

В. И. Сначёв, Н. С. Кузнецов¹

ГЕОЛОГИЯ ЗОЛОТОПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЕРЕЗНЯКИ (ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКАЯ МЕГАЗОНА)

Месторождение находится в 50 км юго-юго-западнее г. Челябинска. Расположено в южной части площади развития образований осадочно-вулканогенной толщи. Выявлено в 1990 году Полетаевской ГСП (Н.С. Кузнецов, Б.А. Пужаков, В.Д. Шох) при проведении общих поисков в составе ГДП-50.

В разряд перспективных участков был выделен по двум признакам: в его пределах установлены ореолы геохимических элементов — индикаторов полиметаллического оруденения и наблюдается аномальное по инфраструктуре поле силы тяжести, отражающее аномальность напряженно-деформированного состояния геологической среды [Кузнецов, 1994].

В процессе общих поисков было вскрыто золотое оруденение, определены его тип и геологическая позиция, а также в общих чертах пространственное положение основных рудных зон, проведены технологические испытания.

С 1992 года поисково-оценочные, а затем и разведочные работы выполнялись Кочкарским ГПП. В этот период проведено более детальное изучение геологического строения месторождения, процессов рудогенеза. Месторождение изучалось и описано Б.А. Пужаковым, А.И. Грабежеевым, В.Н. Сазоновым, В.В. Мурзиным, Н.А. Григорьевым, В.П. Молошагом, В.В. Филатовым и авторами.

Большая часть рудного поля сложена образованиями осадочно-вулканогенной толщи (D_3-C_1). Значительный объем здесь также занимают субвулканические тела серийно-порфировых андезитов (рис. 1), внутренние части которых сложены диоритовыми порфиритами и кварцевыми диоритовыми порфиритами. Субвулканические тела имеют в плане неправильную изометричную форму размерами до $1 \times 1,5$ км. Кварцевые диоритовые порфириты также очень сложной, неправильной формы размерами до $0,5 \times 0,7$ км. Переход от серийно-порфировых андезитов к кварцевым диоритовым порфиритам постепенный и границы между ними проведены по первому появлению микрокристаллической основной массы.

В южной части рудного поля образования вулcano-плутонического комплекса (D_3-C_1) перекрываются красноцветными вулканитами андезитового состава ранневизейского и терригенными породами поздневизейского возраста. С востока

на породы осадочно-вулканогенной толщи надвинуты силурийские известняки.

Основной структурный план участка сформирован разрывными нарушениями северо-восточного и северо-западного направлений, которые в основном представлены зонами интенсивной трещиноватости горных пород. Эти системы контролировали руднометасоматические процессы. В целом для рудного поля преобладающими являются зоны северо-восточного простирания. Чередование блоков относительно уплотненных и разрушенных горных пород отражается в гравитационном поле чередованием локальных положительных и отрицательных аномалий преимущественно северо-восточного направления [Кузнецов, 1990, 1994].

Литогеохимической съемкой выявлены площадные полиэлементные ореолы элементов халькофильной группы. Выделяется обширная ($3,5 \times 2$ км) аномальная зона сложного строения. Основными аномалиеобразующими элементами являются серебро, мышьяк, сурьма, висмут, в меньшей степени олово, свинец, цинк и медь. Наблюдается сочетание ореолов изометричной формы, приуроченных к субвулканическим телам и их контактам, и линейных ореолов, связанных с тектоническими нарушениями.

Березняковское месторождение, расположенное в центральной части геохимического ореола, фиксируется полиэлементным эпицентром серебра, мышьяка, висмута, свинца и сурьмы, являющихся типоморфными для золотого оруденения. Их концентрации превышают кларковые в 10–300 раз.

Месторождение приурочено к субвулканическому телу кварцевых порфировых диоритов сложной формы размером $(300-350) \times 600$ м (см. рис. 1). Оруденение локализовано в центральной и эндо-экзоконтактовых его частях и представляет собой золото-сульфидный штокверк сложного строения с системой разноориентированных проницаемых зон (трещинных систем), обогащенных сульфидной минерализацией.

По мнению Н.С. Кузнецова [1990, 1994], на месторождении развиты системы трещин, сформированных в несколько этапов. Деформационная структура является полихронной. По большинству плоскостей трещин фиксируются разновременные и разнонаправленные движения. По совокупности данных выделяются четыре группы трещинных систем: широтные, меридиональные (совпадающие с общеуральской системой кливажа), северо-восточные

¹ОАО «Челябинскгеосъемка», г. Челябинск.

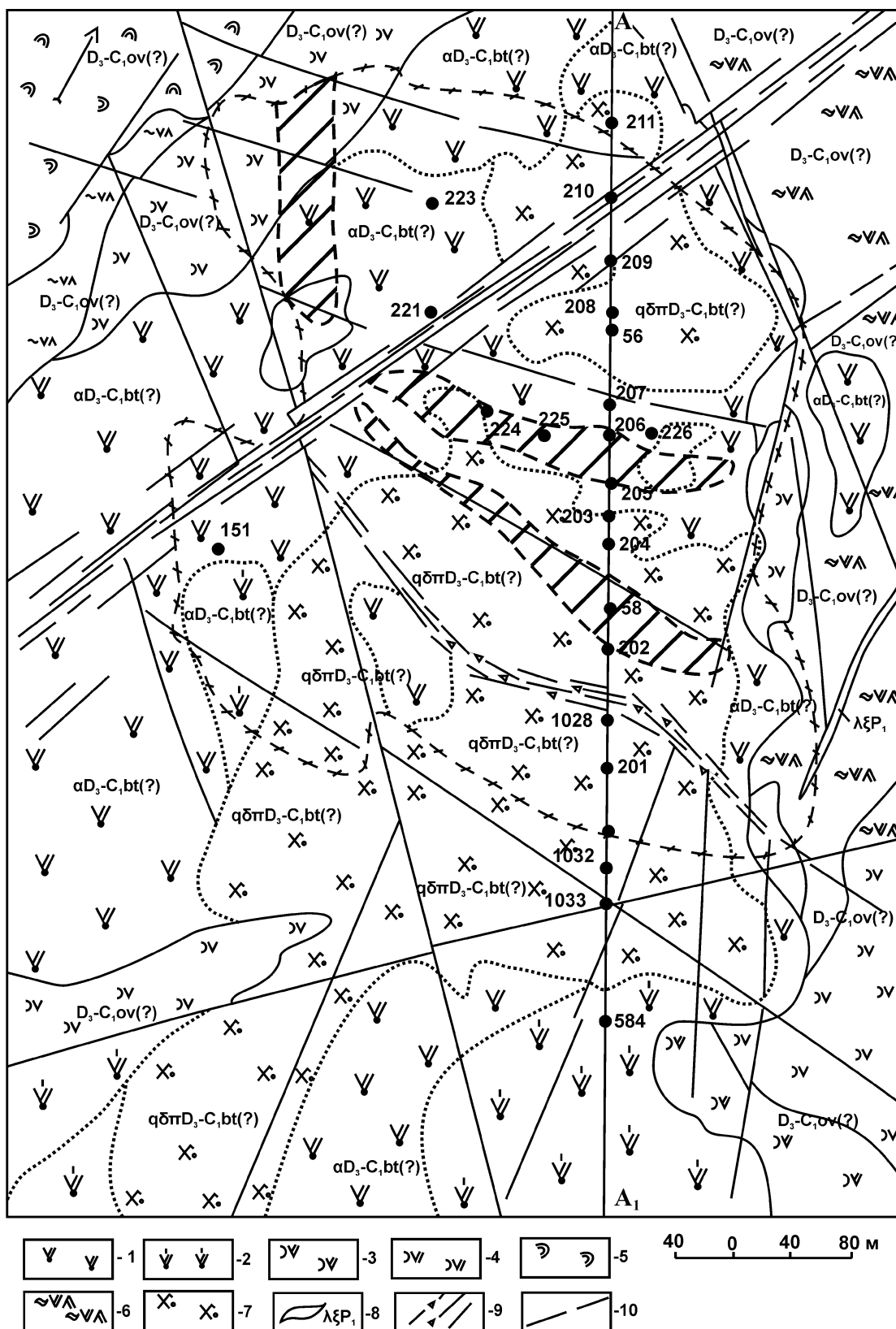


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Березняковского месторождения

Условные обозначения. Туфы: 1 — кварц-плагиоклазовые, 2 — роговообманково-кварц-плагиоклазовые, 3 — андезитов, 4 — плагиоклазовых порфировых андезитов, 5 — ксенотуфы; 6 — кластолавы андезидацитов порфировых плагиоклазовых; 7 — кварцевые диоритовые порфиры; 8 — дайки риодацитов; 9 — зоны брекчий; 10 — разрывные нарушения

(пологие и крутые) и северо-западные. Нарушения формировались по отношению к оруденению в разное время и их роль в рудогенезе различна.

Степень насыщенности трещинными нарушениями не является определяющей для рудоотложения. Определяющим фактором локализации оруденения являлось развитие дислокаций определенного направления и генезиса. Устанавливается преобладающее северо-западное и субширотное простирание линейных элементов деформационной структуры месторождения, что косвенно свидетельствует о ведущей роли дислокаций этих направлений в процессах рудогенеза. Геологическими исследованиями установлено, что большинство разрывных нарушений является сдвигами и сдвиго-сбросами. В поле силы тяжести тектонические зоны северо-западного простирания выделяются большей частью как гравитационные ступени, что позволяет предположить наличие вертикальных смещений по ним. Субширотные же зоны разрывных нарушений выделяются как области разуплотнения массивов горных пород. Линии максимальных горизонтальных градиентов силы тяжести, ограничивающие их, следует понимать как границы перехода от зон относительного сжатия к зонам разуплотнения горных пород. Вблизи этих границ и должны существовать условия, наиболее благоприятные для рудоотложения. Это вытекает из известного факта, что как обстановка сильного сжатия, так и обстановка сильного растяжения являются неблагоприятными для эндогенного рудоотложения.

Анализ пространственного распределения золота по результатам опробования горных выработок (канавы и скважины колонкового бурения) подтверждает контроль распределения оруденения деформационной структурой месторождения — рудные зоны (рудные тела) приурочены преимущественно к переходным зонам от разуплотненных пород к относительно уплотненным (рис. 2). Большая часть имеющихся рудных подсечений находится вблизи выделенных градиентных зон поля силы тяжести, располагаясь вдоль линий максимальных градиентов с некоторым смещением в пределы массивов горных пород, обладающих большей плотностью. Изучение характерных элементов строения тектонических структур северо-западного и субширотного направлений позволило диагностировать их как единый парагенезис дислокаций левого сдвига. Северо-западные нарушения при этом являются сколовыми системами левого сдвига с небольшой взбросовой составляющей, а области разуплотнения горных пород формируются как зоны интенсивного развития трещин отрыва, сопровождающие сдвиги северо-западного простирания [Кузнецов, 1994].

Взаимозависимость процессов рудогенеза и динамики напряженно-деформированного состояния среды предопределила особенности оруденения. Изменяющиеся Р-Т условия при длительном формировании деформационной структуры привели к изменению условий рудоотложения во времени и пространстве, многоэтапности процессов рудогенеза (полихронности). В результате устанавливается различие геохимических характеристик отдельных рудных тел и даже их частей, осложняется увязка рудных подсечений. По этой же причине наблюдается невыдержанность содержания золота по простиранию и падению рудных тел, по площади месторождения.

Золотое оруденение связано со становлением тел субвулканических порфировых андезитов и кварцевых диоритовых порфиринов. Фациальные переходы между породами комплекса, наличие в автомагматических брекчиях обломков то более кислых, то более основных диоритоидов указывают на длительность их формирования и неоднократность внедрения. Наличие в составе автобрекчий обломков метасоматитов с различной степенью переработки исходных пород, присутствие в них срезанных сульфидных прожилков говорят о пульсационности рудно-метасоматических процессов, сопровождавших магматическую деятельность.

Отмечается две позиции локализации золотого оруденения: в линейных зонах субширотного и реже северо-западного простирания и в виде условно выделенного «изометричного» штокверка (см. рис. 1, 2). Вышеописанные линейные зоны в центральной части месторождения ограничивают со всех сторон блок ромбовидной формы, внутри которого линейные дислокации проявлены слабо. Форма блока и его позиция позволяют сделать вывод, что данный массив горных пород находился в условиях сжатия под действием тангенциальных напряжений и испытывал усилия вращения, что способствовало брекчированию пород в краевых частях блока — это отмечается в горных выработках. Эта часть месторождения названа «изометричным» штокверком. Содержания золота здесь в целом более низкие, с повышением концентрации его в отдельных узлах. В линейных зонах содержание золота более выдержанно, хотя распределение его также близко к штокверковому типу.

Рудные тела имеют линейно-вытянутую, линзовидную или столбообразную форму, с размерами по длинной оси до 300 м. Содержание основных и сопутствующих компонентов в рудах испытывает значительные колебания. Максимальное содержание золота достигает 700 г/т, серебра — около 650 г/т. Кроме того, в рудах иногда отмечаются медь (до 6%), цинк (до 2,5%), мышьяк (до 1,6%), сурьма (до 1,5%).

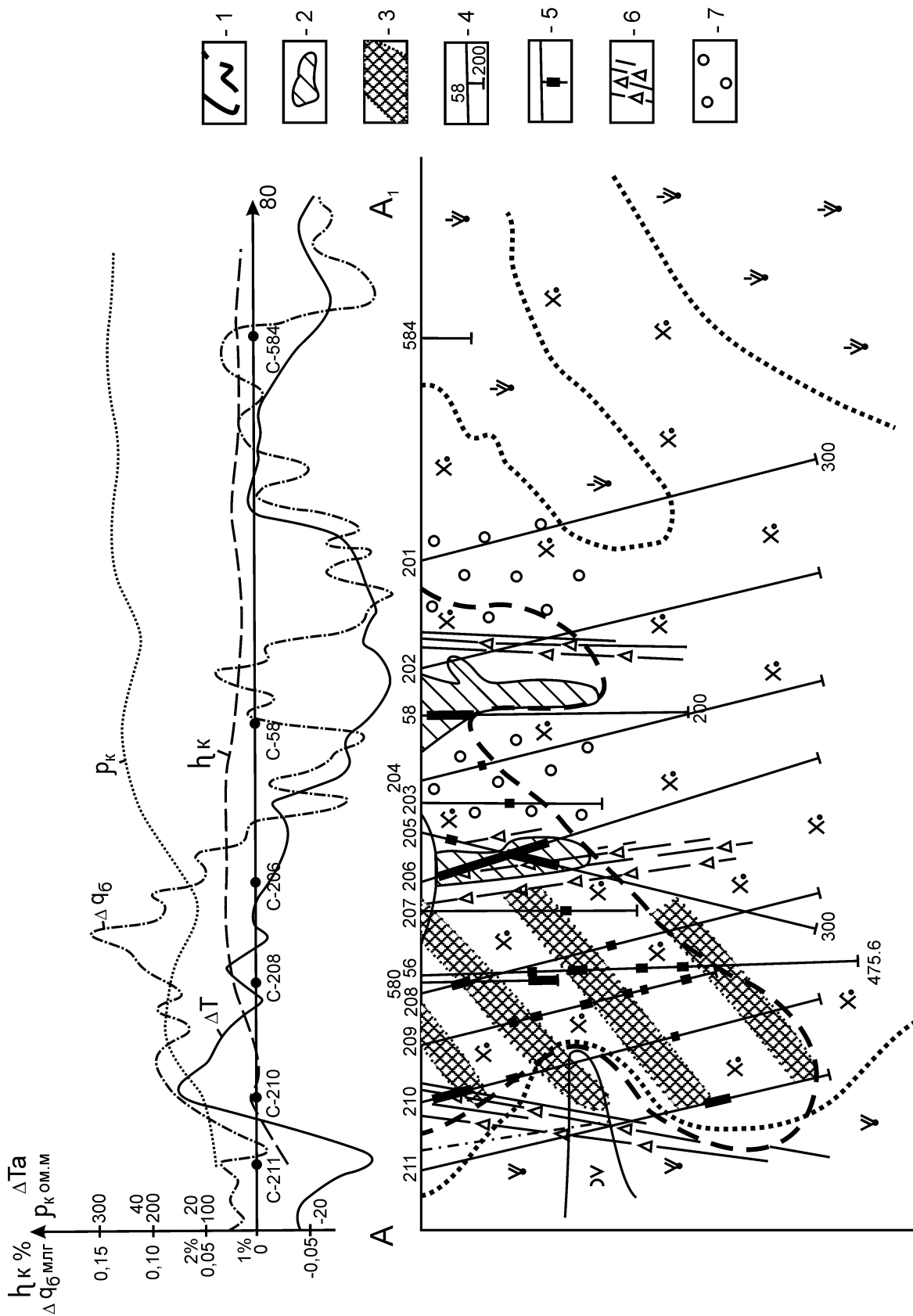


Рис. 2. Схематический геологический разрез по линии А—А₁ (положение разреза см. на рис. 1)

Условные обозначения: 1 — область максимальной метасоматической проработки горных пород; 2 — рудные тела (зоны линейного типа; 3 — область «изомеричного» штоковерка; 4 — скважины колонкового бурения; 5 — интервалы промышленного содержания золота в скважинах; 6 — зоны брекчий; 7 — области максимального разуплотнения горных пород. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

Средние содержания золота по рудным телам изменяются от 1–2 до 59 г/т, серебра — от 3 до 39,8 г/т [Кузнецов, 1994]. По данным минералогического анализа в рудах установлены пирит, блеклые руды, сфалерит, галенит, реальгар, рутил, циркон, апатит, гранат, турмалин, золото. Золото красновато-желтого и желтого цвета с размером золотинок от $0,001 \times 0,001$ до $0,03 \times 0,015$ мм, реже крупнее. Золотины комковидной, искривленно-пластинчатой, дендритовидной и проволочковидной формы с неровными извилистыми и угловатыми краями и бугристой поверхностью. Пробность золота высокая (826–972), в составе золотинок присутствуют серебро, палладий и ртуть. По данным ситового анализа технологической пробы преобладает (88%) мелкое золото. Извлекаемость его достигает 97%. В рудном концентрате определены также селен (73,7 г/т), теллур (84,6 г/т), таллий (0,6 г/т), индий (0,6 г/т), галлий (5,2 г/т), ртуть (12 г/т). В рудах месторождения, кроме перечисленных выше минералов, установлены [Молошаг и др., 1993; Сазонов и др., 1994] алтаит ($PbTe$), гессит (Ag_2Te), пильзенит ($BiTe$), айкинит ($PbCuBiS_3$), теллур самородный, калаверит (Au, Ag) Te_2 , сильванит (Au, Ag) Te_4 , креннерит ($AuAg$) Te_2 , а также минералы ряда люцитита (Cu_3AsS_4) — фаматинита (Cu_3SbS_4).

Все рудовмещающие породы Березняковского месторождения в разной степени подвержены метасоматической проработке. Большую часть измененных пород следует относить к метасоматитам с долей условности, так как они часто сохраняют первичную структуру и хорошо диагностируются. Новообразованные минералы (карбонат, хлорит, серицит, кварц, пирит) частично или полностью замещают плагиоклаз и темноцветы в порфириновых выделениях, и частично развиваются по основной массе. Тем не менее количественная оценка новообразованных минералов и их полиминеральные ассоциации позволяют выделить метасоматическую зональность на месторождении. Первичные породы претерпели несколько циклов метасоматической проработки, что осложнило общую картину зональности. Постмагматические процессы метасоматоза и рудогенеза носили полихронный и полигенный характер [Пужаков, 1999], что привело к формированию двух сопряженных метасоматических формаций со своей металлогенией, с последующим наложением региональной аргиллизацией.

На Березняковском месторождении устанавливаются кварц-серицитовая и березитовая формации, сформированные при кислотном выщелачивании независимо друг от друга [Грабежев, Белгородский, 1992; Грабежев и др., 1998; Пужаков, 1999]. Метасоматические колонки вышеуказанных формаций очень близки, т. к. в центральных и внешних зонах

представлены аналогичными фациями. В то же время отличительной чертой формаций является стабильное положение карбоната в березитах вплоть до центральной зоны и большая устойчивость полевых шпатов.

Кварц-серицитовая формация проявлена как остаточная после наложения березитов, но на площади месторождения она развита наиболее широко, тогда как метасоматиты березитовой формации занимают его северное и южное обрамление. Пространственное положение метасоматитов березитовой формации подчинено деформационным структурам северо-восточного простирания. В составе той и другой формации устанавливается четко выраженная зональность, обусловленная устойчивыми минеральными парагенезисами фаций и их последовательным расположением. Метасоматиты кварц-серицитовой формации непосредственно связаны с порфиристыми субвулканическими телами андезитов и кварцевых диоритов, хотя могут выходить и во вмещающие породы. Зоны метасоматитов в общем случае симметричны, несмотря на то, что имеют весьма изменчивую мощность на разных участках месторождения. Области распространения метасоматических фаций в плане имеют сложную форму, повторяя ориентировку основных зон интенсивного расланцевания, контролирующей золоторудный штокерк. Тыловая кварцевая зона обычно маломощная (не превышает 10–12 м) и присутствует фрагментарно.

Устойчиво выраженный метасоматический парагенезис свидетельствует о пространственно-временной связи метасоматитов кварц-серицитовой формации и оруденения. Основная часть руд (90–95%) расположена в области развития центральной зоны формации, в пределах кварц-серицитовых и кварцевых метасоматитов. Комплекс околорудных метасоматитов расположен в области развития продуктов стадии гидролитического разложения и в целом слагает крутопадающее тело. В приповерхностной части на глубину до 180 м размеры его достигают около 500×500 м и резко сокращаются с глубиной.

Процессы метасоматоза кварц-серицитовой формации на Березняковском месторождении носили диффузионно-инфильтрационный характер и были полистадийными. Начальные этапы метасоматоза характеризовались появлением большого количества водонасыщенных минералов, образующихся в обстановке ограниченной миграции основных породообразующих компонентов. В последующем вдоль ослабленных зон развивались процессы выщелачивания.

Процесс березитизации носил одностадийный характер и был непосредственно связан с развитием

разрывных нарушений северо-восточного простирания. Пространственно и генетически с метасоматитами формации связана полиметаллическая минерализация.

В последующем месторождение было вовлечено в процессы региональной аргиллизации, наложившейся на ранее образованные метасоматиты. Аргиллизация прослежена на глубину до 450 м, где были обнаружены натровые смектиты. Совместное нахождение парагонита, К-На слюды и смектита, по представлениям А.И. Грабежева и др. [1998], свидетельствует об их неравновесности и монтмориллонитизации первичных слюд. Условия формирования аргиллизитов отвечали температурному интервалу 140–200 °С при $P=0,1$ кбар. При этом давление изменялось от литостатического до гидростатического. Процесс аргиллизации в незначительной мере способствовал аллохтонному перераспределению золота. Это подтверждается тем, что небольшая часть золота ассоциирует с рисовидным кварцем, который является продуктом низкотемпературного метасоматоза ($T=110\text{--}220$ °С), а также со скоплением глинистых агрегатов в виде тонких пористых выделений.

Золотое оруденение, как было отмечено ранее, связано со становлением тел субвулканических порфировых андезитов и кварцевых диоритовых порфиритов и в основном размещено в пределах развития промежуточной и центральной зон метасоматитов кварц-серицитовой формации. Известно, что подобные руды и околорудные метасоматиты формируются при температуре 250–400 °С (для медно-порфировых объектов характерны температуры 350–450 °С).

Температура образования рудной ассоциации по электрум-сфалеритовому геотермометру составила 330 °С [Молошаг и др., 1993], а по данным изучения максимальной железистости зоны контакта пирит-сфалеритовой ассоциации колебалась в пределах 350–380 °С [Сначёв и др., 1994].

Руды и сопряженные с ними метасоматиты Березняковского месторождения формировались в условиях снижения температуры от 360–380 °С до 140–170 °С и давления от 0,4–1,3 кбар до 0,1–0,2 кбар. В кварцевых жилах наблюдаются только вторичные газово-жидкие включения с температурой гомогенизации 240–270 °С. Граница температурной устойчивости парагонита составляет 350 °С. На основании параметров, полученных разными методами, А.И. Грабежев и др. [1998] предполагают наличие двух этапов метасоматического процесса. Первый этап отвечает $T=320\text{--}380$ °С и $P=0,8\text{--}1,2$ кбар, что может соответствовать образованию парагонита, К-На слюды и мусковита. Второй этап происходит в интервале сопряженного понижения

давления и температуры соответственно от 0,4 кбар и 350 °С до 0,1 кбар и 150 °С.

Комплекс метасоматитов березитовой формации и сопутствующая им полиметаллическая минерализация были вероятнее всего сформированы при более низких температурах. Температурный интервал в 200–300 °С считается рядом исследователей характерным для березитов [Пужаков, 1999]. По экспериментальным данным, допустимая для формирования березитов область значений рН заключена в пределах 1,7–7,6, а предельная температура их образования не может превышать 340 °С.

Анализируя полученные результаты и экспериментальные данные, приходим к заключению, что Березняковское месторождение и комплекс метасоматитов на Березняковском участке формировались в два этапа.

На первом этапе в связи со становлением субвулканических андезитов и кварцевых диоритовых порфиритов был сформирован золоторудный штокверк с сопряженным комплексом околорудных метасоматитов кварц-серицитовой формации. Процессы рудообразования и метасоматоза происходили в закрытой системе при падении температуры от 400–380 °С до 300–310 °С и давления от 1,2 кбар до 0,1–0,2 кбар.

На втором этапе, при затухании магматической деятельности позднедевонского – раннекаменноугольного времени, происходило отделение рудометасоматического полиметалльного флюида от интрузивов гипабиссального уровня становления с формированием метасоматитов березитовой формации и широкого ореола полиметаллической минерализации.

По-видимому, в формировании месторождения значительную роль играли мантийные источники вещества. Так, в аналогичных кварцевых диоритах рудопроявления «Биксизак» отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ составляет $0,70693 \pm 0,00015$, что свидетельствует о корово-мантийной природе расплава. Кроме того, более чем в 20 скважинах на Березняковском участке в покровных отложениях и корах выветривания были обнаружены металлические шарики размером от долей миллиметра до 1–3 мм. По результатам микрозондовых исследований [Сначёв и др., 1994], они представлены субграфическими сростаниями свинца и олова.

Шарики состоят из светлого и темного агрегата. В темных преобладает олово, в светлых – свинец. Обращает на себя внимание присутствие в обеих составляющих золота, рения и платины. В южноуральских золоторудных месторождениях и россыпях самородные Sn и Pb, а также продукты их сростания известны давно [Новгородова, 1983]. Кристаллизация таких Pb-Sn шариков происходит,

по мнению автора, в мощном потоке флюида, либо из капель расплава, образующихся в нагретой (более 360 °С) среде минералообразования. Правильность подобного объяснения хорошо видна на месторождении Березняки, где высокая насыщенность флюидами расплава привела к очень сильному изменению раскристаллизованных тел диоритовых порфириров и кварцевых диоритовых порфириров последующими высокотемпературными гидротермальными растворами. В составе флюидной фазы большую роль играл фтор. Это доказывается присутствием в субвулканических телах «порфирировых» выделений флюорита, занимающих на глубоких горизонтах 5–15% объема породы (скв. 56, 58). Кроме вышеуказанных признаков корово-мантийного происхождения рудно-магматических растворов, следует отметить в рудах наличие теллуридов и самородного теллура, а также, иногда, ртутистый состав золота [Сазонов и др., 1994].

Литература:

Грабежев А.И., Белгородский Е.А. Продуктивные гранитоиды и метасоматиты меднопорфирировых месторождений (на примере Урала). Екатеринбург: Наука, 1992. 199 с.

Грабежев А.И., Кузнецов Н.С., Пужаков Б.А. Рудно-метасоматическая зональность меднопорфирировой ко-

лонны Na-типа (парагонитсодержащие ореолы Урала). Екатеринбург: УГГГА, 1998. 172 с.

Кузнецов Н.С. Палеотектонические условия формирования Биргильдинско-Томинского рудного узла // Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений. Свердловск: ИГиГ УрО РАН, 1990. С. 8–14.

Кузнецов Н.С. Прогнозирование рудных полей месторождений на основе тектонофизического анализа гравитационного поля: Автореф. ... канд. геол.-мин. наук / УГГГА. Екатеринбург, 1994. 23 с.

Молошаг В.П., Грабежев А.Н., Гуляева Т.Я. Золото-теллур-теллуридная ассоциация Березняковского месторождения (Южный Урал) // Ежегодник – 1992 / ИГиГ УрО РАН. Екатеринбург, 1993. С. 109–110.

Новгородова М.И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. М.: Наука, 1983. 287 с.

Пужаков Б.А. Продуктивные гранитоиды, метасоматоз и оруденение Биргильдинско-Томинского рудного узла: Автореф. ... канд. геол.-мин. наук / ИГиГ УрО РАН. Екатеринбург, 1999. 28 с.

Сазонов В.Н., Мурзин В.В., Григорьев Н.А. Березняковское золотопорфирировое месторождение (Ю. Урал). Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 1994. 48 с.

Сначёв В.И., Кузнецов Н.С., Рачёв П.И., Ковалёв С.Г. Магматизм и металлогения северной части Восточно-Уральской рифтовой системы: Препринт. Уфа, 1994. 34 с.