

Березовское золоторудное месторождение: проблемы формирования, дальнейшего изучения

Александр Григорьевич БАРАННИКОВ*

Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

Актуальность работы обусловлена необходимостью выявления и уточнения факторов рудогенеза на крупном кварцево-жильном Березовском золоторудном месторождении. Установленные факторы должны способствовать разработке критериев прогнозирования оруденения подобного типа на Урале.

Цель работы: выявление закономерностей размещения благороднометалльной минерализации (Au, Ag) в пределах ведущих даек на основе минералого-геохимического изучения окисленных выходов рудоносных пород; обобщение результатов опробования разведочно-эксплуатационных выработок на примере Второ-Павловской и Елизаветинской даек; уточнение геолого-генетической модели месторождения с учетом новых данных.

Методология исследования: картирование выходов золотосодержащих пород методом шлихоминералогического изучения; обработка результатов опробования рудоносных даек; обобщение результатов ранее проведенных геологических, геофизических и геологоразведочных работ; исследование площадного распространения химических кор выветривания.

Результаты. Рассмотрено геологическое строение месторождения: уникальность геолого-структурной позиции; ведущие интрузивные комплексы, их рудоконтролирующее значение; минералого-геохимическая зональность локализации оруденения; параметры флюидного режима рудообразующих систем. Установлено: минеральные ассоциации окисленных рудоносных зон наследуют гипогенную зональность глубоких горизонтов месторождения; распределения уровней концентраций золота и серебра по данным опробования разведочно-эксплуатационных штреков между собой не согласуются; не коррелируются эти данные и с уровнем прокварцеванности пород; по дайке Второ-Павловской отмечено нарастание уровня серебрисности руд в южном направлении при приближении к Шарташскому массиву гранитоидов, а также с глубиной. В окончательном виде эндогенная градиентная зональность сформировалась после остывания теплового поля массива в связи с проявлениями наложенных средне-низкотемпературных гидротермально-метасоматических процессов на постколлизивной стадии развития. Работы по оценке перспектив золотоносности зоны окисления рекомендуется продолжить; здесь возможно выявление оруденения гипогенно-гипергенного типа.

Выводы. Формирование крупного Березовского месторождения определено совокупностью рудоконтролирующих факторов. Одним из ведущих факторов является глубинность формирования рудолокализирующей структуры. Сказанное обосновывается приуроченностью рудного поля к структуре вихревого типа, а также геофизическими материалами по глубинному строению земной коры, накопленными изотопно-геохимическими данными. Рекомендуется при проведении прогнозных и поисковых работ на золото в пределах перспективных площадей Уральского региона пристальное внимание уделять оценке рудоносности вихревых и кольцевых структур.

Ключевые слова: Березовское месторождение, золото, интрузивные комплексы, дайки, зона окисления, минеральные ассоциации, вихревые структуры, коры выветривания, шлихоминералогическое опробование.

Введение

Березовское месторождение – старейший золоторудный объект Уральского региона. С момента открытия в 1745 г. из его недр добыто первое золото Российского государства. До конца 1950-х гг. месторождение оставалось крупнейшим золотодобывающим предприятием России. Ежегодная добыча в отдельные годы достигала 2 т золота.

Месторождение относится к группе крупнейших золоторудных объектов мира (Б. Я. Вихтер, 2009), что а priori уже предполагает своеобразие его геологической позиции, структурных, формационных и иных особенностей.

Почти за 275-летний период освоения из недр месторождения добыто более 160 т золота. Объем учтенных запасов металла составляет 49,7 т (газета «Березовский рабочий», 03.06.2010). Действующее в настоящее время золотодобывающее предприятие ООО «Березовское рудоуправление» располагает достаточной сырьевой базой и продолжает играть важную роль в минерально-сырьевом обеспечении золотодобывающей отрасли Уральского региона.

Геологическое строение месторождения отражено в многочисленных публикациях разных периодов изучения объекта. Сведения о нем вошли практически во все учебники по геологии месторождений полезных ископаемых, изданные как в нашей стране, так и за рубежом. С изучением месторождения связаны многие известные имена. На разных этапах освоения его посетили Г. Паллас, И. Герман, Г. Розе, И. Севергин, что нашло отражение в подготовленных записках. К 1820–1830-м гг. относятся работы Гумбольдта, Мурчисона, Колобова, а позднее Окладных, Пошепни, А. П. Карпинского, Рудковского и др. Изучением Березовского рудного поля занимались Н. И. и М. Б. Бородаевские, П. И. Кутюхин, А. А. Иванов, И. С. Рожков, С. Г. Заводчиков, И. Т. Самарцев, О. В. Беллавин, В. А. Ниренштейн, Б. В. Чесноков, В. Н. Сазонов, Х. Х. Лайпанов, В. В., Мурзин, О. В. Викентьева и др.

Изучение Березовского рудного поля в последние десятилетия связано с именами Г. Н. Кузовкова, Д. А. Двоглазова, Д. М. Алешина, В. Ф. Копанева, а также сотрудников Уральского государственного горного университета: В. Н. Огородникова, В. В. Бабенко, Ю. А. Поленова – кафедра геологии; Д. А. Клейменова – геологический музей; А. Г. Баранникова, А. Н. Угрюмова, Г. П. Дворника – кафедра ГПР МПИ; студентов Д. И. Колбасина, А. А. Кравченко, О. А. Середкиной, Т. А. Шипицыной и др.

Огромный вклад в изучение геологического строения месторождения внесли рудничные геологи, разведывавшие и изучавшие его в разные периоды промышленного освоения. Назовем лишь некоторые имена: Переляев, Захваткин, Красусский, Каллистов, Заводчиков, Степанов, Казимирский, Поплавский, Котыбаева, Юрпалов, Пелешко, Субботин, Баталин и др. В настоящее время геологическую службу рудника возглавляет Алевтина Николаевна Трошкина.

Особенно следует отметить вклад Владимира Филипповича Казимирского в обоснование возможности промышленного освоения глубоких горизонтов месторождения (512–712 м). Оценку его труда высоко оценил один из опытных горняков рудника: «Этот Казимирский мно-о-го золота нарастил» (Информационные материалы к 265-летнему юбилею Березовского месторождения; июль, 2010 г.)

* ffr.gpr@m.ursmu.ru

Несмотря на длительный период изучения, далеко не все вопросы, касающиеся условий формирования уникального месторождения, минералого-геохимических особенностей строения рудоносных зон, перспектив дальнейшего промышленного освоения объекта, убедительно аргументированы. Они по-прежнему привлекают внимание исследователей.

На уникальную и своеобразную позицию Березовского месторождения обращено внимание в последних публикациях [1–4]. Месторождение рассматривается как классический объект полигенного и полихронного генезиса. Отмечается [4], что «выявление закономерностей размещения рудной минерализации на таком объекте дает возможность открытия новых объектов такого типа».

В связи с этим правомерна постановка вопроса: возможно ли на основе накопленной по месторождению информации осуществлять геологический прогноз золотого оруденения «березовского типа» в пределах достаточно хорошо изученного Уральского региона?

Очевидно, что подход к решению этой проблемы возможен лишь на основе аргументированной геолого-генетической (геолого-прогнозной) модели месторождения, учитывающей совокупность проявленных золотоконцентрирующих процессов. Попытки разработки подобной модели имеются [1].

Несмотря на 275-летний период освоения, дискуссии о происхождении месторождения продолжают. В последние десятилетия они во многом основываются на учете результатов новейших методов изучения минерального вещества (В. В. Мурзин, О. В. Викентьева, Н. С. Бортников, И. А. Бакшеев, С. В. Филимонов и др.).

Основные черты геологического строения Березовского месторождения

Березовское месторождение располагается к северо-северо-востоку от Шарташского гранитного массива в северном погружении Сысертско-Ильменогорского мегантиклинория [5]. Локализовано в островодужной стратифицированной вулканогенно-осадочной толще венлокского яруса нижнего силура.

Геологическая позиция Березовского месторождения и рудного поля отражена на схематических картах и разрезах, приведенных в публикациях [2, 3, 6, 7]. В толще вулканогенно-осадочных и излившихся пород залегают бескорневые пластообразные тела серпентинизированных ультрабазитов, местами превращенные в тальк-карбонатные породы. Эти бескорневые пластообразные тела имеют характер тектонических пластин – протрузий.

Рудное поле располагается в пределах Монетнинско-Седельниковского антиклинория, являющегося составной частью Сысертско-Первомайского блока Сысертско-Ильменогорского мегантиклинория. Тектоническими ограничениями антиклинория служат: на западе Верх-Исетский разлом (взброс), на востоке – Мурзинский (левосторонний сдвиг), сближающиеся в северном направлении в виде клина [5].

Березовское рудное поле является эталонным объектом золото-сульфидно-кварцевой формации. В его пределах большинство рудных жил пространственно приурочено к дайковым породам гранитоидного состава. К ним приурочена большая часть рудных сульфидно-кварцевых жил. Всего на площади рудного поля установлено около 350 даек гранитоидов с общей протяженностью примерно 350 км [6]. Они условно разделены на два пучка, сходящихся в южном направлении.

Дайки имеют различный состав – от ранних плагиигранит-порфиоров, лампрофиоров, плагииосениит-порфиоров к более поздним гранит-порфирам, пегматоидным лейкокатровым гранитам, аплитам и др. Жильные тела образуют плотную многоуровневую (мультиплетную) систему [8].

В рудном поле развиты два типа тектонических нарушений, имеющих рудоконтролирующее значение [1]: 1) сбросо-сдвиги широтного (субширотного) простирания с крутым близвертикальным падением; 2) надвиги и зоны расщепления меридионального простирания, падающие к западу. Нарушения обоих типов предшествовали внедрению гранитоидных даек. Заполняющие сбросо-сдвиги жилы получили название красичных, а залегающие внутри даек – лестничных. Разветвленная система жильных трещин формировалась в условиях резко анизотропной среды при многократном возобновлении сжимающих усилий.

В современных публикациях [2–4] отражена ведущая роль интрузивных комплексов пород в формировании и пространственном размещении золотого оруденения. Отмечается тесная пространственная связь рудной минерализации с интрузивными комплексами дунит-гарцбургитовой, габбровой, тоналит-гранодиоритовой и гранитной формаций. Большинство из них отводится рудогенерирующая роль.

Пространственно-генетическая связь гидротермальной минерализации с мощностью и кровлей Шарташского массива адамеллитов обосновывается данными гравиметрической съемки [9]. Массив полого погружается на север и рассматривается как один из выступов крупного интрузивного тела – Большого Шарташского плутона субширотной ориентировки. Восточнее массива закартированы еще два выступа гранитоидных пород – Шпанчевский и Становлянский (слепой). Последний фиксируется отрицательной аномалией силы тяжести. Его апикальная часть вскрыта скважиной на глубине 800 м.

К категории рудогенерирующего интрузивного комплекса на площади рудного поля также относится Пышминско-Березовский гипербазитовый массив, представленный серпентинитами и продуктами их изменения – тальково-карбонатными породами. Породы массива охватывают в виде спирали все рудное поле, а располагающийся на юге Шарташский гранитный массив является частью этого кольца. Г. Н. Кузовковым [2] обращено внимание на спиралевидное (вихревое) строение Шарташской брахиантиклинали, заметную роль в ней кольцевых (дуговых) разломов (рис. 1). Этим же автором предложено рассматривать характеризующую часть рудного поля как Шарташскую вихревую структуру (ШВС). Массив ограничен с севера интрузией габбро, а с юга породами долеритового состава. Контакты гипербазитов с вмещающими породами расщеплены.

Обобщая изложенное, отметим, что рудовмещающий разрез месторождения, образованный переслаиванием вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, а также субпластовых тел серпентинитов, представляет эффективный петрофизический экран в связи с чередованием пород с контрастными упруго-прочностными фильтрационными свойствами [10]. Возможно, перекрывающие разрез крупные тела серпентинизированных гипербазитов Пышминско-Березовского комплекса играли экранирующую роль.

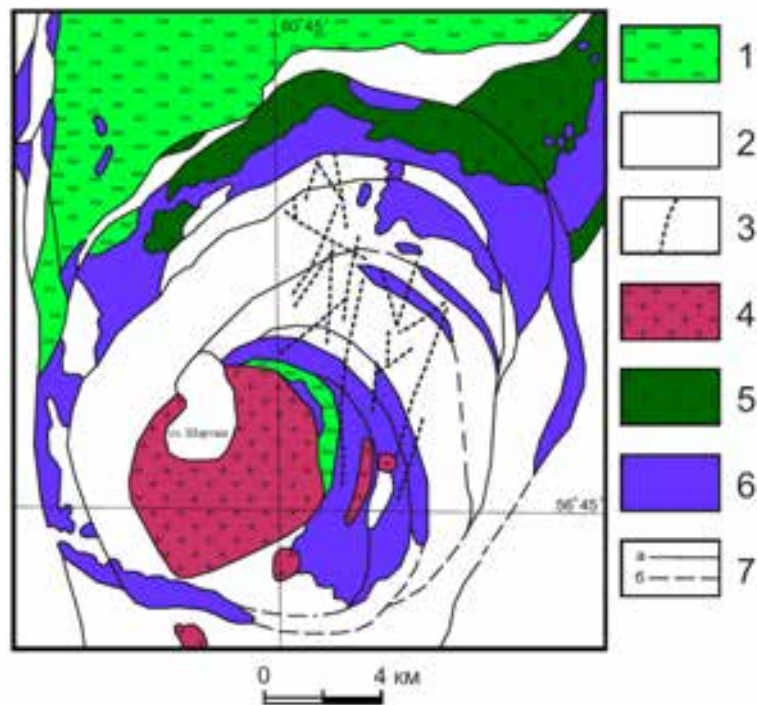


Рисунок 1. Геолого-структурная схема Шарташской вихревой структуры, по [2]. 1 – лландоверийские (?) кремнистые, углисто-кремнистые породы, слюдяно-кварцевые сланцы; 2 – верхнеордовик-нижнесилурийские (?) базальты, их туфы, подчиненные им песчаники, алевролиты; 3 – главные дайки гранитоид-порфиров; 4 – граниты; 5 – габбро; 6 – метагипербазиты (серпентиниты); 7 – геологические (а) и тектонические (б) границы.

Figure 1. Geological and structural diagram of the Shartashskaya vortex structure according to [2]. 1 - Llando-Verian (?) siliceous, carbon-siliceous rocks, micaceous-quartz schists; 2 - Upper Ordovician-Lower Silurian (?) Basalts, their tuffs, sandstones subordinate to them, siltstones; 3 - main dykes of granitoid-porphyrus; 4 - granites; 5 - gabbro; 6 - metahyperbasites (serpentinities); 7 - geological (a) and tectonic (b) boundaries.

Зональность Березовского рудного поля и месторождения

Площадь Березовского рудного поля характеризуется минералого-геохимической зональностью. Ее обоснование приведено в публикациях [1, 6, 11–13]. Зональность проявляется в направленном изменении продуктов гидротермально-метасоматических изменений и наиболее наглядно – ведущих рудных минеральных ассоциаций.

В жильных телах выделены четыре минеральные ассоциации [11, 13]: 1) анкерит-кварцевая, 2) кварц-пиритовая, 3) полиметаллическая и 4) карбонатная. Основная золотоносность связана со второй и третьей ассоциациями. Первая ассоциация состоит из кварца, анкерита и более позднего по времени выделения пирита. Отдельные индивиды пирита кубической формы имеют длину ребра до 3–5 см и более. Вторая кварц-пиритовая ассоциация состоит из кварца, пирита и незначительного количества шеелита. Количество пирита иногда превосходит присутствие кварца. Кристаллы пирита более мелкие, чем в первой ассоциации. С пиритом связано присутствие мелкого (менее 10 мкм) самородного золота высокой пробы (940–980). Отмеченное золото обеспечивает его валовое содержание в руде и метасоматитах в диапазоне 0,5–5,0 г/т [14]. В состав третьей полиметаллической ассоциации входят мелкозернистый пирит и сульфиды пирит-полиметаллически-блеклорудной и полиметаллически-сульфосольной минеральных ассоциаций (пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, айкинит, висмутин и др.). С ними ассоциируют выделения самородного золота более низкой пробы (800–900) и повышенной крупности (до 1 мм и более), заключенные в кварце, сульфидах или карбонате. Это обеспечивает уровень содержаний золота в руде до 5 г/т и более. Четвертая ассоциация карбонатного состава содержит кальцит с небольшим присутствием доломита.

В пространственном изменении отмеченных минеральных ассоциаций отмечены следующие особенности [1, 3, 4].

В южной части рудного поля располагается зона развития жил с анкерит-кварцевой ассоциацией; эта же ассоциация присутствует и на всей площади рудного поля. Севернее находится более локальная зона развития кварц-пиритовой минерализации. Еще меньшую площадь, наиболее удаленную от гранитного массива, занимают полиметаллическая и карбонатная ассоциации.

Зональность в пределах рудного поля проявляется также в изменении ряда признаков рудоносности: закономерном изменении состава блеклых руд [12]; направленном изменении размеров выделений пирита; зональном изменении строения геохимических ореолов [1]. По мнению большинства авторов, выявленная рудная и метасоматическая зональность является продуктом зонально построенного температурного поля, наведенного Шарташским массивом. Основная роль в переносе, перераспределении и аккумуляции рудных элементов отводится процессам дегазации магмы, сформировавшей этот массив.

И. Т. Самарцев [13] рассматривает проявленную зональность как температурную и многостадийную, при которой минералы каждой последующей стадии отлагались на меньшей площади и при более низких температурах. Это было обусловлено смещением центров концентрации растворов в результате остывания интрузива и утолщения его панциря. Так, минералы наиболее ранней анкерит-кварцевой ассоциации формировались при относительно высокой

температуре (по данным гомогенизации, 320–184 °С); наиболее продуктивной золото-полиметаллической – в широком диапазоне температур (384–56 °С). Растворы полиметаллической ассоциации имеют, по мнению И. Т. Самарцева, глубинное происхождение. В этом случае пространственно-генетическая связь оруденения с характером рельефа кровли большого Шарташского плутона становится уже не столь очевидной.

Выполненные в последние годы изотопно-геохимические исследования в совокупности с изучением геотермометрических РТ-условий позволили уточнить параметры флюидного режима минералообразования на Березовском месторождении [10, 14–17].

По данным доломит-кальцитовой термобарометрии, РТ-условия при формировании березитизированных пород составили: березитов – $T = 320\text{--}460$ °С, $P = 0,5\text{--}1,7$ кбар; жильной минерализации – $T = 260\text{--}360$ °С, $P = 0,20\text{--}0,33$ кбар; полиметаллической и сульфосольной минерализации со скоплениями самородного золота – $T = 150\text{--}260$ °С, $P = 0,24\text{--}0,37$ [14]. Образование пострудных карбонатных прожилков происходило при $T = 80\text{--}160$ °С, $P = 0,1\text{--}0,2$ кбар. На момент их формирования давление флюида, очевидно, соответствовало гидростатическому, что позволяет оценить глубину их формирования как 2–3 км.

При изучении флюидных включений в жильном кварце установлено, что: 1) жильные тела, сопряженные с гумбеитами, формировались при $T = 295\text{--}360$ °С и $P = 1,6\text{--}2,3$ кбар; 2) жилы, сопряженные с березит-лиственитами, формировались при $T = 255\text{--}365$ °С, $P = 3,5$ кбар [16].

Минералообразующий флюид представлял собой смесь H_2O и CO_2 с примесью CH_4 и N_2 умеренной солёности. Изотопные составы S, C, H, O гидротермальных минералов позволяют предполагать участие в минералообразующем процессе магматогенного флюида, изотопный состав которого эволюционировал в результате отделения летучих компонентов и взаимодействовал с вмещающими породами. Это свидетельствует об их магматическом происхождении, но не исключает частичного поступления из вмещающих пород [15].

Обсуждая проблемы формирования эндогенной рудной зональности, отметим, что в 1970-е и более поздние годы появились публикации, в которых утверждалось, что зональность Березовского месторождения на современном уровне изученности проблемы представляется более сложной, чем она описана Б. В. Чесноковым на основе изучения состава блеклых руд (В. Г. Богомолов, 1988; В. М. Ершов, 1977; М. С. Рапопорт и др., 1994). Геолого-генетические построения ранних периодов изучения месторождения базировались на концепции, обосновывающей появление рудных концентраций в жильных телах за счет березит-лиственитовой формации. В настоящее время установлено присутствие в рудных зонах не менее 5–6 самостоятельных рудно-метасоматических формаций: кварц-турмалиновой, калиевых пропицитов (медно-порфировой), натриевых пропицитов, гумбеитов, березит-лиственитов (С. В. Филимонов, Э. М. Спиридонов, 2001), постберезитовых слюдитов [18], аргиллизитов [18, 19]. Каждой рудно-метасоматической формации свойственен свой тип минерализации. В публикациях отмечается, что обоснование зональности на основе изучения отдельных минералов без учета полиформационности объектов не является корректным. О сложной и длительной истории формирования Березовского месторождения свидетельствуют и приведенные термобарометрические параметры флюидного режима минералообразования.

Основные результаты выполненных исследований

Результаты исследований, проведенных сотрудниками и студентами кафедры ГПР МПИ в период 1996–2001 гг., а также в более поздний период (при подготовке студентами ВКР), подтверждают полигенную и полихронную природу Березовского золоторудного месторождения.

Проведенные исследования включали:

- массовое шлиховое опробование окисленных минерализованных пород и руд на площади развития ведущих рудоносных даек; анализ пространственного размещения выявленных в этом горизонте минеральных ассоциаций;
- обобщение данных опробования по разведочно-эксплуатационным выработкам ряда горизонтов (дайкам Второ-Павловской, Елизаветинской) с целью выявления пространственного распределения основных компонентов руды – Au, Ag, Au / Ag, степени прокварцованности даек;
- обобщение материала о распространении низкотемпературных метасоматитов (аргиллизитов) в пределах Березовского рудного поля и на площадях его северного обрамления;
- составление карты (схемы) размещения химических кор выветривания на основе обобщения материалов документации колонковых скважин, пробуренных на площади рудного поля в разные годы.

Получены следующие результаты:

При минералого-геохимическом изучении окисленных рудных зон, включающих элювиально-делювиальные образования, коры выветривания, отвалы старых горных выработок в пределах рудоносных даек – Перво-, Второ-Павловской, Первоначальной, Андреевской, Соймоновской, Ивановской, а также на участках Успенская горка, Золотая горка и др. (всего 15 участков), установлено, что минеральные ассоциации зоны окисления наследуют гипогенную зональность, свойственную глубоким горизонтам месторождения [20]. Объем шлиховых проб варьировал в пределах от 3–5 до 51 dm^3 . Их изучение выполнено Л. Н. Угрюмовой и С. В. Акуловой. Установлено преимущественное распространение высокопродуктивной золото-полиметаллической ассоциации в центральной части рудного поля. Она же установлена (но более локально) и на других участках: на северном фланге – участки Первоначальный, Преображенский; на восточном – дайки Андреевская, Соймоновская; на западном – Шульгинское месторождение, дайка Калиновская.

При изучении самородного золота (выборка – более 5 тыс. золотин) отмечен ряд типоморфных особенностей металла: преобладающие кристалломорфные очертания, мелкие и тонкие классы крупности (0,05–0,25 мм, редко до 1,0 мм). Особенности морфологии, химического состава (пробности) отмечены для золота ранней пирит-кварцевой и более поздней полиметаллической ассоциаций.

Исследования характера изменчивости концентраций золота и серебра, их соотношения в продольном профиле ведущих даек позволили выявить следующие особенности.

По дайке Второ-Павловской проанализирован материал, учитывающий обобщенные результаты эксплуатационного опробования в объеме отдельных блоков на горизонтах 262, 364, 462, 512 и частично 712 (исполнитель – аспирант Д. И.

Колбасин). Учено 3320 проб по 58 блокам. Наиболее детально исследован интервал дайки между шахтами «Северная» и «Южная» длиной 2,7 км. Расчеты показали, что в районе шахты «Северная», начиная с гор. 462 вниз по падению, «серебристость руд» возрастает. Соотношение Au/Ag изменяется для отдельных горизонтов: 462 – 1,6; 512 – 1,12; 712 – 0,93. По простиранию дайки серебристость возрастает в южном направлении к выходам Шарташского массива. В районе шахты «Северная» Au/Ag – 1,26; в центре интервала между шахтами Au/Ag – 0,64; в районе шахты Южная Au/Ag – 0,40 [21].

Обобщение данных эксплуатационного опробования (с шагом в 1 м) Второ-Павловской дайки выполнено на участке, примыкающем к стволу шахты «Северная» по гор. 314 м в пределах блоков 121–100, 92–89 (по простиранию 1,7 км) и по гор. 512 м – блоки 118–105 (по простиранию 1,3 км) (исполнитель – студентка О. А. Середкина). При опробовании учитывалась степень насыщенности пород кварцево-прожилковой минерализацией. По горизонтам 314 и 512 м получены сопоставимые результаты. Золотоносность на изученном участке достаточно выдержанная, не подверженная резким колебаниям. Однако в большинстве случаев отсутствует согласованное распределение пиков значений золота и серебра как при сопоставлении единичных проб, так и по 10-метровым интервалам усреднения. Эта же особенность проявлена и при сопоставлении значений золотоносности с усредненными значениями уровня прокварцованности дайки [22].

Аналогичные результаты исследования изменчивости параметров рудоносности по дайке Елизаветинской получены при обобщении данных опробования в блоке 131 гор. 162–262 м (исполнитель – студент-дипломник Я. С. Максимов). Установлено, что согласованное распределение значений золота и серебра отмечается далеко не во всех случаях. При этом на участках совмещения пиков повышенных значений Au и Ag содержание серебра имеет более широкий диапазон распространения, нежели золота. Не коррелируются с этими данными и уровень прокварцованности пород. При сглаживании значений с использованием полинома, предложенного В. Ф. Мягковым (1984), графики аппроксимирующей функции в изменении значений Au и Ag приобретают уже сопоставимый характер (рис. 2). Отстроенные кривые аппроксимирующей функции характеризуются периодичностью, на что еще ранее обращал внимание А. П. Каллистов (1956), выделив два типа наблюдаемой изменчивости – координированную и случайную.

Ранее отмечалось [4], что максимальные значения удельной прокварцованности свойственны локальным участкам сложного геологического строения: зонам пересечения даек с поясами ранних жильных тел, тектонической нарушенности, кулисообразного выклинивания и т. д.

На полигенерационность кварцево-жильной минерализации обращено внимание в работе Х. Х. Лайпанова [18], выделившего на месторождении разновидности кварца, связанные: с пегматитами Шарташского массива; турмалин-кварцевыми жилами; сульфидно-кварцевыми жилами, сопряженными с березит-лиственитами; кварц-друзовыми полостями, сопряженными с зонами слюдитов и слюдяных березитов; халцедоновидными жильными телами, сопряженными с аргилизитами.

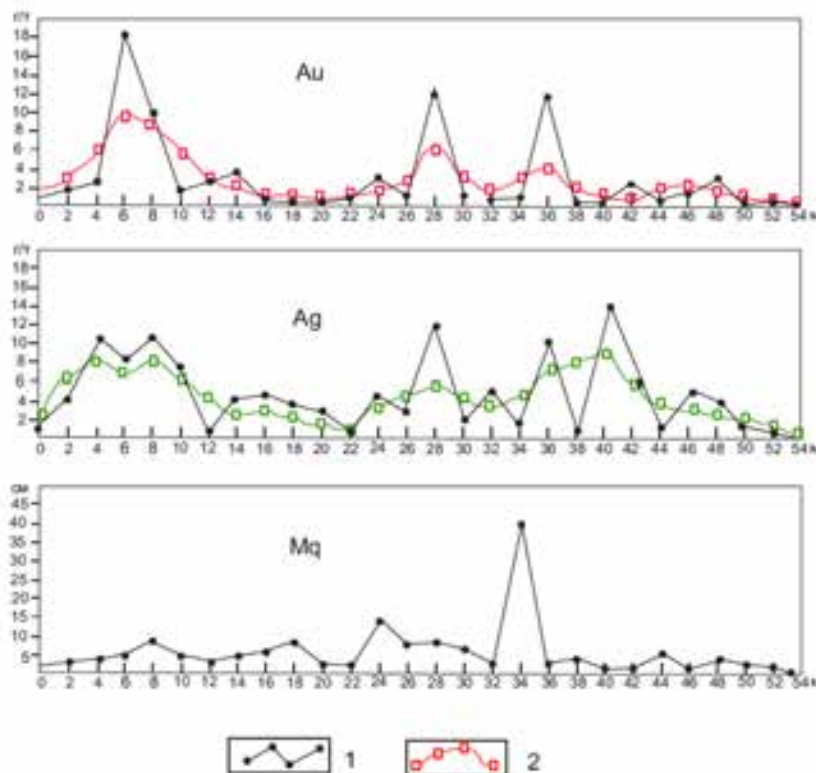


Рисунок 2. Графики пространственного распределения параметров рудоносности: золота, серебра, уровня «прокварцованности» пород Mq для 2-метровых интервалов опробования; участок дайки Елизаветинская, гор. 162 м, блок 131. 1 – исходные данные содержаний Au и Ag, г/т, уровня «прокварцованности» (см. в 2-метровых интервалах породы); 2 – графики аппроксимирующей функции для Au и Ag.

Figure 2. Graphs of the spatial distribution of ore parameters: gold, silver, the level of “quartz-flood” of rocks Mq for 2-meter sampling intervals; site of the dyke Elizavetinskaya, mount. 162 m, block 131. 1 - initial data on Au and Ag contents, g/t, level of “quartz-flood” (see in 2-meter rock intervals); 2 - graphs of the approximating function for Au and Ag.

Таким образом, приведенные материалы подтверждают ранее высказанные соображения, что эндогенная зональность месторождения представляется более сложной, нежели она освещена в публикациях и рассматривается как «классическая». Скорее всего, в окончательном виде наблюдаемая градиентная зональность сформировалась уже после охлаждения теплового поля крупного Шарташского плутона на позднепалеозойско-раннемезозойском этапе развития структуры рудного поля. Об этом свидетельствуют многочисленные признаки проявления средне-низкотемпературных метасоматитов.

По данным Ю. А. Поленова и др. [3], на площади рудного поля постколлизийными кварцево-жильными образованиями являются пиропиллитсодержащие жилы и наложенные хрусталеносные полости. Вскрытые полости нередко содержали хорошо ограненные кристаллы шеелита, пирита, галенита, ряда других минералов. Из верхних горизонтов шахт добывали образцы горного хрусталя высокого качества. Самый большой кристалл имел размер более 1 м. В настоящее время он находится в музее горного университета Санкт-Петербурга [23].

Как упоминалось ранее, для некоторых даек характерны существенные колебания уровня серебрисности руд в стране. В дайке Второ-Павловской наиболее контрастно «тренд серебрисности» проявлен на гор. 512 м. Не исключено, что появление в рудах низкопробного (серебрисного) золота связано с поздними гидротермально-метасоматическими процессами. На присутствие в рудных жилах двух типов золота (желтого и белого) обратил внимание Б. В. Чесноков еще в 1975 г. Белое золото, более позднее, порой образует каймы на раннем. Наличие серебристых кайм на поверхности самородков в жилах гор. 520 м описано В. В. Мурзиным (1987). Присутствие серебристого золота также отмечалось при разведке и разработке россыпей (Н. М. Степанов, 1950; А. И. Александров, 1961). Благодаря своеобразному латунному облику оно получило название «штейсового». Присутствие относительно низкопробного и низкопробного золота (в интервале значений 681–786) установлено при опробовании окисленных рудоносных зон ряда даек [20].

О проявлении в пределах рудного поля постколлизийных гидротермально-метасоматических изменений свидетельствует и ряд иных фактов. Рудоносность возникших при этом продуктов связана, скорее всего, с формированием поздней полиметаллической минеральной ассоциации, пространственно и генетически ассоциирующей со слюдитами, аргиллизитами. Х. Х. Лайпанов рассматривал их как пострудные образования. Однако уровень золотонности этих «глинизированных» пород к настоящему времени достоверно не оценен. Скорее всего, участкам развития поздней полиметаллической ассоциации будет свойственно присутствие самородного золота мелких и тонких классов при общем невысоком уровне концентрации благородных металлов.

В составе поздней полиметаллической ассоциации, помимо самородного золота, возможно присутствие галенита поздней генерации (с содержанием Ag до 2,6 %), серебросодержащих блеклых руд (Ag до 3–5 %) [17], серебро-висмутсодержащего минерала – матильдита (Ag BiS₂) [10]. Характеризуя присутствие матильдита в полиметаллических месторождениях, П. Рамдор (1962) рассматривает этот минерал как пограничное образование, возникшее при низких температурах (до 225 °С). Выше этого значения взаимная растворимость матильдита и галенита очень велика.

С поздними гидротермально-метасоматическими процессами, возможно, связаны находки гоаяцита (фосфата стронция – SrAl₃(PO₄)(PO₃OH)(OH)₆, встреченного вместе с пиритом в рассекающих березит кварцевых прожилках шахты «Центральная» (С. Г. Суставов и др., 2017). О низкотемпературных условиях кристаллизации гоаяцита можно судить лишь косвенно. Впервые этот редкий минерал, относящийся к структурному типу алунига, установлен Н. В. Рентгарденом в нижнемеловых беликовых отложениях Троицко-Байновского месторождения каолиновых глин.

О проявлении постколлизийных (мезозойских) рудообразующих процессов также свидетельствуют и другие наблюдения.

На восточном фланге рудного поля среди стратифицированных вулканогенно-осадочных пород выявлены горизонтально располагающиеся геохимические ореолы золота и серебра, пространственно ассоциирующие с Cu, Zn, Pb, As, Co (И. А. Субботин, 1989). Поисковой оценки на благородные металлы эти аномалии к настоящему времени не получили.

В восточном обрамлении Благодатского рудного поля (располагающемся севернее Березовского месторождения), в зоне Мурзинского регионального разлома выявлен обширный линейно вытянутый ореол пирит-арсенопиритовой минерализации, сопряженной с метасоматитами аргиллизитовой формации (В. В. Александров и др., 2017). Геохимический спектр представлен ассоциацией элементов As–Ag–Zn–Cu–W–Bi–Au. Ранее (по геологосъемочным материалам) этот разлом рассматривался как «сухой» (безрудный).

В северной части Сысертско-Первомайского блока на площади Верхотурского участка известно оруденение золото-сульфидно-кварцевого типа, приуроченное к небольшому телу гранодиоритов, прорывающему Первомайский базит-ультрабазитовый массив. Этот массив рассматривается как крупное плитообразное тело протрузивной природы, пространственно связанное с региональным Верхисетским разломом и перемещенное на коллизийном этапе в восточном направлении, заняв субгоризонтальное положение (Д. А. Двоеглазов и др., 1987). В восточном эндоконтакте гранодиоритового тела выявлен линейный субштокверк с системой маломощных кварцевых прожилков. Оруденение ассоциирует с золото-полиметаллической ассоциацией в зонах развития метасоматитов пропилитовой и березит-лиственитовой формаций (Г. А. Букрин и др., 1991). В локальных секущих диагональных зонах развиты аргиллизиты серицит-гидро-слюдистого состава. Самородному золоту этих зон свойственны признаки малоглубинности: мелкие и тонкие классы крупности, наличие сложных комбинаций мелких кристаллов, присутствие скелетных и расщепленных кристаллов, зональное строение зерен, относительно низкая проба – от 700 до 500 в отличие от металла березит-лиственитовой формации – 800–950.

На сопряженность процессов гипогенной и гипергенной минерализации в карбонат-кварцевых жилах Березовского месторождения обращено внимание в работе [24]. Материал получен на основе детального изучения образцов кварца параллельно-шестоватого строения («книжной» текстуры), отобранных из жил Ушаковского карьера (северо-восточный фланг рудного поля). Описан механизм формирования подобного типа текстур – неоднократное приоткрывание трещин в жильных телах, сопровождавшееся заполнением полостей минеральными продуктами как эндогенной природы (преимущественно пиритом), так и экзогенной: гетитом – за счет окисления пирита; гетит-магнезит-гидро-слюди-

стым агрегатом – за счет материала лиственитов с образованием гипергенных овоидов. При последующих импульсах тектонической активности установлено срезание гипергенных овоидов зальбандами жил. Подобное явление растаскивания овоидов из вмещающих пород растущим жильным агрегатом ранее наблюдали Дж. Рэмси и М. Хабер [25].

На основе обобщения материала структурно-разведочных скважин (более 60), пройденных в разные годы в пределах Березовского рудного поля, составлена схематическая карта кор выветривания, приведенная в работе [21]. Окисленные руды в пределах золотосодержащих даек представляют самостоятельный технологический тип, промышленное освоение которого возможно с использованием современных технологий.

Идея селективной отработки окисленных руд в пределах рудоносных зон месторождения обсуждалась неоднократно. В 1933 г. Свердловским горным институтом был даже составлен проект на отработку всей территории г. Березовского карьером глубиной 30 м со сносом всех домов того времени. Предполагалось, что «золото в г. Березовском есть везде» [23]. Поисково-оценочные работы по переоценке зоны окисления в северной части дайки Второ-Павловской, выполненные в 2015–2017 гг., однако не дали положительных результатов. Причинами, скорее всего, являются: высокий уровень техногенной освоенности (выработанности) оцененного участка, вскрытого разведочными горными выработками лишь до глубины 10–12 м; общий невысокий уровень первичной золотоносности участка; недостаточная метрологическая обоснованность опробования техногенно нарушенных пород наклонными скважинами колонкового бурения.

Работы по переоценке перспектив зоны окисления Березовского месторождения заслуживают своего продолжения.

Выполненные автором палеогеоморфологические реконструкции позволили выделить на площади Березовского рудного поля фрагменты мезозойского (позднеюрско-мелового) пенеплена, зафиксированного чехлом химических кор выветривания значительной мощности (до 37–57 м и более). Элементы субгоризонтальной поверхности пенеплена тяготеют к периферии рудного поля и имеют абсолютные отметки 270–280 м при сохранившемся полном профиле коры [21]. Определились два участка с максимальными значениями сохранившегося мезозойского элювия. Первый – северный участок – приходится на дайку Перво- и Второ-Павловскую, Андреевскую, Рождественскую и более мелкие. Второй – южный участок – располагается южнее шахты «Южная». Включает узел пересечения даек диагональной и меридиональной ориентировки (дайки Самобытная, Ильинская, Елизаветинская и др.).

При поисковой оценке северного фланга дайки Второ-Павловский в канавах были вскрыты тонкодисперсные глинистые породы светло-серых и белых тонов каолинит-гидролюдистого состава. Возможна их полигенная природа, обусловленная пространственной совмещенностью процессов аргиллизации и химического выветривания.

Сопоставление характера современного рельефа с гипсометрическим палеоуровнем позднемезозойского пенеплена позволило ориентировочно определить уровень эрозионного среза за кайнозойский период. По долине р. Березовки, эродирующей золотосодержащие породы центральной части рудного поля, этот срез мог достигать 25–30 м. По палеодолине (начиная с неогена) осуществлялся транспорт обломочного материала и свободного золота на север в долину р. Пышмы, что способствовало формированию в ее пределах богатой и протяженной россыпи. Таким образом, в мезозое и кайнозое завершилось преобразование Березовского рудного поля; оно приобрело статус рудно-россыпного.

Проблемы изучения глубинного строения золотосодержащих рудных полей и месторождений

Согласно опубликованным материалам [1, 3–5, 13], Березовское месторождение рассматривается как золоторудный объект кварцево-жильного типа, имеющий уникальную геолого-структурную позицию. Обоснована рудогенерирующая роль интрузивного магматизма в формировании оруденения. Развитие минерализации явилось следствием многократного проявления анатексиса, связанного с процессами ранней и поздней коллизии, приведшего к возникновению плутона гранитоидов и тесно с ним ассоциирующих даек пестрого состава. Последние содержат крутопадающие золото-сульфидно-кварцевые жилы. Предложенная геолого-генетическая модель (по мнению упомянутых авторов) позволяет использовать ее при прогнозировании объектов подобного типа в пределах территории Урала.

В то же время следует обратить внимание на частое совместное нахождение интрузивных тел гипербазитового и гранитоидного состава во многих рудно-россыпных районах Урала. Приведем лишь наиболее известные примеры.

Средний Урал: месторождения Благодатское, Первомайско-Зверевское, Быньговское, Долгий Мыс и Витимское, Крылатовско-Чесноковское, рудопроявления в пределах Мраморской площади Полевского района и т. д.

Южный Урал: объекты Миасского района – Крулгогорское, Золотая гора, гора Лысая и Мурашкина, Мечниковское, рудопроявления типа «змеевичных жил» и т. д.; объекты на иных площадях – Кировское (золото-хлораптитовое), Айдырлинское, Джетыгаринское и др.

Упомянутым золоторудным объектам свойственны индивидуальные структурно-вещественные особенности, пространственные и временные соотношения интрузивных комплексов пород. Кроме того, масштаб их несопоставим с Березовским месторождением. Своеобразие и уникальность Березовского месторождения заключается, по мнению автора, в том, что его следует рассматривать в ранге крупного золоторудного объекта, обладающего совокупностью индивидуальных признаков.

По мнению В. В. Авдонина (2000) и А. Д. Щеглова (1996), крупные и уникальные месторождения цветных и благородных металлов являются продуктами тех же процессов, что и создают обычные месторождения. При этом генетические процессы в них проявляются в индивидуальных и оптимальных сочетаниях. Этим объектам обычно свойственен полигенный и полихронный характер рудообразования с очевидным участием мантийного рудного вещества. По образному выражению одного из исследователей, «крупные и сверхкрупные месторождения своими корнями уходят в верхнюю мантию».

Опыт составления региональных геологических карт нового поколения показывает [26, 27], что эмпирические связи магматизма и оруденения, проявленные на уровне современного эрозионного среза, во многих случаях уже исчерпали себя. В подавляющей части ситуаций они не помогают выделению не только металлогенических таксонов разного ранга, но и не приближают исследователей к обнаружению руды. Масштабное рудообразование обычно несет черты коровых и мантийных процессов. Поэтому при разработке прогнозно-поисковых комплексов не обойтись на современном этапе без учета данных, характеризующих глубинное строение оцениваемых площадей.

Обобщение геофизического материала по площади Березовского рудного роля приведено в работе В. О. Коньшева [28]. В ней предложена возможная модель глубинного строения Среднего Урала, отражающая распределение масс горных пород в земной коре. Томографический разрез гравитационного поля, построенный по методу «Гравискан», проходит через Шарташский гранитоидный массив и Березовское месторождение. При моделировании глубинного строения обращено внимание на участок плотных масс, оконтуренных изолинией +6 мГл. Он напоминает диапироподобное тело грибообразной формы, протыкающее и деформирующее земную кору от подошвы до дневной поверхности. Нижняя линза плотного тела шириной 80 км и толщиной 25 км сформирована на границе верхней мантии и гранулит-базитового слоя (поверхности Мохо) (рис. 3). Отмечен возможный состав диапира (шпинелевые клинопироксениты, перидотиты, диопсидовые пироксениты и др.). Учитывая высокую плотность нижнего слоя диапира, превышающую таковую верхней мантии, автор упомянутой публикации предполагает возможную астеносферную природу прогнозируемого тела и рассматривает его как астенолит. Под Березовским месторождением зафиксирована высокоградиентная область подъема плоскости кровли диапира с глубины 40 до 5–7 км. Месторождение приурочено к самой узкой поперечной части астенолита.

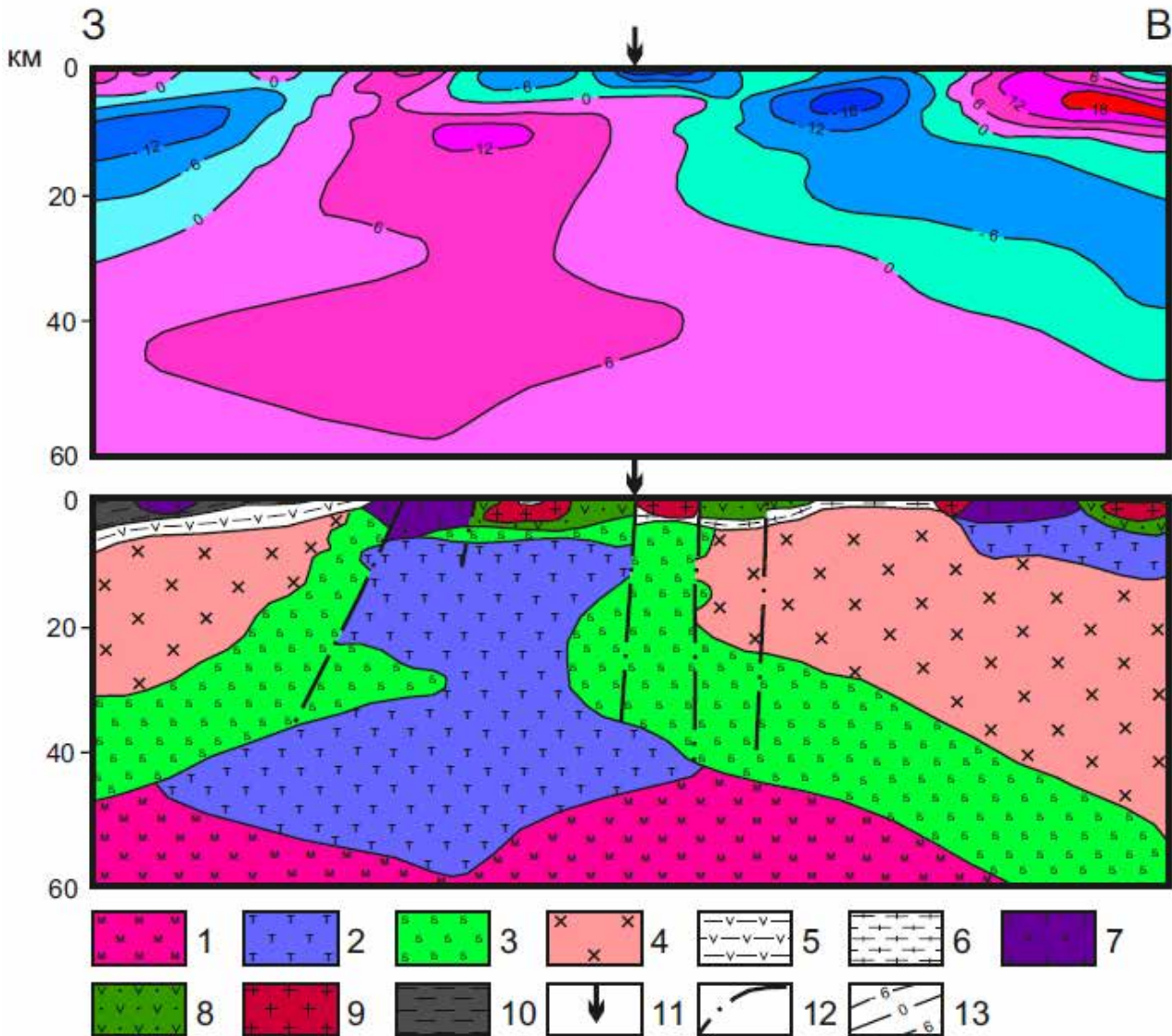


Рисунок 3. Широтный томографический разрез гравитационного поля Урала через Березовское месторождение и схема его геологической интерпретации, по [28]. 1 – современная верхняя мантия; 2 – астенолит; 3 – гранулит-базитовый слой земной коры; 4 – гранито-метаморфический слой земной коры; 5 – рифтогенные комплексы рифея и раннего палеозоя Центрально-Уральского поднятия; 6 – доордовикские метаморфические породы Восточно-Уральского поднятия; 7 – офиолитовые комплексы и базальтоидные формации; 8 – вулканогенно-осадочные формации морских прогибов, заложенных на гранулит-базитовом слое и редуцированных над астенолитом; 9 – гранитоидные массивы; 10 – шельфовые отложения и верхнепалеозойские молассоиды; 11 – проекция Березовского месторождения на линию разреза; 12 – глубинные разломы, в том числе, трансформные; 13 – изолинии гравитационного поля, рассчитанные по методу «Гравискан», мГл.

Figure 3. lateral tomographic section of the gravitational field of the Urals through the Berezovskoye deposit and the scheme of its geological interpretation, according to [28]. 1 - modern upper mantle; 2 - asthenolite; 3 - granulite-mafic layer of the earth's crust; 4 - granite-metamorphic layer of the earth's crust; 5 - riftogenic complexes of Riphean and Early Paleozoic of the Central Ural uplift; 6 - pre-Ordovician metamorphic rocks of the East Ural uplift; 7 - ophiolite complexes and basalt formations; 8 - volcanic-sedimentary formations of marine downfold embedded on a granulite-mafic layer and reduced over asthenolite; 9 - granitoid massifs; 10 - shelf deposits and Upper Paleozoic molassoids; 11 - projection of the Berezovskoye deposit on the section line; 12 - deep faults, including transform ones; 13 - contours of the gravitational field, calculated using Graviscan method.

Предложенная В. О. Коньшевым модель глубинного строения Среднего Урала, к сожалению, не получила публичного обсуждения. Возможно, что новые накапливающиеся сведения по глубинному строению территории позволят ее подтвердить (или опровергнуть), либо уточнить и детализировать.

Оригинальная точка зрения, объясняющая геолого-структурную позицию Березовского рудного поля, предложена Г. Н. Кузовковым [5]. Локализация золотого оруденения в рудном поле обусловлена, по его мнению, наличием Шарташской вихревой структуры (ШВС), где заметную роль играют кольцевые (дуговые) разломы (рис. 1). Спиралевидное строение структуры, достигающей в поперечнике 20 км, отчетливо проявлено многочисленными телами метагипербазитов, располагающимися вдоль спиралей. Они служат маркерами, отражаясь в локальных положительных аномалиях магнитного поля. Совокупность этих тел представляет Пышминско-Березовский гипербазитовый массив – бескорневое пластообразное тело протрузивной природы. Г. Н. Кузовков рассматривает формирование ШВС с позиций импактной гипотезы. Однако эту точку зрения не разделяют соавторы карты листа 0-41-XXV (Д. А. Двоеглазов и др.). Они рассматривают ШВС и иные выявленные на карте структурные элементы (дуговые, кольцевые) как эндогенные образования.

Согласно литературным данным [29, 30, 31], к вихревым относятся структуры спиралевидных, дугообразных и эксцентричных кольцевых форм, возникшие при вращательных (ротационных) усилиях. Механизм вращения объясняется поворотом микроплит при коллизии крупных литосферных плит или вращением небольших монолитных блоков при деформациях сдвигового типа вдоль границ крупных блоков. Структуры с вихревой (спиралевидной) морфологией нередко контролируют положение уникально крупных месторождений. Вихревые структуры, как и кольцевые, наблюдаются на поверхности Земли в огромном количестве.

При оценке глубинного строения рудоносных структур рекомендуется задействовать аэрокосмические (космоструктурные) критерии и наземные геолого-геофизические [26]. Дистанционные методы позволяют обосновывать космоструктурные критерии условий локализации золоторудных полей и месторождений. Некоторые примеры отражены на рис. 4, 5.

Месторождение Мурунтау находится во внешнем поясе кольцевых структур сложного строения в узле пересечения субмеридиональных разломов и субширотных пологих дуг (рис. 4). Месторождение контролируется кольцевой структурой диаметром 22 км, осложненной локальными зонами разломов северо-западного и северо-восточного направлений [32].

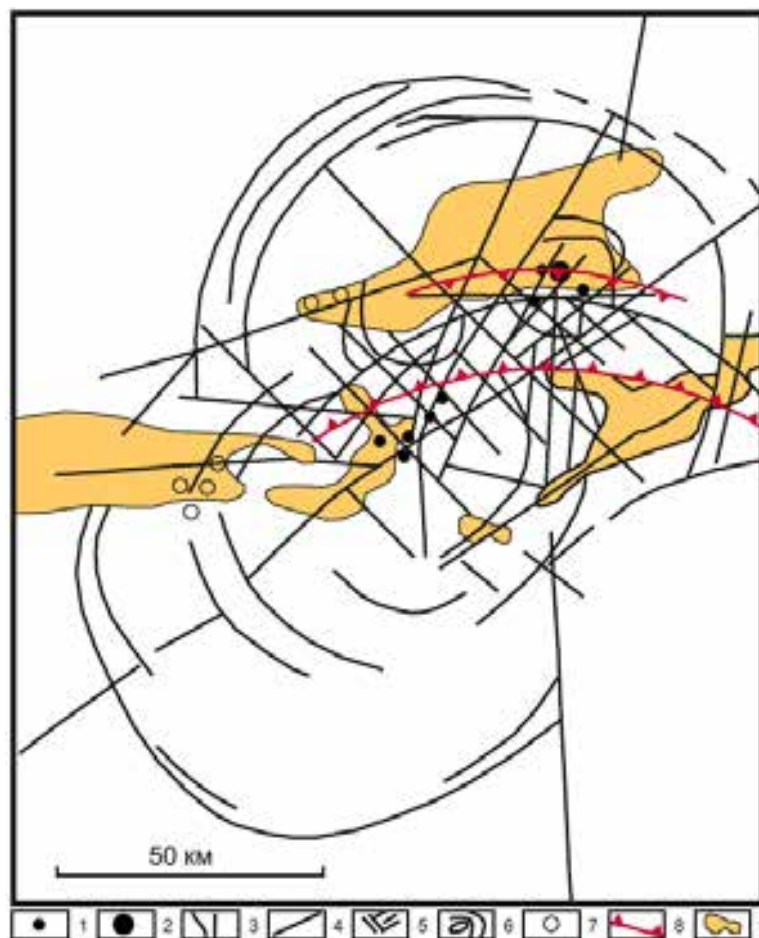


Рисунок 4. Космоструктурная модель золоторудного района Мурунтау (Узбекистан), по [32]. 1 – золоторудные, золото-серебряные рядовые месторождения; 2 – уникальное месторождение Мурунтау; 3–5 – зоны транзитных разломов: 3 – главные линейные, 4 – второстепенные, 5 – зоны локальных рудоконтролирующих разломов; 6 – кольцевые структуры; 7 – рудопоявления золота; 8 – границы ступенчатого грабена (рифта); 9 – выходы пород палеозойского фундамента на поверхность.

Figure 4. Cosmic structural model of the gold ore region of Muruntau (Uzbekistan), according to [32]. 1 - gold ore, gold-silver ordinary deposits; 2 - unique Muruntau field; 3-5 - zones of transit faults: 3 - main linear, 4 - minor, 5 - zones of local ore-controlling faults; 6 - ring structures; 7 - ore occurrences of gold; 8 - boundaries of the stepped graben (rift); 9 - rocks yields of the Paleozoic basement.

Золотоносная провинция Абитиби (Канада) также характеризуется подобными кольцевыми структурами и осложняющими их разломами (рис. 5). Все золоторудные объекты локализованы во внешнем поясе сложной кольцевой структуры и находятся на пересечении линейных рифтогенных разломов северо-западного и субширотного направлений. Сами месторождения приурочены к более мелким кольцевым структурам (15–20 км). В их пределах отмечены проявления мантийного магматизма.

Опыт использования космоструктурного критерия при прогнозировании условий локализации золоторудных полей и месторождений применительно к уральской провинции пока крайне ограничен. В публикациях М. С. Рапопорта (1998, 1999, 2001) отмечается, что при прогнозно-поисковой оценке площадей на золото основное внимание традиционно обращалось на меридиональные и широтные разрывные нарушения и особенно на узлы их пересечений. В то же время региональные геолого-геофизические исследования позволили во многих случаях отметить ведущую роль кольцевых и вихревых структур в размещении месторождений и рудопроявлений золота. Сказанное отражено на составленной мелкомасштабной карте морфоструктур аномального гравитационного поля Среднего и Южного Урала, совмещенной с картой размещения золоторудных объектов [33].

На северном продолжении ШВС в пределах того же рудовмещающего блока, ограниченного глубинными разломами, известны Благодатское и Первомайско-Зверевское рудные поля, где зафиксировано присутствие кольцевых и дуговых локальных структур.

На площади Воронцовско-Ауэрбаховского рудного района на крупномасштабной карте морфоструктур аномального гравитационного поля отчетливо зафиксирована кольцевая структура, вмещающая Воронцовское золоторудное месторождение. Рудничной геологической службой она рассматривается как вулcano-тектоническая, представляющая собой «вулкан над интрузией». Месторождение приурочено к системе тектонических нарушений, являющихся фрагментами кольцевых кальдерных разломов. Они возникли в результате просадки известняков фроловско-васильевской толщи над магматическим очагом.

Заключение

Березовское месторождение – одно из крупных эксплуатируемых месторождение коренного золота. С его открытием и последующей разработкой связано начало становления золотодобывающей промышленности страны. В свою двухсотлетнюю годовщину (1947) месторождение являлось крупнейшим по запасам в СССР.

За длительный период разведки и эксплуатации месторождения собран огромный фактический материал по минералогии, геологии, структурным условиям локализации оруденения. Он получил отражение в многочисленных производственных отчетах, публикациях, затрагивающих различные аспекты формирования месторождения.



Рисунок 5. Космоструктурная модель золоторудной провинции Абитиби (Канада), по [32]. Месторождения. 1 – Тимминс; 2 – Поркьюпайн; 3 – Айварис; 4 – Холтар; 5 – Мак-Дермот; 6 – Керк-Кенд; 7 – Керр-Эдисон. Другие условные обозначения на рис. 4.
Figure 5. Cosmose structural model of the gold ore province of Abitibi (Canada), according to [32]. Deposits. 1 - Timmins; 2 - Porkupine; 3 - Ivaris; 4 - Holtar; 5 - McDermot; 6 - Kirk-Kend; 7 - Kerr-Edison. Other symbols are in Figure 4.

Обобщение собранного материала позволило обосновать полигенную и полихронную природу кварцево-жильного оруденения объекта и предложить геолого-генетическую модель формирования месторождения. Сказанное отражено в последних обобщающих публикациях [3, 4], где ведущая роль в образовании месторождения отведена интрузивным комплексам дунит-гарцбургитовой, габбровой, тоналит-гранодиоритовой и гранитной формаций. Большинство из них рассматриваются как рудогенерирующие. Проявленная в пределах рудного поля зональность (рудная, метасоматическая) является продуктом зонально построенного теплового поля, наведенного Шарташским массивом. Ведущая роль в переносе и аккумуляции рудных элементов отведена процессам дегазации магмы, сформировавшей массив.

В 1970-е гг. появились публикации, где отмечалось, что проявленная на месторождении рудно-метасоматическая зональность представляется более сложной, чем это отмечалось ранее, и рассматривается как «классическая». Подтверждением явилось выделение в пределах рудоносных зон метасоматитов широкого температурного диапазона формирования (от кварц-турмалиновых пород и гумбеитов до аргиллизитов), характеризующихся своим набором минеральных ассоциаций.

Обобщение материала, собранного сотрудниками и студентами кафедры ГПР МПИ в период 1996–2001 гг. и в более поздние годы, а также результатов опробования разведочно-эксплуатационных выработок отдельных горизонтов ведущих даек; ознакомление с отчетами и фондовыми материалами подтверждает концепцию полигенной и полихронной природы Березовского месторождения и позволяет обратить внимание на ряд актуальных проблем. Выполненные исследования позволяют отметить следующее:

1. По результатам шлихового опробования окисленных пород рудоносных даек установлено, что выявленные минеральные ассоциации достаточно надежно наследуют гипогенную зональность, свойственную глубоким горизонтам месторождения.

2. При обобщении результатов опробования отдельных разведочно-эксплуатационных горизонтов ряда даек (Второ-Павловской, Елизаветинской) отмечено отсутствие согласованного распределения значений золота, серебра и их соотношения с уровнем прокварцованности рудоносных зон. Это свидетельствует, по мнению автора, в пользу длительной истории формирования рудоносности.

3. По дайке Второ-Павловской установлено возрастание «уровня серебртости» руд в южном направлении при приближении к выходам Шарташского массива и с глубиной. Это может быть связано с проявлением в рудоносных зонах поздней полиметаллической ассоциации.

4. На основе обобщения материала структурно-разведочных скважин прошлых лет составлена схематическая карта размещения химических кор выветривания в пределах Березовского рудного поля. Карта может быть взята за основу при проектировании работ, связанных с переоценкой перспектив рудоносности верхних горизонтов месторождения.

Уникальность Березовского месторождения заключается в его статусе золоторудного объекта крупного масштаба. Особенности подобных объектов (по сравнению с рядовыми) проявляются в оптимальном сочетании (во времени и пространстве) ряда рудоконтролирующих факторов.

Важнейшим фактором, повлиявшим на формирование уникальной структуры Березовского месторождения, является фактор глубинности зарождения и функционирования рудообразующих процессов. По мнению ряда исследователей (А. Ф. Коробейников, А. И. Гусев и др.), выявление крупных по запасам месторождений возможно при совмещенности рудообразующих систем – глубинной магмо-термофлюидно-динамической и коровой гранитоидно-гидротермально-метасоматической. Признаками глубинности формирующихся структур являются особенности формы их проявления: вихревой, спиралевидной, фрагментов структур и сложных сочетаний (кольцевых, дуговых и т. д.). Исследования последних лет показали [32], что роль этих структур в контроле размещения месторождений может быть значимой и даже ведущей. Признаком разбраковки подобных структур, их отличием от импактных могут быть выявленные в зоне гипергенеза минералого-геохимические ореолы сопутствующих оруденению типоморфных химических элементов и золотопродуктивных минеральных ассоциаций, а также компактные ореолы развития россыпей золота. Все эти признаки проявлены на площади Березовского рудного поля.

К 275-летию открытия Березовского золоторудного месторождения – старейшего золотодобывающего предприятия Урала.

Исследования проводились при частичной поддержке госбюджетной темы 5. 4667.2011 (Г-3, УГГУ), руководитель – д-р геол.-минерал. наук В. Н. Огородников.

Автор выражает глубокую благодарность руководству золотодобывающего предприятия ООО «Березовское рудоуправление» – Ф. М. Набиуллину, А. Н. Трошкиной и другим сотрудникам за помощь и содействие в выполнении работы. Также благодарит доцента кафедры ГПР МПИ П. Л. Бурмако за помощь в оформлении иллюстраций.

В изучении Березовского золоторудного месторождения принимал активное участие профессор кафедры ГПР МПИ Александр Николаевич Урюмов. Тяжелая болезнь и преждевременная кончина (03.02.2016) не позволили ему закончить запланированные исследования и реализовать намеченные планы, связанные с изучением уникального уральского золоторудного месторождения... Светлая ему память.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Поленов Ю. А. Березовское рудное поле // Изв. вузов. Горный журнал. 1994. № 6. С. 147–155.
2. 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.
3. 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.
4. Бабенко В. В., Поленов Ю. А., Огородников В. Н. Роль интрузивного магматизма в генезисе Березовского золоторудного месторождения (Средний Урал) // Изв. УГГУ. 2016. № 1. С. 39–49.

5. Кузовков Г. Н., Двоеглазов Д. А., Вагшаль Д. С. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Сер. Среднеуральская. Лист 0-41-XXV: объяснит. записка. Свердловск: УГСЭ, 1987. 167 с.
6. Бородаевский Н. И., Бородаевская М. Б. Березовское рудное поле. М.: Metallurgizdat, 1947. 264 с.
7. Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Коротеев В. А. и др. Месторождения золота Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. 622 с.
8. Рапопорт М. С., Бабенко В. В., Болтыров В. Б. Березовское золоторудное месторождение // Изв. вузов. Горный журнал. 1994. № 6. С. 86–96.
9. Беллавин О. В., Вагшаль 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.
10. Викентьева О. В. Березовское золоторудное месторождение на Урале: геологическое строение, минералого-геохимические особенности и условия образования: дис... канд. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 2000. 26 с.
11. Кутюхин П. И. Условия локализации оруденения в жилах Березовского месторождения // 200 лет золотой промышленности Урала. Свердловск: Изд-во УФАИ СССР, 1948. С. 249–275.
12. Чесноков Б. В. Эндогенная зональность Березовского рудного поля на Среднем Урале // ДАН СССР. 1973. Т. 210, № 4. С. 915–917.
13. Самарцев И. Т., Захваткин В. А., Казимирский В. Ф. и др. О зональности Березовского золоторудного месторождения на Среднем Урале // Геология рудных месторождений. 1973. № 1. С. 110–117.
14. Мурзин В. В., Семенкин В. А., Сазонов В. Н. и др. Продуктивные минеральные ассоциации и РТХ – условия их формирования в рудах с различными формами золота (на примере некоторых месторождений Урала) // Проблемы геологии и разведки месторождений золота, извлечения благородных металлов из руд и отходов производства: материалы междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГГГА, 1999. С. 26–27.
15. Викентьева О. В., Бортников Н. С., Мурзин В. В. и др. Флюидный режим минералообразования на Березовском золоторудном месторождении // Ежегодник-1999 ИГиГ: информ. сборник науч. трудов. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. С. 224–227.
16. Бакшеев И. А., Беляцкий Б. В., Устинов В. И. и др. Условия формирования турмалиновой минерализации Березовского золоторудного месторождения, Средний Урал, Россия (по минералогическим и изотопно-геохимическим данным) // Геохимия. 2002. № 7. С. 700–706.
17. Филимонов С. В. Минералы блеклых руд – индикаторы рудогенеза (на примере гидротермальных месторождений): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 2009. 25 с.
18. Лайпанов Х. Х. Минералого-петрографические и геохимические особенности гидротермально-метасоматических образований Березовского золоторудного месторождения (Средний Урал): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: ЦНИГРИ, 1973. 24 с.
19. Баранников А. Г. Гипогенно-гипергенный тип золотого оруденения на Урале // Изв. УГГГА. 1998. Вып. 8. С. 94–99.
20. Дворник Г. П., Баранников А. Г., Угрюмов А. Н. и др. Минеральные ассоциации и типоморфные особенности самородного золота зоны гипергенеза Березовского месторождения // Вестник Уральского отделения Российского минералогического общества. Екатеринбург: УГГГА, 2002. № 1. С. 16–22.
21. Баранников А. Г., Баталин А. С., Угрюмов А. Н. и др. О перспективах повторного промышленного освоения зоны гипергенеза Березовского золоторудного месторождения // Изв. УГГГА. 2001. Вып. 13. С. 153–163.
22. Баранников А. Г., Колбасин Д. И., Середкина О. А. и др. О характере пространственного распределения золота и серебра в дайке Второ-Павловской Березовского золоторудного месторождения // Научные основы и практика разведки и переработки руд и техногенного сырья с извлечением благородных металлов: труды междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГГГА, 2002. С. 18–23.
23. Земских В. Е. Золото и люди Березовского рудника. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. 249 с.
24. Старицина И. А. Сопряжение гипо- и гипергенной минерализации в сложных карбонат-кварцевых жилах Березовского месторождения золота (Средний Урал) // Металлогения древних и современных океанов-2004. Миасс: ИМИН УрО РАН, 2004. Т. II. С. 39–43.
25. Ramsay I. G., Huber M. I. The Techniques of Modern Structural Geology. London: Academic Press, 1987. Vol. 1, 2. 700 p.
26. Коробейников А. Ф. Мантийно-коровые рудообразующие системы комплексных месторождений благородных и редких металлов. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. 130 с.
27. Гусев А. И., Коробейников А. Ф. Мантийно-коровое взаимодействие в генерации различных типов оруденения: геофизический и петрологический аспекты // Изв. ТПУ. 2009. Т. 315, № 1. С. 18–25.
28. Кобышев В. О. Возможная модель геологического развития Среднего Урала // Руды и металлы. 1999. № 4. С. 46–60.
29. Арсеньев В. А., Корчуганова Н. И. Вихревые структуры континентов: новые аспекты строения, условия образования, металлогеническое значение (на примере юго-востока Канадского щита) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2000. № 4. С. 134–138.
30. Арсентьев В. А., Энрикеш Э. Вихревая мегаструктура бассейнов рек Конго и Окованго и связь с ней алмазности территорий // Руды и металлы. 2003. № 1. С. 28–33.
31. Yu Zhihong, Lin Zhongping, Wan Defang, Fu Zijie. Tectonic Map of the Linear structures of the Territory of China (by Using of the Satellite Images). Sc. 1:6000000 / Ch. Ac. of Geol. Sci. Beijing: Cart. Publ. House, 1981. 19 p.
32. Перцев А. В., Гальперов Г. В., Антипов В. С. и др. Космоструктурные критерии локализации рудных гигантов // Отечественная геология. 1999. № 6. С. 17–21.
33. Рапопорт М. С., Рудица Н. И. Роль кольцевых и вихревых разрывных структур в контроле золотого оруденения на Урале // Проблемы геологии и разведки месторождений золота, извлечения благородных металлов из руд и отходов производства: материалы междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГГГА, 1999. С. 41–43.

Статья поступила в редакцию 17 сентября 2019 года

Berezovskoye gold deposit: problems of formation and further study

Alexander Grigoryevich BARANNIKOV*

Ural State Mining University, Russia, Ekaterinburg

The relevance of the work is due to the need to identify and clarify the factors of ore genesis at a large quartz-vein Berezovskoye gold ore deposit. The identified factors should contribute to the development of criteria for forecasting mineralization of this type in the Urals.

Purpose of the work: identification of regularities of noble metal mineralization placement (Au, Ag) within the leading dikes based on mineralogical and geochemical studies of the oxidized yields of ore-bearing rocks; summarizing the results of testing exploration and development workings using the Vtoro-Pavlovskaya and Elizavetinskaya dikes as an example; refinement of the geological and genetic model of the field, taking into account new data.

Methodology of the study: charting the yields of gold-bearing rocks using the mineral concentrate study method; processing the results of testing ore-bearing dikes; generalization of the results of previous geological, geophysical and exploration work; study of the area distribution of chemical weathering crusts.

Results. The geological structure of the deposit is considered: uniqueness of geological and structural position; leading intrusive complexes, their ore-controlling importance; mineralogical and geochemical zonation of localization of mineralization; parameters of the fluid regime of ore-forming systems. It is determined: mineral associations of oxidized ore-bearing zones inherit the hypogenic zonality of deep horizons of the deposit; the distribution of concentration levels of gold and silver according to the testing of exploratory operational drifts is not consistent with each other; these data do not correlate with the level of quartz-flooded rocks; along the dyke of the Vtoro-Pavlovskaya, an increase in the level of silverness of the ores was noted in the southerly direction when approaching the Shartashsky massif of granitoids. In its final form, endogenous gradient zonality was formed after cooling of the thermal field of the massif in connection with occurrences of superimposed medium-low temperature hydrothermal-metasomatic processes at the post-collision development stage. It is recommended to continue work on assessing the prospects of gold content in the oxidation zone; it is possible to identify mineralization of a hypogenous-hypergenic type.

Conclusions. The formation of a large Berezovskoye deposit is determined by a combination of ore-controlling factors. One of the leading factors is the depth of formation of the ore-localizing structure. This is justified by the confinement of the ore field to the vortex type structure, as well as by geophysical materials for the deep structure of the earth's crust, accumulated by isotope-geochemical data. It is recommended that when conducting forecasting and prospecting for gold within the promising areas of the Ural region, close attention should be paid to assessing the ore content of vortex and ring structures.

Keywords: Berezovskoye deposit, gold, intrusive complexes, dikes, oxidation zone, mineral associations, vortex structures, weathering crusts, mineral concentrate study.

To the 275th anniversary of the discovery of Berezovskoye gold deposit, the oldest gold mining enterprise in the Urals.

The research was carried out with partial support of the state budget theme 5. 4667.2011 (G-3, UGGU), Dr., Prof. V. N. Ogorodnikov.

The author is most grateful to senior executives Nabiullin F.M., Troshkina A.N. and some others of OOO Berezovskoye Rudoupravlenie gold-mining company for their assistance during performing this work.

The author also thanks Burmako P.L. the Associate Professor of the Department of Exploration geology and mineral deposits for his help in the preparation of figures.

Professor of the Department of GPR MPI Alexander Nikolayevich Ugryumov took an active part in the study of the Berezovskoye gold Deposit. Severe illness and premature death (03.02.2016) did not allow him to finish the planned research and implement the planned plans related to the study of the unique Ural gold Deposit ... he will forever remain in the history of science and our hearts.

REFERENCES

1. Sazonov V. N., Ogorodnikov V. N., Polenov Yu. A. 1994, Berezovskoye ore deposit. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], No 6, P. 147-155. (In Russ.)
2. Kuzovkov G. N., Dvoeglazov D. A. 2002, On the asthenolithic model of the Middle Urals and the structure of the Shartashskaya gold ore vortex structure. *Rudy i metally* [Ores and metals], No 4, P. 63-72. (In Russ.)
3. Polenov Yu. A., Ogorodnikov V. N., Babenko V. V. 2015, *Berezovskoye mestorozhdeniye zolota - unikal'nyy ob'yekt polikhronnogo i poligenogo rudoobrazovaniya* [The Berezovskoye gold deposit is a unique object of polychronous and polygenic ore formation], Ekaterinburg, 150 p.
4. Babenko V. V., Polenov Yu. A., Ogorodnikov V. N. 2016, The role of intrusive magmatism in the genesis of the Berezovskoye gold ore deposit (Middle Urals). *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], No 1. P. 39-49. (In Russ.)
5. Kuzovkov G. N., Dvoeglazov D. A., Vagshal D. S. 1987, State Geological Map of the USSR, Scale 1:200000. Series Sredneural'skaya. Sheet 0-41-XXV, Sverdlovsk. 167 p.
6. Borodayevskiy N. I., Borodayevskaya M. B. 1947, *Berezovskoye rudnoye pole* [Berezovskoye ore field]. Moscow, 264 p.
7. Sazonov V. N., Ogorodnikov V. N., Koroteev V. A. et al. 2001, *Mestorozhdeniya zolota Urala* [Gold deposits of the Urals], Yekaterinburg, 622 p.
8. Rapoport M. S., Babenko V. V., Boltyrov V. B. 1994, Berezovskoye gold deposit. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], No 6, P. 86-96. (In Russ.)
9. Bellavin O. V., Vagshal D. S., Nirenstein V. A. 1970, Shartashsky granite massif (Middle Urals) and the gold mineralization connected with it. *Izvestiya Akademii nauk SSSR* [News of the USSR Academy of Sciences]. Geology series. No 6, P. 86-90. (In Russ.)
10. Vikentyeva O. V. 2000, *Berezovskoye zolotorudnoye mestorozhdeniye na Urale: geologicheskoye stroyeniye, mineralogo-geokhimicheskiye osobennosti i usloviya obrazovaniya* [Berezovskoye gold ore deposit in the Urals: geological structure, mineralogical and geochemical features and conditions of formation], PhD thesis, Moscow, 26 p.
11. Kutukhin P. I. 1948, *Usloviya lokalizatsii orudeneniya v zhilakh Berezovskogo mestorozhdeniya* [Mineralization localization conditions in the veins of the Berezovskoye deposit], Sverdlovsk. P. 249-275.
12. Chesnokov B. V. 1973, Endogenous zoning of the Berezovskoye ore field in the Middle Urals. *DAN SSSR* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences], vol. 210, No 4. P. 915-917. (In Russ.)
13. Samartsev I. T., Zakhvatkin V. A., Kazimirskiy V. F. et al. 1973, On the zonality of the Berezovskoye gold ore deposit in the Middle Urals. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* [Geology of ore deposits], P. 110-117. (In Russ.)

14. Murzin V. V., Semenkin V. A., Sazonov V. N. et al. 1999, *Produktivnyye mineral'nyye assotsiatsii i RTKH - usloviya ikh formirovaniya v rudakh s razlichnymi formami zolota (na primere nekotorykh mestorozhdeniy Urala)* [Productive mineral associations and PTX - conditions for their formation in ores with various forms of gold (for example, some deposits of the Urals)]. Problems of geology and exploration of gold deposits, extraction of precious metals from ores and industrial waste: proceedings of the international scientific conference. Ekaterinburg, P. 26-27.
15. Vikentyeva O. V., Bortnikov N. S., Murzin V. V. et al. 2000, *Flyuidnyy rezhim mineraloobrazovaniya na Berezovskom zolotorudnom mestorozhdenii* [Fluid regime of mineral formation at the Berezovskoye gold ore deposit], Yearbook-1999, book of reports, Ekaterinburg, P. 224-227.
16. Baksheev I. A., Belyatskiy B. V., Ustinov V. I. et al. 2002, Conditions for the formation of tourmaline mineralization of the Berezovskoye gold ore deposit, Middle Urals, Russia (according to mineralogical and isotope-geochemical data). *Geokhimiya* [Geochemistry], No 7, P. 700-706. (In Russ.)
17. Filimonov S. V. 2009, *Mineraly bleklykh rud - indikatory rudogeneza (na primere gidrotermal'nykh mestorozhdeniy)* [Faded ore minerals - indicators of ore genesis (for example, hydrothermal deposits)], PhD thesis, Moscow, 25 p.
18. Laipanov Kh. Kh. 1973, *Mineralogo-petrograficheskiye i geokhimicheskiye osobennosti gidrotermal'no-metasomaticheskikh obrazovaniy Berezovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Sredniy Ural)* [Mineralogical-petrographic and geochemical features of hydrothermal-metasomatic formations of the Berezovskoye gold ore deposit (Middle Urals)], PhD thesis, Moscow, 24 p.
19. Barannikov A. G. 1998, Hypogenous-hypergenic type of gold mineralization in the Urals. *Izvestiya Ural'skoy gosudarstvennoy gornoy akademii* [News of the Ural State Mining Academy], Issue 8. P. 94-99. (In Russ.)
20. Dvornik G. P., Barannikov A. G., Ugryumov A. N. et al. 2002, Mineral associations and typomorphic features of native gold in the hypergenesis zone of the Berezovskoye deposit. *Vestnik Ural'skogo otdeleniya Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva* [Bulletin of the Ural branch of the Russian Mineralogical Society], Yekaterinburg, No 1. P. 16-22. (In Russ.)
21. Barannikov A. G., Batalin A. S., Ugryumov A. N. et al. 2001, On the prospects of re-industrial development of the hypergenesis zone of the Berezovskoye gold ore deposit. *Izvestiya Ural'skoy gosudarstvennoy gornoy akademii* [News of the Ural State Mining Academy], Issue 13. P. 153-163. (In Russ.)
22. Barannikov A. G., Kolbasin D. I., Seredkina O. A. et al. 2002, *O kharaktere prostranstvennogo raspredeleniya zolota i serebra v dayke Vtoro-Pavlovskoy Berezovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya* [On the nature of the spatial distribution of gold and silver in a dyke of the Vtoro-Pavlovskaya Berezovskoye gold ore deposit]. Scientific foundations and practice of exploration and processing of ores and industrial raw materials with the extraction of precious metals: proceedings of the international scientific conference. Ekaterinburg, P. 18-23.
23. Zemskikh V. E. 2008, *Zoloto i lyudi Berezovskogo rudnika* [Gold and people of the Berezovskoye mine], Ekaterinburg 249 p.
24. Staritsina I. A. 2004, *Sopryazheniye gipo- i gipergennoy mineralizatsii v slozhnykh karbonat-kvartsevyykh zhilakh Berezovskogo mestorozhdeniya zolota (Sredniy Ural)* [Combination of hypo- and hypergenic mineralization in complex carbonate-quartz veins of the Berezovskoye gold deposit (Middle Urals)], *Metallogeny of ancient and modern oceans-2004*. Miass. vol. II. P. 39-43.
25. Ramsay I. G., Huber M. I. 1987, *The Techniques of Modern Structural Geology*. London: Academic Press. Vol. 1,2. 700 p.
26. Korobeynikov A. F. 2007, *Mantiyno-korovyye rudoobrazuyushchiye sistemy kompleksnykh mestorozhdeniy blagorodnykh i redkikh metallov* [Mantle-crust ore-forming systems of complex deposits of noble and rare metals], Tomsk, 130 p.
27. Gusev A. I., Korobeynikov A. F. 2009, Mantle-crustal interaction in the generation of various types of mineralization: geophysical and petrological aspects. *Izvestiya TPU* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University], vol. 315, No 1. P. 18-25. (In Russ.)
28. Konyshchev V. O. 1999, Possible model of geological development of the Middle Urals. *Rudy i metally* [Ores and metals], pp. 46-60. (In Russ.)
29. Arsenyev V. A., Korchuganova N. I. 2000, Vortex structures of continents: new aspects of the structure, conditions of formation, metallogenic significance (for example, the southeast of the Canadian shield). *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka* [Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration], No 4, P. 134-138. (In Russ.)
30. Arsenyev V. A., Enrikesh E. 2003, The vortex megastructure of the basins of the Congo and Okovango rivers and its connection with diamond potential of territories. *Rudy i metally* [Ores and metals], No 1, P. 28-33. (In Russ.)
31. Yu Zhihong, Lin Zhongping, Wan Defang, Fu Zijie. 1981, *Tectonic Map of the Linear structures of the Territory of China (by Using of the Satellite Images)*. Sc. 1:6000000 / Ch. Ac. of Geol. Sci. Beijing: Cart. Publ. House, 19 p.
32. Pertsev A. V., Galperov G. V., Antipov V. S. et al. 1999, Cosmic structural criteria for the localization of ore giants. *Otechestvennaya geologiya* [Russian geology], No 6, P. 17-21. (In Russ.)
33. Rapoport M. S., Ruditsa N. I. 1999, *Rol' kol'tsevyykh i vikhrevyykh razryvnykh struktur v kontrole zolotogo orudneniya na Urale* [The role of ring and vortex explosive structures in the control of gold mineralization in the Urals], Problems of geology and exploration of gold deposits, extraction of precious metals from ores and industrial waste: proceedings of the international scientific conference. Ekaterinburg, P. 41-43.

The article was received on September 17, 2019