

# РОЛЬ ИНТРУЗИВНОГО МАГМАТИЗМА В ГЕНЕЗИСЕ БЕРЕЗОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

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

## Role of intrusive magmatism in genesis of Berezovsk gold deposit (Middle Urals)

V. V. Babenko, Yu. A. Polenov, V. N. Ogorodnikov

Berezovsk post magmatic deposit (Middle Ural) is a classic gold mine object of quartz-vein type with a unique geological and structural position, and therefore the identification of laws of placing of ore mineralization at such a facility makes it possible to discover new objects of this type, and not only in the Urals. Berezovsk deposit is characterized by joint presence of granitoids and hyperbasites in the areas of gold mineralization. It was found that the gold mineralization is spatially associated with basit-hyperbasites of Pyshminsk-Berezovsk massif, but is maximally manifested in the area of its intersection with Berezovsk dike complex. The article shows the role of ore generating intrusive magmatism in the distribution of gold mineralization of Berezovsk gold deposit, settles close relationship of ore mineralization with intrusive igneous rocks, dunite-harzburgerite, gabbro, tonalite, granodiorite and granite formations. It has been shown that the development of mineralization in the ore field is the result of multiple stepwise anatexis associated with diverse geological processes of early and late collisions that led to the formation of pluton of granitoids with dike bundles of granitoids, containing postmagmatic steeply dipping quartz-sulphide transverse to the dikes veins. Hydrothermal mineralization of Berezovsk ore field is genetically linked to the Grand Shartashsk massif of granitoids of tonalite-granodiorite formation. This is confirmed by a vertical zonation of wallrock metasomatic rocks within of Berezovsk ore field, as well as zoning of productive ore mineral associations, defined by power and form of Shartashsk massif roofing. Ore localizing role of magmatism in the distribution of gold mineralization in quartz-sulfide veins of Berezovsk deposits is caused by geological and structural position of of Berezovsk ore field, early-collisional magmatism of dike series and late-collision post-magmatic activity. Pulses of tectonic movements preceded all these processes.

**Keywords:** Berezovsk mine; Pyshminsk-Berezovsk hyperbasite massif; Shartashsk massif; ultrabasites;

Березовское постмагматическое месторождение (Средний Урал) является классическим золоторудным объектом кварцево-жильного типа с уникальной геолого-структурной позицией, а поэтому выявление закономерностей размещения рудной минерализации на таком объекте даёт возможность открытия новых объектов такого типа, и не только на Урале. Для Березовского месторождения характерно совместное нахождение гранитоидов и гипербазитов на площадях развития золотого оруденения. Установлено, что золотая минерализация пространственно связана с базит-гипербазитами Пышминско-Березовского массива, но максимально проявлена на участке его пересечения с Березовским дайковым комплексом. В статье показана рудогенерирующая роль интрузивного магматизма в размещении золотого оруденения Березовского золоторудного месторождения, обосновывается тесная связь рудной минерализации с интрузивными магматическими породами дунит-гарцбургитовой, габбровой, тоналит-гранодиоритовой и гранитной формаций. Показано, что развитие минерализации в рудном поле является следствием многократно ступенчатого анатексиса, связанного с многообразными геологическими процессами ран-

ней и поздней коллизий, приведших к формированию плутона гранитоидов с пучками даек гранитоидов, содержащих постмагматические кварцево-сульфидные крутопадающие поперечные к простираению даек жилы. Гидротермальная минерализация Березовского рудного поля генетически связана с Большим Шарташским массивом гранитоидов тоналит-гранодиоритовой формации. Это подтверждается вертикальной зональностью околорудных метасоматитов в пределах Березовского рудного поля, а также зональностью продуктивных рудных минеральных ассоциаций, определяемых мощностью и формой кровли Шарташского массива. Рудолокализирующая роль магматизма в размещении золотого оруденения в кварцево-сульфидных жилах Березовского месторождения обусловлена геолого-структурной позицией Березовского рудного поля, раннеколлизийным магматизмом дайковой серии и позднеколлизийной постмагматической деятельностью. Всем этим процессам предшествовали импульсы тектонических подвижек.

**Ключевые слова:** Березовское месторождение; Пышминско-Березовский гипербазитовый массив; Шарташский массив; ультрабазиты; габбро; гранитоиды; структура рудоносных даек.

**Б**ерезовское рудное поле в тектоническом отношении приурочено к грабену, образованному долгоживущими разломами, меридионального простирания. Северной и верхней границей рудного поля являются гипербазиты и габбро Пышминско-Березовского массива; южной – граниты Шарташского массива; нижней, вероятно, плагиогнейсы и гнейсы протеро-палеозойского возраста (рис. 1) [1].

#### Рудогенерирующая роль магматизма в генезисе Березовского месторождения

Интрузивные породы Березовского рудного поля относятся к трем формациям: дунит-гарцбургитовой, габбровой и тоналит-гранодиоритовой.

К дунит-гарцбургитовой формации океанического спрединга принадлежат *Шарташский и Пышминско-Березовский гипербазитовые массивы*, условно относимые к силуру. Они слагаются серпентинитами, тальково-карбонатными породами. Пышминско-Березовский массив охватывает полукольцом с севера и востока рудное поле, а Шарташский окаймляет его с юга. Шарташский массив представлен двумя параллельными телами, мощностью от 70 до 260 м, залегающими согласно с породами ландоверийского яруса и отделяющими их от пород венлока. Пышминско-Березовский массив ограничен с севера интрузией габбро, а с юга диабазами венлока. Он представляет собой тело, падающее на север под углом 40–45°. Контакт гипербазитов с вмещающими породами расланцован. Апофиза этого массива, секущая отложения венлока в виде пластообразного тела с пологим падением к юго-западу, прослеживается в северо-восточной части рудного поля. Мощность тела меняется от 200 до 70 м.

П. П. Желобов [2] акцентировал внимание на теснейшей пространственной связи промышленно ценных красичных жил Березовского рудного поля с ультрабазитами. Кварцевые жилы размещаются либо вблизи контакта ультрабазитов с диабазами, либо внутри тел ультрабазитов, замещенных тальково-карбонатными породами. Так, на одном участке целая свита красичных жил связана с областью вхождения Степановской дайки в тело ультрабазитов. Жилы здесь размещаются непосредственно над падающей на запад контактовой поверхностью ультрабазитов (рис. 2) и в своем простирании не уходят далеко от этой поверхности. Аналогичное размещение красичных жил наблюдается несколько южнее, на участке выхода из ультрабазитов Андреевской дайки. Контактная поверхность ультрабазитов здесь обнаруживает крутое падение и прослеживается скважинами вблизи нижнего выклинивания жил на глубине 300–350 м. На

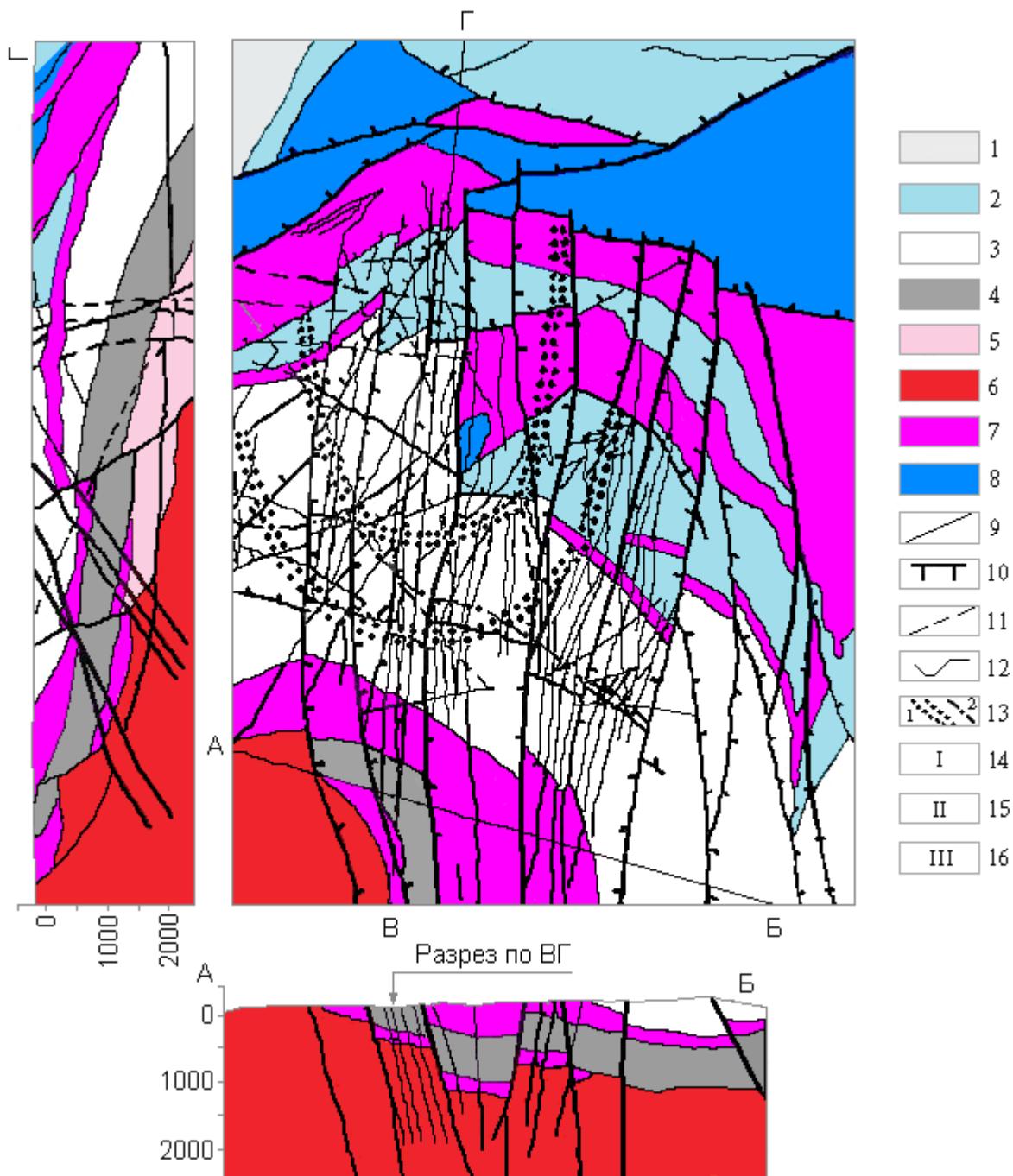
участке как Степановской, так и Андреевской даек красичные жилы на глубине выклиниваются, подходя к контактовой поверхности ультрабазитов.

Убедительно выявлена приуроченность ультрабазитов к древнему надвигу, по которому происходили неоднократные подвижки, сопровождавшиеся внедрением вдоль сместителя многочисленных даек габбро-диабазов, плагиосиенит-порфиров, лампрофиров и плагиогранит-порфиров. На рассматриваемом участке рудного поля сложная зона надвига фиксируется Савельевской дайкой плагиосиенит-порфира, Соیمانовской дайкой плагиогранит-порфира, характерным «хвостиком» ультрабазитов и положением тектонических швов пострудных надвиговых подвижек. Красичные жилы занимают весьма характерное положение в «тыльной» части ультрабазитового тела.

Другая характерная особенность размещения красичных жил обнаруживается в северной части рудного поля. Кроме некоторых, расположенных в диабазах, в области непосредственного контакта с ультрабазитами, здесь широко развиты красичные жилы, целиком залегающие в ультрабазитах. Многие из этих жил являются слепыми телами, расположенными в интервалах от 140 до 250 м. Все красичные жилы имеют тесную пространственную связь с дайками плагиогранит-порфиров. Весьма характерная и своеобразная особенность слепых красичных жил рассматриваемого участка – их четкая приуроченность к области выклинивания Соیمانовской дайки плагиогранит-порфиров. И в этом случае красичные жилы располагаются перпендикулярно простиранию дайки.

Следовательно, в размещении красичных жил, пространственно ассоциирующих с ультрабазитами, наиболее четко выступают две особенности: приуроченность к внешней контактовой зоне ультрабазитов и приуроченность к внутренней части гипербазитов, к области выклинивания дайки гранитоидов [2].

Габбровая формация представлена на *Пышминско-Березовском массивом габбро*. Это пластообразное тело мощностью 600–800 м, падающее на север под углом 40°, примыкает к описанному массиву гипербазитов с севера. На их контакте наблюдается послойное чередование серпентинитов с полосчатым среднезернистым габбро. Возраст габбро по аналогии с более северными районами определен как нижнедевонский. В пределах рудного поля выделяются дайки основного состава, которые принадлежат к габбровой формации: габбро, габбро-диабазы и жильные диабазы тяготеют к Пышминско-Березовскому массиву, а

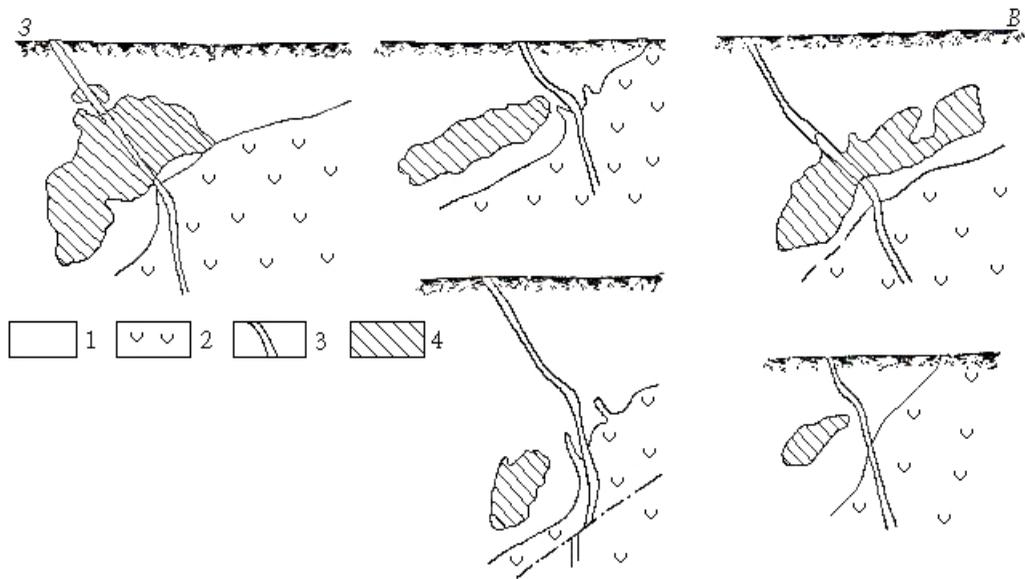


**Рисунок 1. Геологическая схема Березовского рудного поля [1] / Figure 1 | The geological scheme of Berezovsk ore field [Babenko, 1975].** 1 – углисто-кремнистые, кремнисто-глинистые породы; 2 – афириды базальтовые, диабазы тонкозернистые; 3 – афириды базальтовые, вариолиты, туфогравелиты, туфопесчаники, зеленые сланцы; 4 – углисто-кварцевые, серицит-кварцевые сланцы; 5 – плагиигнейсы и гнейсы биотитовые и рогово-обманково-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.

также распространены среди эффузивов базальтового состава. Дайки габбро-диабазов и жильных диабазов встречаются чаще. Большинство из них имеет субмеридиональное простирание: мощностью от 5 до 50 м. Эти образования возни-

кли в геотектонической обстановке океанического спрединга формирования рудного поля [1].

К тоналит-гранодиоритовой формации относятся *гранитоиды Шарташского массива*, который сложен почти полностью неопределёнными



**Рисунок 2. Упрощенные продольные вертикальные разрезы красичных жил, показывающие их приуроченность к приконтактовым частям гипербазитов, замещенных тальково-карбонатными породами. Участок Степановской дайки (Желобов, 1972) / Figure 2 | The simplified longitudinal vertical sections of veins, showing their timing to the marginal parts of the ultramafic substituted by talc-carbonate rocks. The plot of Stepanovsk dike (Zhelobov, 1972). 1 – диабазы; 2 – тальково-карбонатные породы и серпентиниты; 3 – дайка плагиогранит-порфира; 4 – размещение оруденения**

по содержанию кремнезема гранитами. Лишь в одном пункте, в его северо-восточной части установлены гранодиориты. 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 [3].

Неоднородность геологического строения массива обусловлена трехфазным внедрением гранитов-адамеллитов и сопутствующим внедрением многочисленных даек разнообразного состава: от лампрофиров до аляскитов. Р. С. Куруленко [4] расчленила 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 интрузив-

ных фаз, представлены пегматитами, аплитами, гранит-порфирами, гранодиорит-порфирами и лампрофирами.

О. В. Беллавин и др. [3] 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 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 разновидностями с сульфидами. Продуктивность последних возрастает по мере продвижения на север [5]. Отмеченная рудная и метасоматическая зональность является продуктом зонально построенного температурного поля, наведенного Шарташской гранитной интрузией. Характерно, что вольфрамосные 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 [5].

На площади Березовского рудного поля постколлизийными кварцево-жильными образованиями являются пиррофиллитсодержащие жилы, а также наложенные хрусталоносные полости. Так, все исследователи зафиксировали при отработке жил с дневной поверхности и до глубины разработки наличие большого количества кристаллов кварца пьезооптического качества, причем в верхних горизонтах их количество было значительно больше. Эти полости выполнены хорошо ограненными кристаллами кварца, шеелита, пирита, галенита и других минералов [6].

Формирование постколлизийных кварцевых жил проходило в неспокойной тектонической обстановке, что приводило к частому изменению P-T-X условий, быстрому отложению кремнезема, что нашло отражение в строении минерализованных зон в целом, в своеобразии текстур жильных агрегатов, в контрастной зональности минеральных индивидов.

#### Рудолокализирующая роль магматизма дайковой серии Березовского месторождения

На Березовском золоторудном месторождении и площади Шарташского гранитного массива располагаются однотипные геологические образования, имеющие прямое отношение к формированию шеелитовой, золотой и сульфидной минерализаций. Сопоставление дайкового комплекса, метасоматитов, рудных жил Шарташского массива 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, и они практически отсутствуют 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 кварц-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, которые дали кварцево-сульфидные жилы, получившие 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.

Размещение оруденения в дайках контролируется структурно-тектоническими факторами [1, 6, 7]. Детально изучена рудоносная дайка Второпавловская. Она хорошо вскрыта горными выработками. Изучение осуществлялось методом геометризации рельефа поверхности разломов, вмещающих дайки, и показателей, характеризующих оруденение, – средних содержаний металлов в лестничных жилах и в березитах, удельного растяжения (мощность жил, приходящаяся на 10 м дайки по простиранию), удельной трещиноватости (количество жильных трещин, приходящихся на 10 м дайки по простиранию) и продуктивности даек (произведение содержания металла на величину

удельного растяжения). Геометризация рельефа проведена с помощью изолиний на продольной проекции лежачего бока дайки на вертикальную плоскость – изолонг.

Крутопадающая дайка Второпавловская имеет жильную форму [7]. Длина её по простиранию большая, мощность 8–10 м. Дайка имеет волнистое залегание. На фоне генерального меридионального простирания и среднего падения 75° на восток элементы залегания изменяются: простирание от 336 до 40°, углы падения от 20 до 90° на восток и от 40 до 90° на запад. На формирование волнистости дайки существенное влияние оказывают додайковые секущие разломы, сопряжения с более ранними дайками и контакты пород с разными физико-механическими свойствами, так как разлом при переходе из одной среды в другую преломляется подобно лучу света. Сопряжения дайки с разломами и ранними дайками в основном наклонены к северу и образуют ребра волнистости по простиранию. Эти наиболее крупные волны (I порядка) имеют азимуты простирания, отличающиеся на 10–20°. Контакты пород полого падают к северу и вызывают волнистость дайки по падению. Наиболее пологие волны приурочены к туфам диабазов, туффидам и серпентинитам. Наиболее крутые волны связаны со сланцами и гнейсами (в сланцах, ниже ребра 01, – 80°). На формирование волнистости оказывают влияние и додайковые разломы, которые вызывают образование резких флексур и приводят к куливному выклиниванию даек. Третья система рёбер полого склоняется к югу, пересекая залегание пород. Это направление подчеркивается некоторыми более древними дайками и разломами. Сочетание трех типов волн приводит к образованию трехгранно-коробленого рельефа поверхности разлома, выполненного дайкой Второпавловской.

Размещение продуктивности на вертикальной проекции дайки Второпавловской (рис. 3) иллюстрирует рудоконтролирующую роль рельефа дайки. На проекции видны два рудных столба – северный и южный, представляющие совокупности рудных лент. В соответствии с представлениями Г. Л. Поспелова [8], под рудным столбом понимается область развития околорудно-измененных пород, содержащая внутри себя рудные тела и являющаяся следом фильтрующей многострунной колонны рудообразующих флюидов. «Размеры и протяженность таких геологических рудных столбов, а также плотность оруденения в них могут быть самыми различными» [8]. Выделенные на проекции рудные столбы имеют геолого-экономические границы, определяемые кондициями.

Приведенные данные свидетельствуют, что рельеф разлома, выполненного дайкой Второпавловской, влияет на размещение оруденения.

Волнистость разломов обуславливает растяжение одних участков и зажимание других, создавая каналы для движения «многострунной колонны рудообразующих флюидов» [1, 7].

### **Зональность оруденения Березовского золоторудного месторождения**

В рудном поле, по данным М. Б. и Н. И. Бородаевских [9] и П. И. Кутюхина [10], распространены две формации жил: кварц-турмалин-шеелитовая (вольфрамоносная) и кварц-сульфидная (полиметаллическая). Зона жил вольфрамоносной формации охватывает Шарташский массив с севера и занимает только южную часть рудного поля (рис. 1).

Работами И. Т. Самарцева и др. [5] показано, что жилы полиметаллической формации в рудном поле имеют зональное распределение. Выделяются три зоны, внутри которых в жилах развиты различные минеральные ассоциации, отличающиеся по степени рудоносности. Это анкерит-кварцевая, кварц-пиритовая, полиметаллическая и карбонатная ассоциации.

Первая состоит из кварца, анкерита и более позднего по времени выделения пирита. Пирит кубической формы с длиной ребра 3–5 см.

Вторая ассоциация – из кварца, пирита и шеелита. Пирит в этой ассоциации встречается как кубической формы, так и в форме пентагон-додекаэдров. Кристаллы пирита имеют меньшие размеры, чем в первой минеральной ассоциации. Количество пирита велико и иногда превосходит количество кварца. Кварц часто встречается в виде тонких прожилков. Шеелит представлен зернистыми скоплениями, одиночными зернами или кристаллами бипирамидальной формы. Количество шеелита очень незначительно, и распределен он неравномерно.

Третью ассоциацию минералов составляют пирит, блёклая руда, галенит, халькопирит, айкинит и небольшое количество кварца. Пирит здесь двух разновидностей: сростки кристаллов в друзовых пустотах и мелкозернистые скопления, выполняющие трещины в кварце или приуроченные к контактам жил с вмещающими породами. В состав блёклых руд в небольшом количестве (2–3 %) входят тетраэдрит и теннантит. Встречаются блёклые руды в виде массивных скоплений совместно с пиритом, халькопиритом, галенитом. Галенит в некоторых жилах составляет 50–70 %. Он представлен зернистыми скоплениями и небольшими кристаллами. Выделяется галенит позднее, чем пирит и блёклая руда. Халькопирит встречается в других сульфидных жилах в виде тонких включений. Его содержание незначительно – 0,2–0,3 %. Айкинит распространен широко, но в небольших коли-

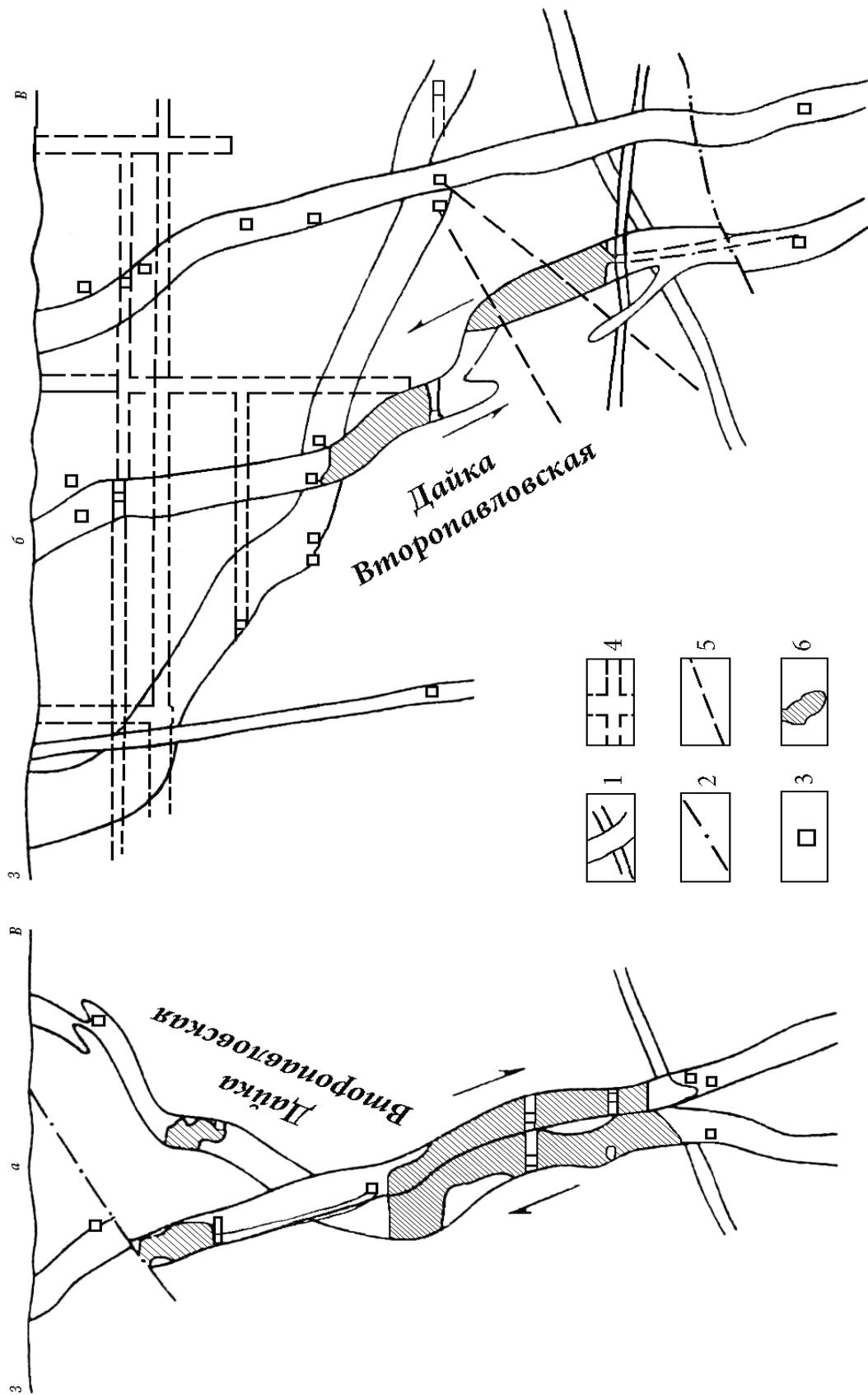


Рисунок 3. Структурно-геологические типы рудных тел (Бабенко, 1978) / Figure 3 | Structural and geological types of ore bodies (Babenko, 1978) а – крутые флексуры, б – пологие флексуры; 1 – дайки; 2 – разломы; 3 – разломы; 4 – горные выработки в плоскости разреза; 4 – горные выработки за пределами плоскости разреза; 5 – буровые скважины; 6 – очистное пространство.

чествах. Встречается он в виде призматических кристаллов или неправильных скоплений.

Четвертая ассоциация, карбонатная, состоит из кальцита и небольшого количества доломита.

В южной части поля, начиная от выхода на поверхность Шарташского массива (рис. 1), расположена зона жил анкерит-кварцевой ассоциации (зона I). Эта ассоциация развита и на всей остальной площади рудного поля. Зона, где кроме неё появляется кварц-пиритовая минеральная ассоциация (зона II), занимает меньшую площадь. Ещё меньшую площадь занимают полиметаллическая и карбонатная ассоциации (зона III). Перечисленные зоны погружаются в северном направлении согласно с кровлей Шарташского массива.

Зональность проявляется и в ряде других явлений:

1) в распределении блёклых руд, что установлено Б. В. Чесноковым [11]: в южной части месторождения преобладают сурьмяные блёклые руды (тетраэдрит), а в северной – мышьяковистые (теннантит); с глубиной в блёклых рудах увеличивается содержание сурьмы и уменьшается содержание мышьяка;

2) в уменьшении крупности выделений пирита: в южной части рудного поля кристаллы пирита крупные (3–5 см в ребре), в центральной меньше, чем в южной, а в северной пирит мелкозернистый;

3) в увеличении с глубиной количества шелита в жилах и в уменьшении его количества в пирит-кварцевой ассоциации в северном направлении вплоть до его исчезновения;

4) в увеличении в северном направлении количества анкерита в анкерит-кварцевой ассоциации: в южной части анкерит встречается в подчиненном количестве по сравнению с кварцем и пиритом, а в северной его количество иногда превосходит количество кварца;

5) в увеличении в северном направлении количества блёклых руд и галенита, халькопирита и айкинита в полиметаллической ассоциации и в одновременном уменьшении количества пирита;

6) в распределении элементов-примесей (медь, висмут, титан, марганец, никель, серебро). Содержание их в кварце второй генерации, пирите третьей генерации, галените из жил северной части месторождения выше, чем в южной. Исключение составляет никель, содержание которого возрастает к югу. В кварце с глубиной наблюдается уменьшение меди, а в пирите второй и третьей генераций – меди, висмута и марганца.

Температурная зональность [5] выражается в том, что минеральные ассоциации I зоны формируются при относительно высоких температурах (гомогенизация включений – 320–184°), а в III зоне – в широком диапазоне температур (384–56°).

Происхождение минеральной зональности объясняется И. Т. Самарцевым [5] многостадийностью процесса формирования жил, при которой минералы каждой последующей стадии отлагались на меньшей площади и при более низких температурах, чем предыдущие. Это вызывалось смещением эпицентров концентрации растворов в результате остывания интрузива и утолщения его панциря. Растворы, отложившие минералы полиметаллической формации, имеют глубинное происхождение. Подтверждение этого вывода видим в том, что граница зоны развития жил вольфрамоносной формации повторяет очертания гранитного массива в плане (рис. 1). Очертания же зон развития жил полиметаллической формации ничего общего с ним не имеют.

В то же время оруденение контролируется структурно-тектоническими факторами [1, 7]. Как было показано выше, рельеф разлома, выполненного дайкой, влияет на распределение напряжений в дайке, в результате которых формируются каналы для движения гидротермальных растворов и рудные тела различных типов: пологие и крутые флексуры (рис. 3). Установленный для каждого из этих типов характер рудообразующих движений исключает их одновременное приоткрывание. Следовательно, они формировались в разные стадии рудообразования, и в пределах зоны развития различных геолого-структурных типов рудных тел должны быть развиты различные минеральные ассоциации.

Действительно, при наложении на продольную проекцию дайки Второпавловской с распределением продуктивности и рудными телами различных структурно-геологических типов зон развития различных минеральных ассоциаций по И. Т. Самарцеву [5], граница между зонами развития кварц-пиритовой (II) и полиметаллической (III) ассоциаций падает на север под углом 25° и отделяет рудные тела в пологих флексурах от рудных тел в крутых, совпадая с ребром 020. Зона развития полиметаллической ассоциации совпадает с зоной развития рудных тел в крутых флексурах.

Надо учитывать, что при любом направлении тектонических движений, вызывающих приоткрывание, части дайки и с пологими, и с крутыми углами падения не были абсолютно зажатыми. По всем участкам происходила циркуляция растворов, но преимущественное развитие данная минеральная ассоциация получала на 78 оптимально приоткрытых в этот момент участках дайки.

Каждая дайка рудного поля имеет свои структурные особенности, которыми определяются условия размещения оруденения. Структурные особенности каждой дайки определяют характер зональности других даек. Но очевидно, что такая зональность свойственна всем дайкам.

Установленная зональность в размещении структурно-геологических типов рудных тел и её связь с определенными минеральными ассоциациями свидетельствует, что структурные условия рудоотложения являются одним из главных факторов минеральной зональности. Причину зональности мы видим не в смещении мест прорыва растворов в сторону пологой кровли Шарташского гранитного массива, а в приоткрывании в каждый этап тектонических движений различных участков даек, что создает пути движения растворов и формирует структуры, в которых и происходило отложение данной минеральной ассоциации.

Вскрытый нами механизм образования минеральной зональности на Березовском месторождении – убедительная иллюстрация положения А. В. Королева о том, что необходимым условием возникновения зональности является совпадение в пространстве и времени тектонических деформаций с эволюцией магматического очага, дающего гидротермальные растворы (В. В. Бабенко, [7]).

#### Выводы

Рудогенерирующая роль интрузивного магматизма в размещении золотого оруденения Березовского золоторудного месторождения обосновывается тесной связью с интрузивными магматическими породами дунит-гарцбургитовой, габбровой, тоналит-гранодиоритовой и гранитной формаций.

По данным многих исследователей [5, 6, 9, 10, 12] становление Шарташского гранитного массива тоналит-гранодиоритовой формации с сериями многочисленных даек гранитной формации породило мощный процесс минералообразования в широком интервале температур. Как в массиве, так и в дайках и во вмещающих породах наблюдаются продукты становления высокотемпературного минералообразования с последующим телескопированием продуктов среднетемпературного и низкотемпературного. Произошло интенсивное объемное метасоматическое преобразование в виде лиственизации-березитизации даек гранитоидов. Одновременно с березитизацией даек гранитоидов в эндо- и экзоконтакте кровли Шарташского массива по тектоническим трещинам прошли метасоматические процессы с образованием эйситов и гумбеитов. Всем этим процессам

предшествовали импульсы тектонических подвижек.

Для Урала в целом весьма характерно совместное нахождение гранитоидов и гипербазитов на площадях развития золотого оруденения (Джетыгаринский, Миасский, Непряхинский и другие районы). По утверждению П. П. Желобова [2], мнению Г. Н. Кузовкова [13] «золотое оруденение Березовского «куста» пространственно связано с базит-гипербазитами Пышминско-Березовского массива, но максимально проявлено на участке его пересечения с Березовским дайковым комплексом. Действительно, для Березовского месторождения 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.

Гидротермальная минерализация Березовского рудного поля генетически связана с Большим Шарташским массивом гранитоидов тоналит-гранодиоритовой формации. Это подтверждается вертикальной зональностью околорудных метасоматитов в пределах Березовского рудного поля, а также зональностью продуктивных рудных минеральных ассоциаций, определяемых мощностью и формой кровли Шарташского массива.

Рудолокализирующая роль магматизма в размещении золотого оруденения в кварцево-сульфидных жилах Березовского месторождения обусловлена геолого-структурной позицией Березовского рудного поля, раннеколлизийным магматизмом дайковой серии и позднеколлизийной постмагматической деятельностью. Под воздействием Шарташского плутона гранитоидов вмещающие стратифицированные вулканогенно-осадочные толщи были деформированы с образованием купола, осложненного в осевой части грабеном, в поднятых блоках которого возникли две системы разломов – западная, падающая на восток и восточная, падающая на запад. Эти разломы были доступны для магмы, что и зафиксировано свитами даек гранитоидов. При их остывании в позднеколлизийный этап в результате контракции и деформаций под воздействием широтного сжатия и меридионального растяжения дайки испытывали растрескивание с образованием широтно ориентированных перпендикулярных к простираанию даек трещин,

в которых происходили циркуляция постмагматических растворов и образование кварцево-сульфидных лестничных жил. Размещение золотого оруденения в жилах определяется рельефом разломов, выполненных дайками, кинематикой тектонических движений, что обуславливает распределение напряжений в дайках, формирует каналы для движения гидротермальных растворов и определяет геолого-структурные типы рудных тел.

Принято к публикации 10.02.2016

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бабенко В. В. О рудоконтролирующих деформациях Березовского месторождения // Изв. вузов. Горный журнал. 1975. № 10. С. 3–8.
2. Желобов П. П. Роль гипербазитов в локализации красичных жил на Березовском рудном поле // Проблемы образования рудных столбов: матер. симпозиума. Новосибирск: Наука, 1972. С. 199–210.
3. Беллавин 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.
4. Куруленко Р. С. История формирования гранитоидов Шарташского массива // Ежегодник-1976. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1976. С. 39–41.
5. О зональности Березовского золоторудного месторождения на Среднем Урале / И. Т. Самарцев [и др.] // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1970. № 6. С. 86–90.
6. Поленов Ю. А., Огородников В. Н., Бабенко В. В. Березовское месторождение золота – уникальный объект полихронного и полигенного рудообразования. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. 150 с.
7. Бабенко В. В. Структурные условия размещения и зональность оруденения Березовского месторождения (Урал) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1978. № 10. С. 114–126.
8. Кутюхин П. И. Условия локализации оруденения в жилах Березовского месторождения // 200 лет золотой промышленности Урала. Свердловск: Изд-во УФАИ АН СССР, 1948. С. 249–275.
9. Бородаевский Н. И., Бородаевская М. Б. Березовское рудное поле. М.: Металлургиздат, 1947. 264 с.
10. Поспелов Г. Л. Роль генетических представлений в геологическом прогнозировании скрытого оруденения в магнетитовых месторождениях Горной Шории / Проблемы генезиса, закономерности размещения и перспективы железооруденения Алтае-Саянской складчатой области: матер. совещ. Ч. 1. Новосибирск, 1974. С. 8–32.
11. Чесноков Б. В. Эндеогенная зональность Березовского рудного поля на Среднем Урале // ДАН СССР. 1973. Т. 210. № 4. С. 915–917.
12. Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Коротеев В. А., Поленов Ю. А. Месторождения золота Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. 622 с.
13. Кузюков Г. Н., Двоеглазов Д. А. Об астенолитовой модели Среднего Урала и строения Шарташской золоторудной вихревой структуры // Руды и металлы. 2002. № 4. С. 63–72.

#### REFERENCES

1. Babenko V. V. 1975, O rudokontroliruyushchikh deformatsiyakh Berezovskogo mestorozhdeniya. [Ore-controlling deformation of Berezovsk field]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining journal*, no. 10, pp. 3–8.
2. Zhelobov P. P. 1972, *Rol' giperbazitov v lokalizatsii krasichnykh zil na Berezovskom rudnom pole* [The role of hyperbasites in the localization of veins on Berezovsk ore field]. *Materialy simpoziuma "Problemy obrazovaniya rudnykh stolbov"* [Proceedings of symposium "Problems of formation of ore columns"], pp. 199–210.
3. Bellavin O. V., Vagshal' D. S., Nirenshteyn V. A. 1970, Shartashskiy granitnyy massiv (Sredniy Ural) i svyaz' s nim zolotogo orudneniya [Shartash granite massif (Middle Urals) and it's communication with gold mineralization]. *Izvestiya akademii Nauk Soyuz Sotsialisticheskikh Respublik. Seriya geologicheskaya*, no. 6, pp. 86–90.
4. Kurulenko R. S. 1948, Istoriya formirovaniya granitoidov Shartashskogo massiva [History of the formation of granite Shartash massif]. *Ezhegodnik-1976 Ural'skogo nauchnogo tsentra akademii nauk Soyuz Sotsialisticheskikh Respublik*, pp. 39–41.
5. Samartsev I. T., Zakhvatkin V. A., Kazimirskiy V. F. 1970, O zonal'nosti Berezovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya na Srednem Urale [Zoning of Berezovsk gold deposit in the Middle Urals]. *Izvestiya akademii Nauk Soyuz Sotsialisticheskikh Respublik. Seriya geologicheskaya*, no. 6, pp. 86–90.
6. Polenov Yu. A., Ogorodnikov V. N., Babenko V. V. *Berezovskoe mestorozhdenie zolota – unikal'nyy ob'ekt polikhronnogo i poligennogo rudoobrazovaniya* [Berezovsk gold deposit – unique object of polychromatic and polygenic mineralization]. p. 150.
7. Babenko V. V. 1978, Strukturnye usloviya razmeshcheniya i zonal'nost' orudneniya Berezovskogo mestorozhdeniya (Ural) [Structural conditions of placement and zoning of mineralization of Berezovsk deposit (Urals)]. *Izvestiya akademii Nauk Soyuz Sotsialisticheskikh Respublik. Seriya geologicheskaya – News of the USSR Academy of Sciences*, no. 10, pp. 114–126.
8. Kutyukhin P. I. 1948, Usloviya lokalizatsii orudneniya v zilakh Berezovskogo mestorozhdeniya [Conditions for the localization of mineralization in veins of Berezovsk deposit]. *200 let zolotoy promyshlennosti Urala*, pp. 249–275.
9. Borodaevskiy N. I., Borodaevskaya M. B. 1947, *Berezovskoe rudnoe pole* [Berezovsk ore field]. 264 p.
10. Pospelov G. L. 1974, *Rol' geneticheskikh predstavleniy v geologicheskom prognozirovanii skrytogo orudneniya v magnetitovykh mestorozhdeniyakh Gornoj Shorii* [The role of genetic concepts in the geological prognosis of hidden mineralization in the magnetite deposits of Mountain Shoria]. *Problemy genezisa, zakonomernosti razmeshcheniya i perspektivy zhelezoorudneniya Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti: materialy obsuzhdeniya* [Genesis problems, patterns of distribution and prospects for the iron ore mineralization of the Altai-Sayan area: meeting material], pt. 1, pp. 8–32.
11. Chesnokov B. V. 1973, Endogennaya zonal'nost' Berezovskogo rudnogo polya na Srednem Urale [Endogenous zoning of Berezovsk ore field in the Middle Urals]. *Doklady akademii nauk Soyuz Sotsialisticheskikh Respublik*, vol. 210, no. 4, pp. 915–917.

12. Sazonov V. N., Ogorodnikov V. N., Koroteev V. A., Polenov Yu. A. 2001, *Mestorozhdeniya zolota Urala* [Gold deposits of the Urals]. 622 p.

13. Kuzovkov G. N., Dvoeglazov D. A. 2002, Об

astenolitovoy modeli Srednego Urala i stroenii Shartashskoy zolotorudnoy vikhrevoy struktury [The asthenolith model of the Middle Urals and structure of Shartashsk gold vortex structure]. *Rudy i metally*, no. 4, pp. 63–72.

**Владимир Витальевич Бабенко,**

доктор геолого-минералогических наук, профессор

**Юрий Алексеевич Поленов,**

доктор геолого-минералогических наук, профессор,

polenov\_yu@mail.ru

**Виталий Николаевич Огородников,**

доктор геолого-минералогических наук, профессор

**Vladimir Vital'evich Babenko,**

Dr., Professor

**Yuriy Alekseevich Polenov,**

Dr., Professor

polenov\_yu@mail.ru

**Vitaliy Nikolaevich Ogorodnikov,**

Dr., Professor

Уральский государственный горный университет,  
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Ural State Mining University,  
Yekaterinburg, Russia