные и дымчатые, гексагонально-призматического габитуса. В них встречаются первичные трехфазовые флюидные включения с жидкой углекислотой. Вторичные флюидные включения вдоль залеченных трещин двухфазовые, образовались из растворов, не содержащих значительных количеств  $\text{CO}_2$ . Учитывая наличие в некоторых кристаллах кварца взвешенных ограненных кристалликов блеклых руд, можно заключить, что образование сопровождающего сульфиды прозрачного кварца происходило одновременно с образованием кристаллов горного хрусталя [4].

В пределах Шарташского массива адамеллитов и в западной части Березовского месторождения кварцевые жилы и прожилки сопровождаются ореолами гумбеитизации.

Обычно это маломощные (редко до 0,3 м) оторочки. Выделены ранние (микроклиновые) и поздние (микроклин-серицитовые) гумбеиты. Поздние гумбеиты – это разновидность метасоматитов, промежуточных между гумбеитами и березитами [8]. В 1998 г. авторами статьи в южном борту Шарташского карьера были получены дополнительные материалы по взаимоотношениям березитов и гумбеитов (рис. 2). Этот рисунок дает основание для вывода о том, что березиты могут формироваться в составе гумбеитовой формации, при пониженном химическом (по сравнению с формацией гумбеитов) потенциале калия [8].

Помимо гумбеитов, в Шарташском карьере встречаются розовые или кремновые эйситы. Эйсит из оторочки кварцевого прожилка, представленный кварцем, альбитом и карбонатом (кальцит + доломит-анкерит), был подвергнут термобарометрии с использованием доломит-кальцитового термобарометра. Получены следующие РТ-параметры эйситизации в адамеллитах:  $T = 425 \dots 330 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P = 0,1 \dots 0,5 \text{ кбар}$  [8].

### Результаты исследований

1. Большинство исследователей уральские золоторудные месторождения кварцевожильного типа связывают с массивами гранитоидов тоналит-гранодиоритовой формации [9]. Не является исключением и Березовское месторождение. В последние десятилетия получены убедительные доказательства генетической связи этого месторождения, располагающегося в надынтрузивной зоне Шарташского гранитного массива со становлением этого массива [9].

Возраст адамеллитов Шарташского массива, определенный рубидий-стронциевым методом, составляет  $328 + 18$  млн лет [10]. Гранитоиды Шарташского массива являются следствием многократного ступенчатого анатексиса, связанного с процессами коллизии. Как отмечает Г. Б. Ферштатер [9], палеозойский анатексис на Урале протекал в условиях, близких к флюидонасыщенным, а характерной особенностью рудоносных комплексов является длительность их формирования. При этом продолжительность каждого

эпизода интрузии невелика, основное время занимают процессы анатексиса и предшествующего ему разогрева протолита [9]. По нашим представлениям, этим обстоятельством обусловлена многократная дискретность поступления флюидов для формирования кварцевых жил и рудной минерализации Березовского рудного района, которое протекало в интервале 314...285 млн лет [10] и 305...285

млн лет [11].

2. Дайковый комплекс Березовского месторождения и Шарташского гранитоидного массива однотипный, что позволяет считать их разновозрастными и родственными по образованию. В отличие от месторождения в гранитоидах, широко представлены аплиты и пегматиты. Формирование даек произошло, когда апикальная часть массива уже на-

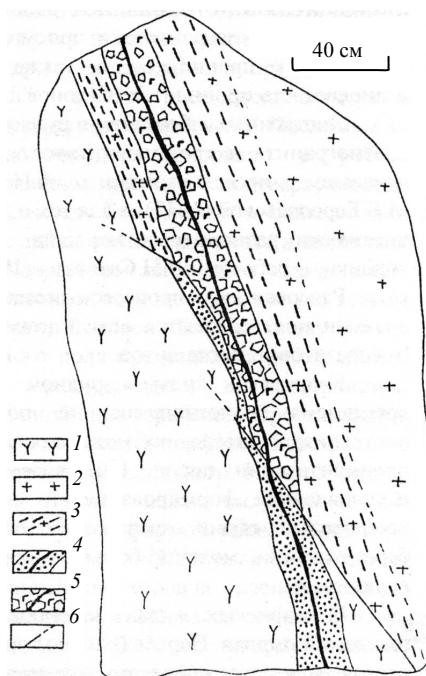


Рис. 2. Развитие гумбеитов (по адамеллитам) и березитов (по лампрофирам) около одной и той же кварцевой жилы, содержащей карбонат и части колонки по лампрофирам и калишпат в части колонки по адамеллиту. Зарисовка фрагмента южного борта Шарташского щебе-ночного карьера (Средний Урал) [11]: 1 – лампрофир; 2 – адамеллит; 3 – зона расланцевания и обогащения биотитом; 4 – кварц-кар-бонатная жила с сульфидами с оторочкой березитов; 5 – то же, но кварц-карбонатного состава, сопряженная с гумбеитами; 6 – тектоническая трещина

ходила в консолидированном состоянии, что подтверждается залеганием даек как в гранитах, так и во вмещающих породах. В условиях сжатия в широтном направлении и растяжения в меридиональном сформировался комплекс даек, представленный плагиосиенит-порфирами, плагиогранит-порфирами, лампрофирами, лейкократовыми гранитами, аплитами, пегматитами, кварцевыми жилами. Дайки гранитоидов и кварцевые жилы сконцентрированы в консолидированной части массива над остывавшим магматическим очагом, в зоне резких температурных градиентов в трещинах скола и отрыва.

3. По данным многих исследователей [8, 12, 13], становление Шарташского гранитоидного массива с сериями многочисленных даек породило мощный процесс минералообразования в широком интервале температур. Как в массиве, так и в дайках и во вмещающих породах наблюдаются продукты становления

высокотемпературных формаций с последующим телескопированием среднетемпературных и низкотемпературных. Произошло интенсивное объемное метасоматическое преобразование в виде лиственитизации-березитизации даек гранитоидов [13]. Одновременно с березитизацией даек гранитоидов в эндо- и экзоконтакте кровли Шарташского массива по тектоническим трещинам прошли метасоматические процессы с образованием эйситов и гумбеитов (рис. 2) [8]. Всем этим процессам предшествовали импульсы тектонических подвижек [14].

Микроклинизация, высокотемпературное окварцевание и альбитизация в дайках гранитоидов мало заметны вследствие сильного развития грейзенизации и березитизации, затушевавших возле абсолютного большинства трещин предшествующие процессы. И лишь случайно уцелевшие редкие участки позволяют восстановить картину процессов [13].

4. Кварцевые жилы Березовского месторождения и Шарташского гранитоидного массива по своему строению и мощности, залеганию, минеральному составу являются схожими. Многочисленные кварцевые жилы с сульфидной минерализацией, описанные Р. С. Куруленко [3] в Шарташском гранитном карьере, соответствуют полосовым (лестничным) жилам месторождения; кварцевая жила, описанная О. А. Сустановым и Е. Н. Паршаковым [4], сопоставима с красичными жилами.

С. В. Прибавкиным [5, 6] на основании изучения минерального состава кварцевых жил Шарташского массива проведено их разделение на ранние и поздние по аналогии с типизацией кварцевых жил Березовского месторождения. Для кварцевых жил, вокруг которых развиты стандартные высокотемпературные гумбеиты доломит-микроклиновой фации, характерны следующие рудные минералы: пирит, шеелит, молибденит, пирротин, халькопирит, медно-висмутовые и серебро-висмутовые сульфосоли, висмутин, тетрамит, айкинит, галенит [6]. В поздних кварцевых жилах, вокруг которых развиты гумбеиты фенгит-микроклиновой фации, рудная минерализация представлена пиритом, шеелитом, тетраэдритом, клейофаном, галенитом, бурнонитом, менегинитом, андоритом [6].

Кварцевые жилы шеелитовой и золотоносной формаций являются телами сложного генезиса, но сами кварцевые тела сформировались во время одной рудной стадии [15]. Изучение состава и строения сульфидно-кварцевых жил позволило выделить в них ряд последовательно образовавшихся минеральных ассоциаций, соответствующих определенным стадиям рудообразования: анкерит-кварцевую, пирит-кварцевую, полиметаллическую и карбонатную [16].

5. Неизмененные породы Шарташского массива отличаются повышенным средним содержанием золота (4,96...11,47 мг/т) по сравнению с кларком (4,5 мг/т) для кислых пород [3]. В шарташских гранитоидах в ряду крупно-средне-мелкозернистых адамеллитов максимальное содержание золота наблюдается в первой интрузивной фазе. В интрузивных комплексах содержание золота, как правило, нарастает в дайковых дифференциатах. Наличие высоких концентраций золота, приуроченность их к контактовым тектоническим зонам и метасоматически измененным породам с высокой степенью неоднородности распределения этого элемента, а также высокое среднее содержание золота в породах позволяют считать Шарташский массив специализированным на золото и подтверждают гипотезу о связи Березовского месторождения с этим массивом [3]. Прямая пропорциональная связь между степенью хлороносности и золотоносности в гранитоидах третьего дайково-интрузивного комплекса и в постмагматический этап березитизации и сульфидно-кварцевого оруденения, наиболее интенсивно проявленный в этом комплексе, свидетельствует о значительной роли хлора в создании металлогенической специализации гранитоидов на заключительной стадии формирования массива [3].

6. О. В. Белавин и др. [1] сделали вывод о прямой связи гидротермальной минерализации Березовского рудного поля с мощностью и формой кровли Большого Шарташского массива гранитоидов. Это подтверждается вертикальной зональностью околорудных метасоматитов в пределах Березовского рудного поля, а также зональностью продуктивных рудных минеральных ассоциаций. Шеелитсодержащие кварцевые жилы окаймляют Шарташский массив адамеллитов и полого погружаются под Березовское месторождение. Их околорудными метасоматитами являются эйситы и гумбеиты. По мере удаления от этого массива на север или в породы кровли (по вертикали) названные жилы сменяются более низкотемпературными их разностями с сульфидами. Продуктивность последних возрастает по мере продвижения на север [9, 10]. Отмеченная рудная и метасоматическая зональность является продуктом зонально построенного температурного поля, наведенного Шарташской гранитной интрузией. Характерно, что вольфрамоносные жилы встречаются только в южной части месторождения, где образуют зону, прилегающую с севера к Шарташскому гранитному массиву.

В отличие от них, жилы сульфидно-кварцевого состава встречаются в пределах всей площади месторождения и даже в пределах Шарташского гранитного массива [16].

Изложенные ранее данные по взаимоотношениям шарташских адамеллитов, даек гранитоид-порфиоров, кварцевых жил и сопровождающих их метасоматитов, а также геохимическим особенностям рудообразующего флюида позволили разработать геохимическую модель Березовского месторождения (рис. 3) [8].

7. На Березовском золоторудном месторождении и площади Шарташского массива адамеллитов располагаются однотипные геологические образования, имеющие прямое отношение к формированию шеелитовой, золотой и сульфидной минерализаций. Сопоставление дайкового комплекса, метасоматитов, рудных жил Шарташского массива гранитоидов с аналогичными образованиями Березовского месторождения свидетельствует об их тождественности, что позволяет считать эти две площади единым рудным полем.

Редкость лестничных жил в дайках, аналогичных по составу березовским дайкам и залегающих в Шарташском гранитном массиве, обусловлена различием геолого-структурных позиций Березовского рудного поля и даек Шарташского массива.

Две меридиональные свиты даек Березовского рудного поля возникли в обстановке широтного растяжения и меридионального сжатия в приподнятых блоках грабена, зафиксированных выступами Шарташского массива. Отмечено практическое их отсутствие в пределах опущенного блока (рис. 1). В этих блоках возникли разломы меридионального простирания, в которые внедрилась магма, давшая дайки гранит-гранодиоритовой формации, но условия приоткрывания разломов в огромном и прочном Шарташском гранитном массиве, размещающемся в ядре брахиантиклинали, сложенной вулканогенно-осадочным комплексом пород, были разные. Шарташский массив как плутон реагировал на деформации иначе, чем его обрамление. В нем не возникла «правильная и регулярная» система даек в приподнятых блоках грабена,

испытывающих приоткрывание разломов в результате гравитационного разваливания блоков из-за наличия опущенного и зажатого между ними блока, как во вмещающем массив вулканогенно-осадочном комплексе. Трещины образовывались, но они были разнонаправленные, а не только «регулярные» «березовские». Мощность всех даек в Шарташском массиве не превышает сантиметров и первых метров. Образование лестничных кварцево-сульфидных жил в дайках Березовского рудного поля и их практическое отсутствие в дайках Шарташского массива также объясняется генезисом и условиями деформаций. После внедрения даек и залечивания разломов рудное поле реагировало на региональное широтное сжатие не локальным растяжением в своде, а как монолит, когда локальный и региональный планы деформаций, широтное сжатие и меридиональное растяжение совпали. Остывание даек происходило именно при таком плане деформаций. Оно сопровождалось контракцией, которая проявлялась преимущественно в продольном направлении, так как длина даек 8...10 км, а мощность всего 8...10 м. Этому способствовал и план деформаций – широтное сжатие и меридиональное растяжение. Контракция и деформации вызвали образование в дайках, более хрупких, чем вмещающие породы, крутопадающих, поперечных к простиранию даек трещин, их приоткрывание и проникновение в открытые полости растворов образования кварцево-сульфидных жил, получивших название лестничных. Влияние плана деформаций подтверждается наличием редких свит широтных крутопадающих красичных жил, залегающих в вулканогенно-осадочном комплексе, вмещающем дайки, к которому контракция никакого отношения не имеет. Отсутствие пологих контракционных трещин в дайках можно объяснить гравитацией, противодействующей контракции и направленной по падению даек [14].

8. Согласно утверждению П. П. Желобова [18] и мнению Г. Н. Кузовкова [19], «золотое оруденение Березовского «куста» пространственно связано с базит-гипербазитами Пышминско-Березовского массива, но максималь-



но проявлено на участке его пересечения с Березовским дайковым комплексом. Источником золота в Березовском месторождении являются не гранитоиды, а гипербазиты, из

которых металл экстрагируется и концентрируется на участках проявления кремнекислых пород, давая парагенезисы с кварцем».

Действительно, для Березовского место-

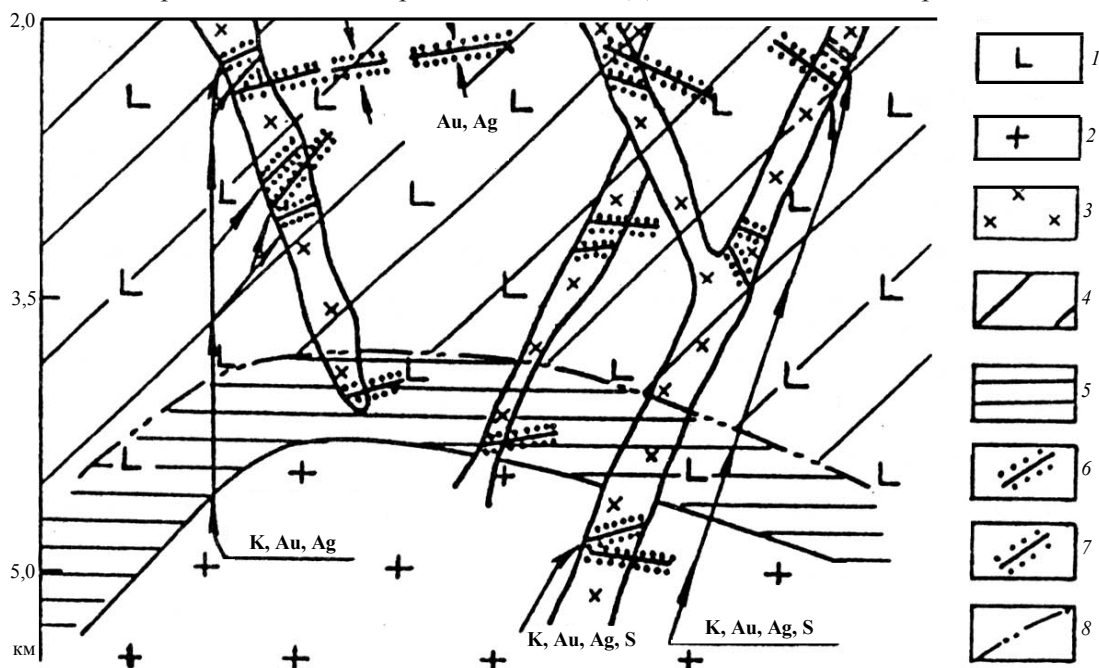


Рис. 3. Модель геолого-геохимической системы Березовского рудного поля [7]:  
 1 – породы кровли и 2 – адамеллиты Шарташского массива; 3 – дайки гранитоид-порфиров; фации метаморфизма: 4 – зеленосланцевая и 5 – амфиболитовая; 6 – золотоносные кварцевые жилы с ореолами березитов и лиственитов; 7 – шеелитсодержащие кварцевые жилы с ореолами гумбеитов и эйситов; 8 – граница, разделяющая площади развития золотоносных и шеелитсодержащих кварцевых жил

рождения характерно нахождение золота во всех сульфидах, содержание которых в перспективных кварцевых жилах достигает весомых величин. По нашему мнению, это может свидетельствовать об экстрагировании части рудного материала из гипербазитов, имеющих широкое распространение на площади рудного поля. Тем не менее основная роль в переносе, перераспределении и аккумуляции рудных элементов принадлежит дегазации магмы, сформировавшей Шарташский адамеллитовый массив. Механизм такого воздействия рассмотрен Ф. Г. Рейфом на примере месторождений вольфрама и молибдена, но он вполне применим для объяснения образования вольфрамовой и золотой минерализаций Березовского месторождения: «В результате исследования гранитных интрузий Забайкалья и Центрального Казахстана и связанных с частью из них месторождений вольфрама и молибдена установлено, что интрузии, сопровождаемые оруденением, в отличие от ординарных начи-

нают отделять флюид уже на ранних стадиях кристаллизации; что солевой состав магматических флюидов отчетливо наследуется гидротермальными растворами, формировавшими месторождения; что содержание рудообразующих элементов в магматическом флюиде сопоставимо с их концентрацией в гидротермальных растворах на стадии рудоотложения и достигает нескольких процентов» [17].

Установлено, что кристаллизация мезо- и гипабиссальных гранитных интрузий чаще всего начинается при 830...790°С. Начальная стадия кристаллизации характеризуется отсутствием свободной флюидной фазы, общее давление при этом определяется в основном литостатической нагрузкой и на глубине 4...7 км составляет 110...190 МПа. Однако сопутствующие флюидные включения, захваченные при  $T < 700^\circ\text{C}$  в процессе ретроградного кипения кристаллизующихся приконтактовых зон интрузивных тел, характеризуются высокой плотностью, соответствующей дав-

лению 300...400 МПа, что свидетельствует о субзихорическом характере процесса в этот период. Для глубинных частей интрузии с высоким водосодержанием характерно появление свободной флюидной фазы при  $T > 700^{\circ}\text{C}$  и  $P > 200$  МПа. Такое неравновесное флюидоотделение проявляется при явном преобладании расплава над кристаллами.

Для генерации магмой высококонцентрированных в отношении вольфрама растворов необходимы условия, при которых из расплава выделялась бы только незначительная часть растворенной в нем воды. Наибольшие возможности для реализации таких условий представляются при неравновесном вскипании магмы, что характерно именно для интрузий с высоким исходным водосодержанием. В развитие вышесказанного можно указать на неизбежность проявления некоторых особенностей формирования магматогенных гидротермальных систем.

Поскольку субзихорическая кристаллизация приконтактных зон интрузии приводит к почти полному удалению из расплава растворенной в ней воды, концентрация металлов во флюидной фазе должна быть низкой, особенно при высоком исходном водосодержании расплава. Такой флюид создает в камере высокое давление, вызывая ее разгерметизацию, заполняет возникшие трещины в начальный период их существования и вызывает наиболее ранние изменения при-

легающих пород. Однако эта ранняя порция флюида, очевидно, играет в основном роль гидравлического клина и не приводит к значительной рудной минерализации хотя бы потому, что из малой мощности кристаллизующихся приконтактных зон ресурсы металлов, перешедших в раствор, невелики.

Неравновесное флюидоотделение начинается только после ухода раннего флюида из системы и охватывает слой расплава, многократно превышающий по мощности приконтактную зону полной кристаллизации, а потому обладающий гораздо большими ресурсами металлов. Выход из расплава продуктов неравновесного вскипания – процесс длительный. Поэтому после быстрого заполнения трещинных структур ранним флюидом в образовавшуюся гидротермальную систему еще долгое время продолжают поступать поздние растворы с высокой концентрацией металлов. Поздний флюид заполняет также трещины в уже консолидировавшихся частях интрузии и скапливается на отдельных участках контакта расплава с закристаллизовавшимися краевыми зонами, образуя залежи рудосносных грейзенов. Можно предположить, что известные на месторождениях так называемые предрудные метасоматиты формируются в основном флюидами, выделившимися при ретроградном кипении, тогда как в образовании богатого оруденения ведущую роль, скорее, играют поздние растворы [17].

*Исследования проводились при частичной поддержке госбюджетной темы 5.4667.2011 (Г-3, УГГУ), руководитель профессор В. Н. Огородников.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белавин О. В., Вагшалъ Д. С., Ниренштейн В. А. Шарташский гранитный массив (Средний Урал) и связь с ним золотого оруденения // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1970. № 6. С. 86–90.
2. Куруленко Р. С. История формирования гранитоидов Шарташского массива // Ежегодник-1976. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1976. С. 39–41.
3. Куруленко Р. С. Кварцево-сульфидные жилы в Шарташском адамеллитовом массиве на Среднем Урале // Ежегодник-1981. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1982. С. 95–96.
4. Суставов О. А., Паршаков Е. Н. Крупная кварцевая жила в восточной части Шарташского гранитного массива // Материалы Уральской летней минералогической школы. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1998. С. 49–51.
5. Суставов О. А. Околожильные фенгитовые гумбеиты центральной части Шарташского гранитного массива: детали строения метасоматических колонок // Изв. УГГУ. 2013. Вып. 3. С. 18–23.
6. Минералогия сульфидно-кварцевых жил Шарташского массива / С. В. Прибавкин [и др.] // Материалы Уральской летней минералогической школы. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1996. С. 46–55.
7. Прибавкин С. В., Середкин М. В., Кононкова Н. Н. Минералогия ранних кварцевых жил Шарташского массива, Средний Урал // Материалы Уральской летней минералогической школы. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1997. С. 198–203.
8. Месторождения золота Урала / В. Н. Сазонов [и др.]. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. 622 с.
9. Магматический контроль гидротермального золотого оруденения на Урале / Г. Б. Ферштатер [и др.] // Эндеогенное оруденение в подвижных поясах. Екатеринбург: Ин-т геологии и геофизики УрО РАН, 2007. С. 181–184.
10. Rb–Sr возраст пород Шарташского интрузива и дайкового комплекса / Д. С. Штейнберг [и др.] // Ежегодник-1988. Свердловск: Ин-т геологии и геофизики УрО РАН, 1989. С. 110–112.

11. U–Pb возраст пород и оруденения Березовского золоторудного месторождения (Средний Урал) / С. В. Прибавкин [и др.] // Ежегодник-2011. Екатеринбург: Ин-т геологии и геофизики УрО РАН, 2012. Вып. 159. С. 211–217.
12. Бородаевский Н. И., Бородаевская М. Б. Березовское рудное поле. М.: Metallurgizdat, 1947. 264 с.
13. Попов В. А. Кварц Березовского золоторудного месторождения на Урале // Минералогические исследования гидротермалитов Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. С. 3–10.
14. Бабенко В. В. О рудоконтролирующих деформациях Березовского месторождения // Изв. вузов. Горный журнал. 1975. № 10. С. 3–8.
15. Поленов Ю. А., Огородников В. Н., Бабенко В. В. Кварцевые жилы Березовского золоторудного месторождения – классические объекты полихронного и полигенного генезиса // Металлогения древних и современных океанов-2012. Гидротермальные поля и руды. Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2012. С. 24–28.
16. О зональности Березовского золоторудного месторождения на Среднем Урале / И. Т. Самарцев [и др.] // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1970. № 6. С. 86–90.
17. Рейф Ф. Г. Рудообразующий потенциал гранитов и условия его реализации. М.: Наука, 1990. 181 с.
18. Желобов П. П. Роль гипербазитов в локализации красичных жил на Березовском рудном поле // Проблемы образования рудных столбов: материалы симпозиума. Новосибирск: Наука, 1972. С. 199–210.
19. Кузовков Г. Н., Двоглазов Д. А. Об астенолитовой модели Среднего Урала и строении Шарташской золоторудной вихревой структуры // Руды и металлы. 2002. № 4. С. 63–72.

Поступила в редакцию 15 октября 2013 г.

**Поленов Юрий Алексеевич** – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: polenov\_yu@mail.ru

**Огородников Виталий Николаевич** – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.

**Бабенко Владимир Витальевич** – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.