

ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ БЕРЕЗОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ, СВЯЗАННОГО С ГРАНИТОИДНЫМИ МАССИВАМИ

© 2009 г. **В. Ф. Сомов**, Е. В. Кадышева, В. В. Филатов

Уральский государственный горный университет
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
e-mail: kadyshhev@k66.ru

Поступила в редакцию 30.04.2009 г.

Поисковые признаки, или критерии, отражающие закономерности процесса рудообразования, составляют основу прогнозирования месторождений полезных ископаемых. Универсальным свойством этого процесса для месторождений многих типов является напряженно-деформированное состояние геологической среды. Для его изучения кроме традиционных методов тектонофизики может применяться метод тектонофизического анализа поля силы тяжести. Он базируется на функциональной зависимости между характеристиками поля деформации, обусловленного плотностной неоднородностью среды, и характеристиками гравитационного поля. Метод был применен для изучения напряженно-деформированного состояния района Березовского золоторудного месторождения, приуроченного к Шарташскому гранитному массиву. Исследования позволили сформулировать несколько критериальных признаков и показали, что золотое оруденение располагается в области растяжения с относительно невысоким значением положительной дилатации (невысокой проницаемостью среды). Этот вывод свидетельствует о том, что среда с высокой проницаемостью неблагоприятна для рудообразования.

Ключевые слова: *поисковый признак, напряженно-деформированное состояние, тектонофизический анализ, гравитационное поле, Березовское золоторудное месторождение, дилатация, рудообразование.*

Березовское золоторудное месторождение расположено в 12 км на северо-восток от г. Екатеринбурга. Ввод его в эксплуатацию в 1748 г. определил начало золотой промышленности Урала, да и Российского государства в целом.

Современные представления о геологическом строении Березовского рудного поля сложилось на базе материалов, полученных Н.И. и М.Б. Бородаевскими, П.И. Кутюхиным, Б.В. Чесноковым, В.Н. Сазоновым, В.В. Бабенко, В.М. Алешиним и др.

Объектом наших интересов являются рудные тела месторождения – дайки гранитоид-порфиров, вмещающие золотоносные лестничные кварцевые жилы. Главной целью было установление их позиции в поле деформации, возникающем под действием гравитационных сил. Поэтому описание геологического строения приводится кратко, больше внимания уделено дайкам и жилам.

Березовское рудное поле расположено вблизи северной границы Арамильского синклинария, входящего в состав Арамильско-Сухтелинского мегасинклинария Восточно-Уральского поднятия.

В районе Березовского месторождения выделены три структурно-вещественных комплекса [6]: 1. Океанический (О–S): серпентинизированные гарцбургиты, габбро и примитивные высокотитанистые диабазы, метаморфизованные в условиях зеленосланцевой фации, лавы, иногда туффи-

ты, кремнистые и кремнисто-глинистые образования. 2–3. Коллизионные разных возрастов (С и Р): гранитоиды тоналит-гранодиоритовой формации и дайки гранитоид-порфилов.

Вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы в пределах месторождения полого падают на север. Они объединяются в два субкомплекса: нижний представлен базальтовыми лавами, туфобрекчиями, туффитами и кремнистыми осадками, верхний – диабазами. Общая мощность субкомплексов около 1.2 км.

Интрузивные породы относятся к трем типам формаций: дунит-гарцбургитовой, габбровой и гранитной. К дунит-гарцбургитовой формации принадлежат Шарташский и Пышминско-Березовский гипербазитовые массивы условно силурийского возраста. Они сложены серпентинитами и тальково-карбонатными породами. Шарташские гарцбургиты представлен двумя пластообразными телами мощностью от 70 до 260 м. Они окаймляют с севера и востока Шарташский гранитоидный массив. Пышминско-Березовский массив в северной части рудного поля ограничен с севера массивом габбро. Его мощность меняется от 200 до 70 м. Контакт с габбро падает на север довольно круто (30–80°). Габбровая формация представлена Пышминско-Березовским массивом субширотного простирания мощностью 600–800 м (по геофизическим дан-

Таблица 1. Характеристика формаций даек Березовского рудного поля

№ п.п.	Формации даек	Суммарная длина выходов (км)	Средняя мощность (м)	Наиболее частые углы падения (град.)	Наиболее частые азимуты падения (град.)
1	Плагиосиенит-порфиры	135	6–8	20–40	270–300
2	Жильные диориты	2,5	2–3	20–40	270–300
3	Гранит-порфиры I и II цикла	25	10–12	30–40 70–85	110–160
4	Плагиогранит-порфиры	140	10–11	70–90	110–120

ным). Представителем гранитной формации является Шарташский гранитоидный (адамеллитовый) массив. Массив имеет неоднородное строение, что обусловлено трехфазовым внедрением адамеллитов (крупнозернистые, среднезернистые, мелкозернистые) и сопутствующих даек разнообразного состава (от лампрофиоров до аляскитов).

Породы Березовского рудного поля сильно тектонизированы. Причиной тектонизации явились коллизионные процессы, которые датируются по абсолютному возрасту магматитов и метаморфитов-метасоматитов. Возраст адамеллитов Шарташского массива составляет 330–350 млн. лет (С₁), для березитов Березовского месторождения верхний предел возраста 320 млн. лет [5]. Коллизионные процессы обусловили интенсивное расщепление, меланж, оталькование, лиственитизацию ультрабазитов и формирование гранитоидных массивов и дайкового комплекса.

Березовское месторождение (рис. 1) представлено рядом свит (пучков) даек гранитоид-порфиров субмеридионального, северо-восточного, редко субширотного простирания. Большая часть даек имеет крутое (до вертикального) падение. Дайки обычно березитизированы, включают множество поперечных лестничных золотоносных кварцевых жил, которые имеют дискретное распределение (выделяются участки с различной насыщенностью жилами) в теле даек. На месторождении развиты также красичные кварцевые жилы, выходящие за пределы даек или пространственно с последними не связанные. Такие жилы отчетливо контролируются разломами широтного простирания. Их основное количество сосредоточено на северном фланге месторождения, где они прослеживаются через все Березовское рудное поле [3].

В районе Березовского рудного поля сейчас известно более 400 даек гранитоид-порфиров и несколько даек габбро-диабазов и лампрофиоров. С гранитоид-порфирами тесно сопряжено золотое оруденение кварцево-жильного типа. Н.И. и М.Б. Бородаевскими [3] было установлено, что дайки гранитоид-порфиров сложены породами нескольких петрографических типов, каждый из которых обособлен хронологически в определенной последовательности (табл. 1).

Помимо классификации Бородаевских, существуют также классификации В.Ф. Казимирского и Ю.И. Берзиной (6 стадий внедрения), И.Т. Са-

марцева (8 стадий), В.М. Алешина и И.С. Биянова (6 стадий). Различия касаются позиции малочисленных даек, в частности лампрофиоров. Что касается наиболее многочисленных даек плагиосиенит-порфиров (1 стадия) и плагиогранит-порфиров (завершающая стадия), авторы едины.

Протяженность и мощность даек в общем не зависят от слагающих их пород. Дайки всех систем обладают значительной протяженностью (в среднем 1,5–2 км, но некоторые прослеживаются по длине на 9 км). Мощность их (8–10 м) постоянна как по падению, так и по простиранию. Дайки сохраняют прямолинейность и мощность при пересечении столь различных в механическом отношении сред, как граниты, палеозойские слоистые образования и серпентиниты. Более поздними работами [1] установлен волнистый характер поверхности даек. Выделена волнистость нескольких порядков.

Простирание даек преимущественно меридиональное и север-северо-восточное, но многие протягиваются по диагональным и широтным азимутам. Закартированные дайки как бы расчленяются на 2 свиты, стремящиеся к соединению в южном направлении, в районе выходов Шпанчевских гранитов, и расходящиеся на севере. Количество даек к югу, то есть при приближении к гранитным массивам, резко возрастает. Многие из них входят в контуры этих массивов. В северном направлении дайковые свиты постепенно затухают, полностью прекращаясь близ южной границы габбро в долине р. Пышмы.

Основные продуктивные дайки круто падают на восток и на запад либо полого падают на юго-восток. Из шести (по В.Ф. Казимирскому и Ю.И. Берзиной) [1] типов даек продуктивными являются дайки трех типов: гранит-порфиры I цикла (полого падающие на юго-восток), гранит-порфиры II цикла (представлены всего 2 дайками, круто падающими на восток и запад), плагиогранит-порфиры II цикла, самые многочисленные среди продуктивных даек (круто падающие на восток и запад).

Золото на месторождении связано с кварцевыми жилами золотоносной формации – полосовыми, залегающими в дайках, и красичными, залегающими во вмещающих породах. Жилы – главный, но не единственный концентратор золота. Часть его добывается из березитов и лиственитов, где золото связано с пиритом. Н.И. и М.Б. Бородаевские [3] отмечают, что между полосовыми и красичными жи-

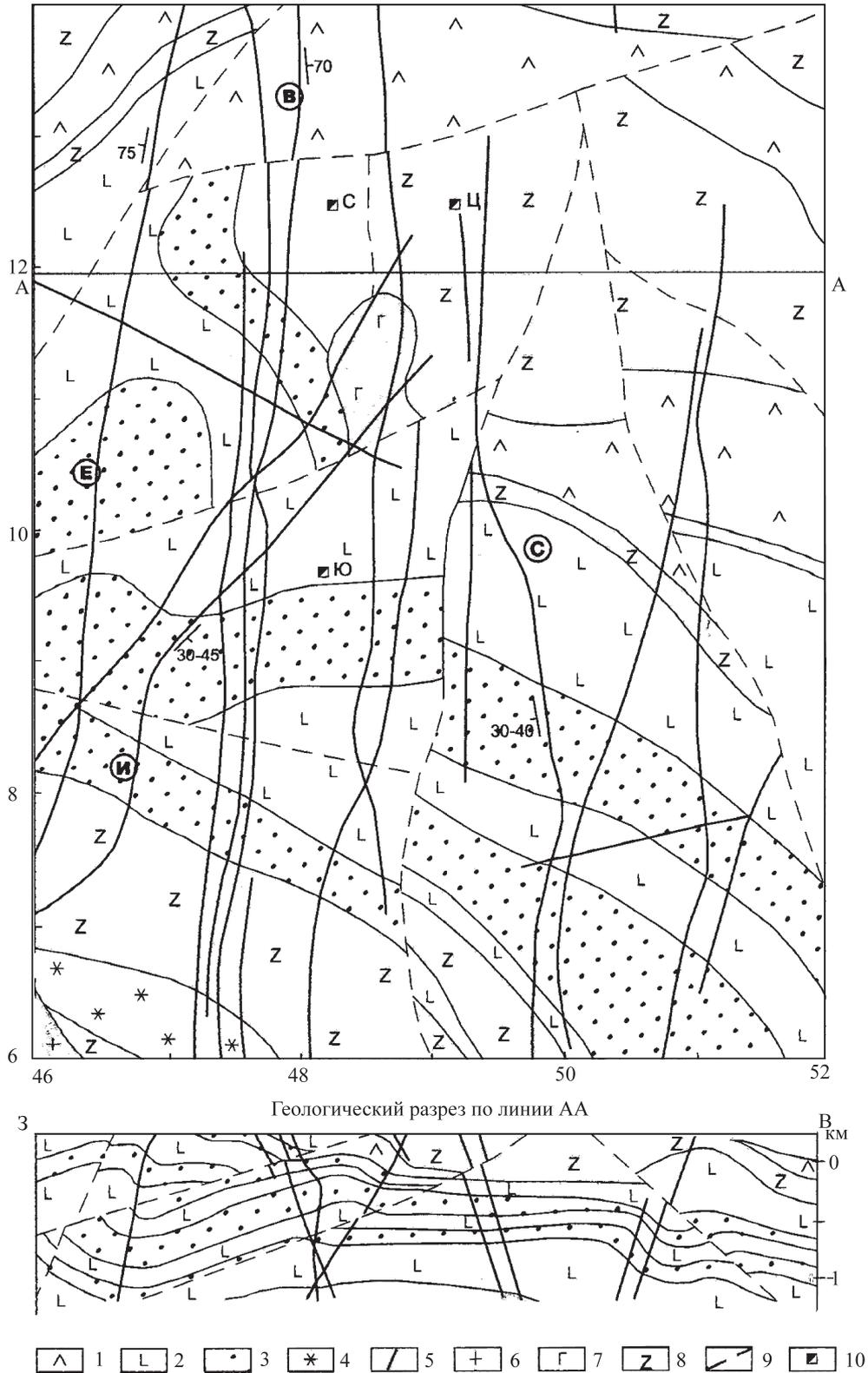


Рис. 1. Геологическая карта и разрез Березовского золоторудного месторождения, по (Рапопорт М.С. и др., 1994) с изменениями и дополнениями.

1 – метадиабазы (S_1v_2); 2 – metabазальты (S_1v_1); 3 – метасадочные породы (S_1v_1); 5 – дайки: И – Ильинская, Е – Елизаветинская, В – Второпавловская, С – Соймоновская; 6 – граниты Шарташского массива (C_1); 7 – габбро-диабазы (D_2); 8 – серпентиниты ($O_{1,2}$); 9 – разрывные нарушения; 10 – шахты: С – Северная, Ю – Южная, Ц – Центральная-разведочная. Система координат Березовского рудника (сетка через 1 км).

лами нет никаких принципиальных различий как в структурном, так и в генетическом отношении. Обе эти категории жил обычно наблюдаются в ассоциации друг с другом.

Кварцевые жилы золотоносной формации образуют несколько систем:

1. Крутопадающие широтные, поперечные или лестничные жилы. Простираются юго-восточное – 100–108–110°. Падение южное под углом 75–85°.

2. Пологопадающие широтные. Простираются восток-юго-восточное 90–110°. Падение северо-восточное или юго-западное, угол 40–50°.

3. Диагональные жилы двух направлений: юго-восточного – 135° и северо-восточного – 45°, падение юго-восточное или юго-западное под углами около 45°.

4. Крутопадающие меридиональные (продольные) жилы. Простираются северо-восточное 10–20°, падение на юго-восток под углом 60–90°.

Наиболее распространены широтные крутопадающие жилы (90% полосовых и все красичные жилы), которые являются наиболее ценными в промышленном отношении. Красичные жилы на территории рудного поля почти всегда располагаются группами – свитами, обычно состоящими из 4, 5, иногда до 10 или более параллельных жил, длина которых обычно не превышает 25–40 м. Протяженность свит, в связи с тем, что жилы кулисно заходят концами одна за другую, составляет 200–300 м, иногда – до 1 км. Расстояние между свитами колеблется от нескольких сотен метров до километра и более, а расстояние между отдельными жилами в свите – от 3–5 до 10–15 м. Морфология красичных жил отличается большим постоянством. Имея выдержанное простираемое (юго-восточное 95–110°) и крутое (85–75°) падение всегда к югу, они почти не изменяют элементов залегания в зависимости от особенностей вмещающей среды и при длине до 150–200 м никогда не дают резких изгибов или сложных разветвлений. Контакты жил прямолнейны. Мощность редко превышает 0.5–1 м, чаще она варьирует от 0.1 до 0.3 м. Полосовые или лестничные кварцевые жилы, залегающие в дайках гранитоид-порфириров, распределены в них неравномерно. Некоторые дайки, протягивающиеся на 8–9 км, на всем этом протяжении содержат жильную сеть; другие пересекаются жилами лишь в отдельных интервалах; третьи почти совершенно их лишены.

В южной и центральной части рудного поля распределение жил в общем равномерное, на каждые 2.5–3 м длины дайки приходится в среднем одна промышленная жила. К северу распределение полосовых жил становится менее равномерным. Здесь выделяются отдельные участки даек, в пределах которых жильная сеть настолько сгущается, что на 1 м длины дайки приходится одна или несколько жил. Установлено, что богатые жилами участки

совпадают с местами пересечения с красичными жилами. Наиболее насыщенные жилами дайки погружаются под крутыми углами (гранит-порфиры II цикла и плагиогранит-порфиры). Дайки, падающие к востоку под сравнительно пологими (45–50°) углами, по степени насыщенности жилами немного уступают крутопадающим. Совсем иначе обстоит дело с дайками, полого падающими на запад, к которым относится большинство даек плагиосиенит-порфириров и жильных диоритов. Они содержат полосовые жилы лишь в небольших количествах. В то же время, проходящие вблизи них крутопадающие дайки весьма богаты жилами. Только в местах пересечения с красичными жилами полого падающие к западу дайки несут нормальную жильную сеть.

Элементы залегания лестничных жил сохраняются без изменения на площади всего рудного поля и почти не зависят от элементов залегания вмещающих их даек. Простираемость их колеблется в пределах ЮВ 90–110°, причем наибольшим распространением пользуются жилы с простираемостью ЮВ 100–105°, падение крутое (70–80°, обычно южное). Протяженность жил по простираемому определяется мощностью дайки и обычно равна 10–12 м.

Движения послерудного периода в общем не были значительны по масштабу, поздние движения, иногда приводящие к дроблению кварцевых жил смещают их на амплитуды, редко превосходящие их мощность. Околорудные изменения, сопутствующие кварцевым жилам Березовского месторождения, представлены метасоматитами березит-лиственитовой формации. Последние детально рассмотрены в работах Н.И. и М.Б. Бородаевских [3], В.Н. Сазонова [5, 6] и др.

Установлено, что листвениты и березиты в рудном поле возникли одновременно после внедрения даек плагиогранит- и гранит-порфириров, а пропитанности района – до даек плагиогранит- и гранит-порфириров. Кварцевые жилы в рудном поле формировались главным образом за счет кремнезема, выносившегося из пород при их метасоматической переработке. В кварцевых жилах установлено три генерации пирита, две последние представлены мелкозернистым золотоносным пиритом. Золотоносное оруденение образовалось из щелочных растворов позже лиственитов, березитов и кварцевых жил. Руды Березовского рудного поля малосульфидные (содержание сульфидов не превышает 3–5%). Золото представлено самородной и тонкодисперсной (в сульфидах) формами. Пробность золота колеблется в пределах 840–980. Источник гидротерм, обусловивших образование Березовского месторождения, гетерогенный: существенная часть его генетически связана с гранитоидами, часть поступила из вмещающих пород.

Большой интерес представляет вопрос о том, каким причинам обязана столь резко проявленная избирательная приуроченность жил к дайкам

гранитоид-порфиров и каковы силы и связи, которые ее обусловили. Н.И. и М.Б. Бородаевские [3] делают вывод, что возникновение трещин, выполненных жилами, связаны с тектоническими причинами, едиными для всего рудного поля. Жильные трещины возникли после внедрения самой молодой из дайковых формаций и это было одноактным тектоническим процессом. Особенности морфологии и детали строения лестничных и диагональных жил соответствуют представлению о сколовых и отрывных трещинах, возникающих одновременно, заполнявшихся одновременно и закономерно сопряженных между собой. Представление об отрывной природе трещин, заполненных лестничными жилами, хорошо согласуется с особенностями их внутреннего строения. Массивное крупнозернистое строение, обилие друзовых пустот, развитие поперечно-волоконистых текстур и т.д. с несомненностью свидетельствует, что в период заполнения жильным веществом они были зияющими. Напротив, слоистоплитчатое сложение кварца, выполняющего диагональные жилы, указывает, что они в момент заполнения претерпевали сжатие. В своей работе Н.И. и М.Б. Бородаевские [3] рассмотрели несколько возможных механизмов возникновения трещин, выполненных кварцевыми жилами. Рассмотрены варианты трещин как системы сопряженных сколов, кручения и др. Авторы приходят к выводу, что главной и достаточной причиной открытия трещин могло явиться сжатие в меридиональном направлении. В.Н. Сазонов [5] считает, что трещинные структуры, выполненные жилами, сформировались в результате деформаций сдвигового типа.

Наиболее обстоятельный план деформаций, приводящий к образованию многостадийной сети даек и кварцевых жил в них предложил В.В. Бабенко на основе куба деформаций, предложенного А.В. Королевым и П.А. Шехтманом [1]. Дайки различного состава фиксируют разломы, заложенные при определенном плане деформации. Из существовавших на каждом этапе формирования разломов, выполненных дайками, установлено три основных плана деформаций:

1. Ось сжатия (Б) ориентирована в широтном направлении, ось высвобождения вверх (А) полого склонена на восток. При этом плане деформации образовались дайки плагиосиенит-порфиров, выполняющие две системы сбросовых трещин С-1 и С-2.

2. Ось Б ориентирована косо на юго-запад-северо-восток, ось А полого склонена на северо-запад. При этом плане деформации образовались сдвиговые трещины С-6 и С-5, сбросовые трещины С-1, выполненные дайками плагиогранит-порфиров I цикла, гранит-порфиров I цикла и лампрофиров.

3. Ось Б ориентирована широтно, ось А – вертикально. Этому плану деформации соответствуют дайки гранит-порфиров II цикла, выполня-

ющие системы взбросовых трещин С-2 и С-1 и плагиогранит-порфиров II цикла, выполняющих системы сбросовых трещин С-2 и С-1 и трещины отслоения Р-1.

После каждого этапа сжатия, приводящего к образованию разломов, следовал этап растяжения, что создавало условия для выполнения этих разломов гранитоидной магмой. На новый этап сжатия вся толща пород, пронизанная дайками, реагировала как монолитная система, поэтому происходило не подновление старых разломов, а образование новых. Образование трещин, выполненных полосовыми (лестничными) жилами, залегающими в дайках и красичными жилами, залегающими во вмещающих породах, происходило при деформациях, унаследованных от последнего плана. Только ось А, в отличие от этого этапа, была круто склонена на юг. В результате такого плана деформаций образовывались сбросовые трещины С-4, трещины отрыва Р-2 и сдвиговые трещины С-6, что соответствует широтным пологопадающим, широтным крутопадающим и косым крутопадающим полосовым жилам.

Переходя к напряженно-деформированному состоянию геологической среды Березовского месторождения, необходимо сказать, что возможность оценивать напряженное состояние среды в виде прямой задачи исходит из следующего положения: плотностные неоднородности являются одним из источников деформирования земной коры. Количественная оценка этих деформаций и закономерностей их пространственного распределения может изучаться с помощью специального анализа наблюдаемого поля силы тяжести.

В.В. Филатовым [7] рассмотрен общий случай зависимости напряженно-деформированного состояния среды и поля силы тяжести. В основу положена известная в теории упругости задача Миндлина о смещениях, вызываемых в однородном упругом полупространстве произвольно ориентированной сосредоточенной силой.

На основе методики, разработанной В.В. Филатовым [7] и Л.А. Болотновой [2], выполнен геодинамический анализ геологической среды района Екатеринбурга, включая Березовское рудное поле. Расчет деформаций производился по сети 2×2 км. Результаты расчетов представлены картой главных компонент деформации (растяжения и сжатия) и полем дилатации (относительного изменения объема среды).

Дилатация может быть положительной (разуплотнение среды) и отрицательной (уплотнение среды) и обусловлена трещинообразованием или закрытием пор и трещин. Время, как важнейший геологический фактор, оказывает существенное влияние на деформирование пород. Под действием постоянных сил, к которым относятся и гравитационные силы, деформация растет с течением времени. Это явление называется ползучестью. Поскольку

одним из главных механизмов ползучести является образование трещин, то дилатация растет со временем и при этом режиме деформации. Поскольку гравитационные силы являются силами объемными, то в процесс дилатации вовлекаются не только приповерхностные зоны геологических объектов, но и их глубинные части мощностью в первые километры. Однако процесс трещинообразования не является равномерным, области проявления дилатации являются локальными, что и позволяет выявить геодинамический анализ гравитационного поля.

На площади Березовского рудного поля главные оси растяжения и сжатия, изолинии дилатации приведены на рис. 2. Из рисунка видно, что в южной и центральной части рудного поля имеется растяжение по двум взаимно перпендикулярным направлениям, причем наибольшее растяжение имеет преимущественно север-северо-восточное направление. Выделена зона такого площадного растяжения, охватывающая всю южную часть участка, около 2/3 площади. Зону площадного растяжения окаймляет зона одностороннего растяжения шириной до 1.5 км в северной части, в районе северной группы шахт. И только в самой северной части участка наблюдаются малые по величине деформации растяжения и перпендикулярные им столь же малые деформации сжатия. На рис. 2 показана осевая линия зон площадного и одностороннего растяжения, которая имеет близмеридиональное направление со склонением к востоку. На юге зона растяжения разделяется на две – юго-западного и юго-восточного направлений. Поле дилатации в пределах рассматриваемой площади положительное за исключением небольшой площади в северной части участка, т.е. на большей части площади происходит объемное расширение геологической среды. Наибольшее расширение отмечается в юго-западной части участка, в восточной части Шарташского гранитоидного массива, где оно превышает 160 условных единиц.

Необходимо отметить, что геодинамический анализ был выполнен на площади двух листов масштаба 1 : 200 000, от Верх-Исетского гранитного массива на западе до Мурзинского гнейсового комплекса на востоке, и ни на одном гранитоидном массиве в пределах площади нет таких высоких значений дилатации. Даже на крупном Верх-Исетском массиве дилатация немного превышает 120 единиц. Можно говорить об аномально высоком значении дилатации для Шарташского массива гранитоидов ($160/120 = 1.33$). Изолинии дилатации на рассматриваемой площади вытянуты в направлении на север-северо-восток.

Н.И. и М.Б. Бородаевские [3] отмечали, что дайки двух наиболее молодых циклов – гранит-порфиры II цикла и плагиигранит-порфиры – сгруппированы в два расходящихся к северу пучка. В восточном пучке они при преимущественном простира-

нии СВ 15° падают к западу; в западном пучке они падают к востоку под углом около 65–70° при простираении СВ 5°–СЗ 350°. Если продолжить мысленно указанные направления даек на глубину, то окажется, что их пересечение произойдет в северных участках поля примерно на глубине 2.5–3 км, в южных – на глубине 1.5–2 км. Авторы отмечают также увеличение числа даек к югу.

По разрезам, приведенным в [3], отстроенным авторами до 300–400 м, дайки указанных двух последних циклов продолжены нами на глубину до их пересечения. Пересечения даек по каждому разрезу образуют некоторую зону. Эти зоны вынесены на рис. 2. Кроме ширины зоны указаны и средние глубины пересечения даек – у западного края зоны, у восточного и в центре. Указанная зона пересечения даек имеет субмеридиональное направление с некоторым склонением к востоку и в целом хорошо совпадает с осевой линией зоны площадного растяжения по результатам геодинамического анализа данных гравиметрии. Только в районе разрезов по линиям VI–VI и XII–XII зона сдвинута к востоку. Интересно подметить, что к этим зонам сдвига приурочена большая часть северной группы шахт и весь пояс южных шахт от шахты Красный партизан на западе до шахты Чигаревская на востоке. Глубины пересечения даек в южной части зоны составляют 1.5–2 км, как указывали Н.И. и М.Б. Бородаевские [3]. В северной же части они составляют 3.5–4 км. На рис. 2 показаны глубины до кровли гранитов по геофизическим данным [6]. Сопоставляя эти глубины с глубинами пересечения даек, можно видеть, что последние находятся глубже, чем кровля гранитов. Это может свидетельствовать не только о пространственной, но и генетической связи даек гранитоид-порфиров и Шарташского гранитоидного массива, что признается многими исследователями.

Приведенные данные позволяют считать, что аномально высокая дилатация в восточной части Шарташского гранитоидного массива, к востоку от него и в направлении на север-северо-восток создали благоприятные условия для заложения крутопадающих разломов север-северо-восточного направления, выполненных дайками. В южной части участка, где дилатация выше, наблюдается увеличение числа даек. К северу при уменьшении дилатации их число сокращается, и они практически не выходят за нулевую линию поля дилатации.

Другим важным вопросом является позиция золотого оруденения на картах результатов геодинамического анализа гравитационного поля. На рис. 2 показаны золотодобывающие шахты [4], дайки, выработанные с поверхности, а также контур, охватывающий все рудники, шахты и выработанные дайки. Контур близок к кругу диаметром 7 км с центром вблизи шахты Им. Ленина. В контур входят все красичные жилы, южнее их нет. В поле дила-

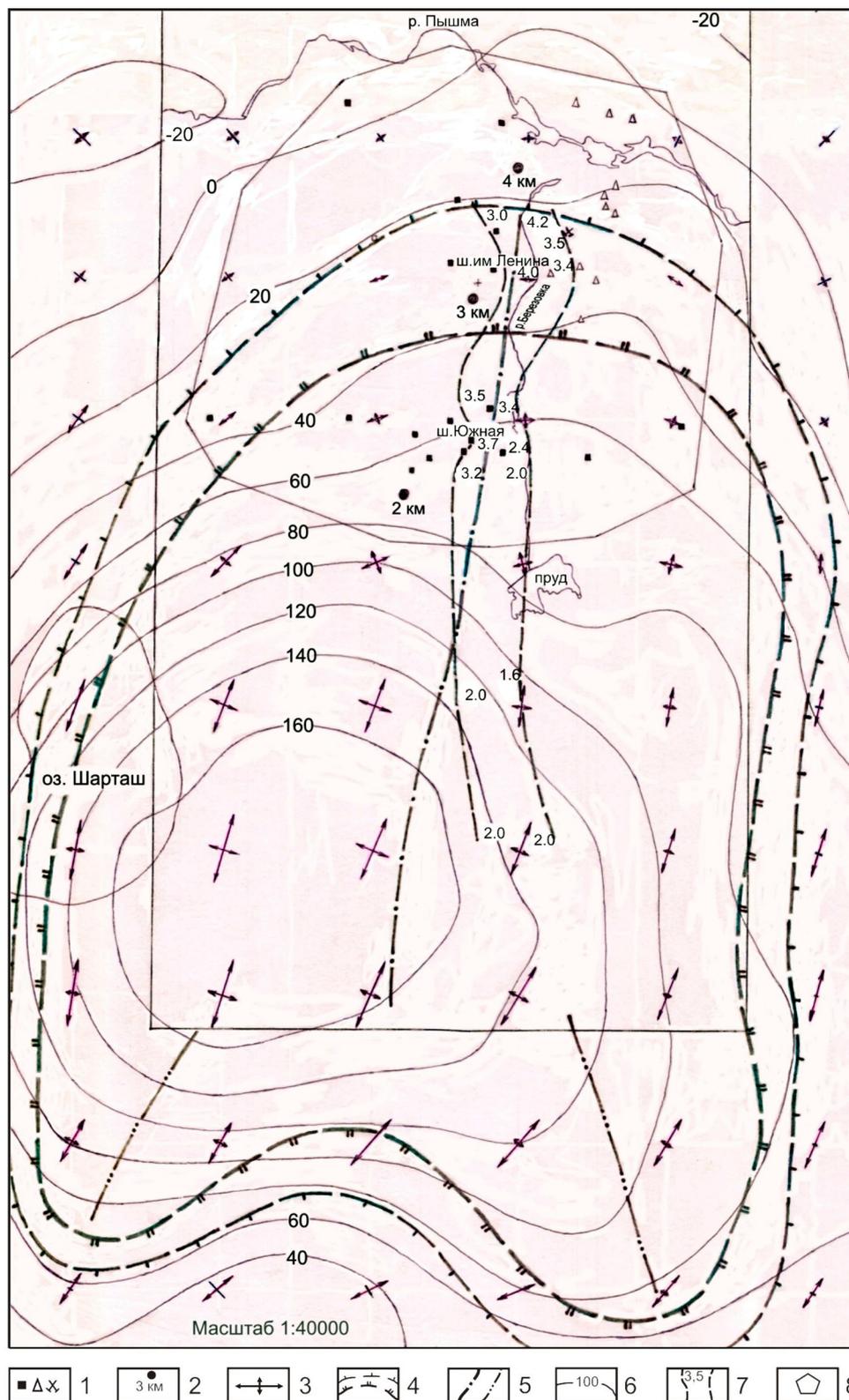


Рис. 2. Схема результатов тектонофизического анализа гравитационных данных по Березовскому рудному полю. 1 – шахты, рудники; 2 – глубина кровли гранитов по геофизическим данным (км); 3 – направления растяжения (со стрелками) и сжатия (без стрелок); 4 – контур зоны площадного растяжения (2 штриха) и одностороннего растяжения (1 штрих); 5 – оси зоны площадного растяжения первого порядка (одна точка) и второго порядка (2 точки); 6 – изолинии дилатации (усл. ед.); 7 – зона пересечения даек с указанием глубин пересечений (км); 8 – контур зоны промышленного золотого оруденения Березовского рудного поля.

тации контур, охватывающий промышленное золотое оруденение, располагается в интервале 0–80 условных единиц. На карте главных компонент деформации можно отметить, что в южной части участка главные оси растяжения имеют строго северо-восточное направление. В пределах контура, охватывающего промышленное золотое оруденение, преобладают субширотное и диагональные направления. С диагональным направлением растяжения в северо-западной части рудного поля совпадает серия жил габбро-диабазов, дайки плагиосиенит-порфиоров Богоявленской свиты и некоторые другие.

Таким образом, отложение золота происходило в зоне умеренно низкой деформации геологической среды. Исследователями отмечается [6], что метасоматическая и рудная зональность является продуктом зонально построенного температурного поля, наведенного Шарташской гранитной интрузией. Сказанному не противоречит тот факт, что золотое оруденение сформировалось в условиях умеренно-низкой деформации, т.к. в обстановке сильной проницаемости не создается условий для отложения рудной компоненты (геодинамический анализ Естюнинского железорудного месторождения [7]).

Материалы, полученные на основе тектонофизического анализа по данным гравиметрии, позволяют сформулировать некоторые особенности поля деформации золоторудного месторождения, связанного с гранитоидным массивом. При благоприятной геологической обстановке выявленные особенности Березовского рудного поля можно рассматривать как критериальные признаки размещения потенциальных рудных полей в разрывных структурах, связанных с неоднородной геологической средой, обусловленной существованием интрузивных массивов. Критериальными признаками выделения перспективных площадей являются следующие:

В поле дилатации:

1. Аномально высокое значение дилатации геологической среды – более 120 условных единиц, в пределах гранитоидного массива и вблизи него, способствовавшее образованию разломов и трещин, выполненных дайками гранитоидов и золотоносных кварцевых жил. Если дилатация в 160 условных единиц способствовала образованию крупного Березовского месторождения, то дилатация в 120–160 условных единиц, вероятно, могла привести к образованию менее крупных, но значимых месторождений, в т.ч. без поля даек, связанных с сериями кварцевых жил, зон окварцевания. Аномально высокая дилатация обеспечивается положением гранитоидного массива между крупными массивами высокой плотности. В данном случае – в 2.5 км к юго-юго-западу расположен Уктусский гипербазитовый массив, где отрицательная дила-

тация (уплотнение пород) достигает 300 условных единиц, а в 5 км к северо-востоку – Пышминско-Березовский массив габбро, где уплотнение пород достигает 100 условных единиц.

2. Перспективной для золотого оруденения является периферийная зона максимального поля дилатации, в интервале от 0 до + 80 условных единиц.

3. Перспективные площади фиксируются низким градиентом поля дилатации: 12–15 условных единиц на 1 км.

В поле главных компонент деформации:

4. Направление оси зоны площадного растяжения отражает направление ориентировки разломов, выполненных дайками двух последних генераций, наиболее ценных в промышленном отношении. Можно предположить, что в иных случаях, при меньшей дилатации, ось зоны может указывать направление разломов и трещин, выполненных кварцевыми жилами, либо направление зон окварцевания.

5. Рудное поле располагается в северном замыкании зоны растяжения, выходя за ее пределы на север до нулевой линии дилатации. Рудному полю соответствуют умеренное и малое растяжение. Преобладают субширотное (вкост оси зоны) и диагональные направления. В самой северной части наряду с растяжением отмечаются крайне малые сжатия. Но нет ни одного случая двустороннего сжатия.

Другие критериальные признаки:

6. По данным гравиметрии гранитоиды Шарташского массива погружаются на северо-восток под Березовское рудное поле полого, под углом 25–30°.

7. В пределах контура промышленного золотого оруденения глубина залегания гранитоидов меньше, чем глубина пересечения даек, что может свидетельствовать не только о пространственной, но и о генетической связи даек гранитоид-порфиоров и Шарташского гранитоидного массива.

Последующими работами указанные критериальные признаки будут уточнены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабенко В.В.* Структурные условия локализации рудных столбов Березовского золоторудного месторождения. Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Свердловск, 1975. 217 с.
2. *Болотнова Л.А.* Методика изучения деформационного состояния геологической среды района Екатеринбург по гравиметрическим данным. Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 2007. 109 с.
3. *Бородаевский Н.И., Бородаевская М.Б.* Березовское рудное поле. М.: Металлургиздат, 1947. 264 с.
4. *Клейменов Д.А., Альбрехт В.Г., Ерохин Ю.В. и др.* Березовское золоторудное месторождение. Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2005. 199 с.
5. *Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Поленов Ю.А.*

- Месторождения золота Урала, сформировавшиеся в различных геодинамических обстановках // Изв. ВУЗов. Горный журнал. 1999. № 5-6. С. 57–81.
6. Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Поленов Ю.А. и др. Золотооруденение Екатеринбургского геологического полигона. Екатеринбург: УГГГА, 1997. 225 с.
7. Филатов В.В. Теория и практика геодинамического анализа гравитационного поля (на примере рудных районов Урала). Дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Свердловск, 1990. 376 с.

Рецензент В.В. Бабенко

Tectonophysical analyses of Beresovsk gold deposit gravitation field and prospecting criteria of the gold ore formation, connected with granitoid massifs

V. F. Somov, E. V. Kadysheva, V. V. Fylatov

Ural State Mining University

Prospecting indicators or criteria reflecting the laws of ore formation processes form the base of mineral deposit forecasting. The universal property of this process for many type deposits is deformable tension of the geological environment. The method of geodynamic analyses of gravitational field can be used for this study besides traditional methods of tectonophysics. It is based on functional dependence of deformation field characteristics caused by inhomogeneous environment density upon gravitational field characteristics. This method was applied to investigation of deformable tension of Beresovsk gold bearing deposit, connected with Shartash granite massive. The studies allowed to formulate a number of prospecting criteria and demonstrated that the gold ore formation is placed in the area of stretching with relatively low meaning of positive dilatation (low permeability of the environment). This conclusion confirms the fact, that the environment with high permeability is not favorable for ore formation.

Key words: prospecting indicator, forecasting of mineral deposits, deformable tension, tectonophysical analyses, gravitational field, Beresovsk gold deposit, dilatation, ore formation.