УДК 549.383+551.24+553.411(470.5)

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ГОРЫ КАРАБАШ (ЮЖНЫЙ УРАЛ) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ МАЛЫХ СТРУКТУРНЫХ ФОРМ

© 2016 г. А. Ю. Кисин, В. В. Мурзин, М. Е. Притчин

Институт геологии и геохимии УрО РАН 620016, Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15 E-mail: kissin@igg.uran.ru

> Поступила в редакцию 22.10.2015 г. Принята к печати 23.11.2015 г.

По результатам изучения малых структурных форм, тел вращения, предложена новая геотектоническая модель становления Карабашского ультрабазитового массива, расположенного в зоне Главного Уральского разлома. Деформации кручения по часовой стрелке, крутое падение осей вращения на северовосток, растрескивание и ряд других особенностей объясняются условиями восходящего тектонического потока корово-мантийной смеси в зоне регионального правого сдвига. Активным был восточный блок. Условия декомпрессии и разогрева вызвали автометаморфизм ультрабазитов и их массовую антигоритизацию. Быстрый сброс давления на верхних горизонтах сопровождался образованием крупных крутопадающих кулисообразных трещин растяжения, субпараллельных бортам зоны сдвига, в которые сбрасывались метаморфогенные флюиды. В результате синтектонического гидротермального минералообразования трещины растяжения заполнялись диопсидом, гранатом, хлоритом, карбонатами и другими минералами, образуя породы типа родингитов. Ранние родингиты также подвергались деформациям в зоне правого сдвига (катаклазу, растаскиванию, деформациям кручения) с синхронным заполнением трещин жильным материалом - новыми генерациями вышеперечисленных минералов. В результате этих деформаций, в жилах родингитов сформировались столбообразные зоны интенсивного катаклаза, имеющие крутое падение на северо-восток, которые вместили наиболее богатые золотоносные руды. По результатам дешифрирования космоснимков выделяются три пологопадающих (около 35°) на северо-восток тектонических нарушения, секущих гору Карабаш в районе месторождения. Предполагается, что это крупные трещины кручения, срезавшие рудные столбы на южном фланге месторождения. С учетом направления вращения, нижняя часть южного фланга месторождения должна располагаться несколько восточнее.

Ключевые слова: геотектоника, структурная геология, месторождения золота, ультрабазиты, Урал.

ВВЕДЕНИЕ

Карабашский массив офиолитовых ультрабазитов расположен в северной части Челябинской области и приурочен к Главному Уральскому разлому (ГУР), разделяющему палеоконтинентальный и палеоокеанический секторы Урала (рис. 1). Массив характеризуется хорошей доступностью (асфальтированная дорога проходит у подножья горы) и относительно неплохой обнаженностью, ввиду отсутствия растительного покрова. Рельеф гористоувалистый, с относительным превышением около 200 м. Месторождение Золотая гора известно с 1898–1899 гг., эксплуатировалось до 1946 г. Различные точки зрения на геологию участка и генезис месторождения отражены в ряде публикаций [1, 8, 9, 12, 14, 18 и др.].

Карабашский ультрабазитовый массив, как и многие другие массивы ГУР, по данным различных авторов, сложен преимущественно антигоритовыми серпентинитами. Местами отмечаются хризотиловые серпентиниты с реликтами β-лизардита. Апогарцбургитовые разности преобладают над аподунитовыми. Иногда встречаются маломощные жилы клинопироксенитов. Э.М. Спиридонов и П.А. Плетнев [18] отмечают признаки стратификации массива, подобные наблюдаемым в Нуралинском и других массивах Урала: в нижней части массива ультрабазиты близки дунитам, а самые верхние участки сложены лерцолитами.

Структурная эволюция Карабашского массива в последнее время детально изучалась группой исследователей из Института геологии Уфимского НЦ РАН [5, 6, 15]. Становление массива они делят на два этапа: 1) *надвиг* восточного падения, возникший в условиях горизонтального сжатия, с образованием диапира (протрузии?) ультрабазитов, имеющего вид клина с острием направленным вниз, 2) *правый сдвиг*. Сдвиговые деформации контролировали образование родингитовых жил, затем зо-



Рис. 1. Схематическая геологическая карта Карабашского массива по [16] с дополнениями.

1 – карамалыташская и улутауская свиты; 2 – ирендыкская свита; 3 – поляковская толща; 4 – салаватский комплекс диорит-плагиогранитный; 5 – сакмарский комплекс габбро-дунит-гарцбургитовый (а – габбро, б – гарцбургиты, дуниты, ортопироксениты, серпентиниты); 6 – таловский комплекс дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый (клинопироксениты, верлиты, дуниты серпетинизированные); 7 – выходы наиболее крупных тел родингитов, к которым приурочено месторождение золота (вне масштаба); 8 – геологические границы; 9 – тектонические нарушения (а – достоверные, б – предполагаемые); 10 – высотные отметки (611.9 м – гора Карабаш).

Врезка а – географическое положение участка, основные населенные пункты.

Врезка **б** – схема расположения Карабашского массива в структурах Урала. Цифры в кружках: 1–5 – Палеоконтинентальный сектор: 1 – Предуральский прогиб и Западноуральская зона складчатости; 2 – Башкирский и 3 – Уфалейско-Уралтауский мегантинорий Центрально-Уральской мегазоны; 4 – Тараташский блок; 5 – Уфалейский блок; 6–7 – Палеоокеанический сектор: 6 – Магнитогорская мегазона; 7 – Восточно-Уральская мегазона. Темная заливка – гипербазиты, прямоугольная рамка – площадь исследований.

Fig. 1. Schematic geological map of Karabash massive from [16] with additions.

1 – Karamalytash and Ulutau suites; 2 – Irendyk suite; 3 – Polyakovka suite; 4 – Salavat complex diorit-plagiogranite; 5 – Sakmara complex of gabbro-dunite-harzburgite (a – gabbro, δ – harzburgite, dunite, serpentinite, ortopyroxenite); 6 – Talovsky com-

plex dunite-verlit-clinopyroxenite-gabbro (clinopyroxenite, verlite, serpetinization dunite); 7 – belt most major bodies of rodingite, which are host of gold deposit (non-scale); 8 – geological boundaries; 9 – tectonic boundaries (a – reliable, δ – estimated); 10 – elevations (611.9 m – Karabash mount).

Block **a** – geographical position of location, major settlements and highways.

Block **b** – schema location of Karabash massive in the Urals structures. The numbers in circles: 1-5 – Paleokontinental: 1 – Cis-Urals depression and West-Urals zone of folding; 2 – Bashkirian and 3 – Ufalej-Uraltau megaantiklinoriums of the Central Urals megazone; 4 – Taratash tectonic block; 5 – Ufalej tectonic block). 6-7 – paleo-oceanic sector (6 – Magnitogorsk megazone; 7 – East-Urals megazone). Dark fill – ultrabasite, rectangle – area studies.

лотоносных родингитовых прожилков, и продолжались в пострудный период. С.Е. Знаменский [5] добавляет еще третий этап: сброс. Однако в этой простой и привлекательной схеме не раскрываются причинно-следственные связи золотого оруденения с надвиго-сдвиговыми деформациями, что и побудило нас провести в 2011-2013 гг. собственные структурные исследования на горе Карабаш. На любом из вышеперечисленных этапов структурной эволюции массива реализуются деформации простого сдвига (в физическом смысле слова), в результате которых возникают различные малые структурные формы, в том числе тела вращения. Мы предполагали, что именно они могут быть ключом к пониманию реальной структуры, как самого массива, так и его золоторудных месторождений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Тела вращения на горе Карабаш распространены очень широко в различных частях массива, включая месторождение золота. Их типичный вид показан на рис. 2. Исследования тел вращения проводилось непосредственно в естественных и искусственных обнажениях. Изучался характер трещиноватости, ее распределения, минерального выполнения, пространственной ориентировки, кине-



Рис. 2. Типичные тела вращения в серпентинитах г. Карабаш. Вид сверху.

Fig. 2. Typical rotation body in serpentines of the Karabash massive. View from top.

матики. Определялись элементы залегания плоскостей рассланцевания вмещающих пород. Производились зарисовки и фотодокументация. Некоторые блоки легко разбираются по естественным трещинам, что позволяет уточнить характер их деформаций. Изучались борозды скольжения и ступеньки отрыва на поверхностях тел вращения, с целью определения ориентировки осей вращения.

Для изучения особенностей деформации внутренних объемов тел вращения, выяснения причин направления падения осей вращения, был отобран ориентированный образец: фрагмент (нижняя часть) типичного тела вращения, извлеченный из вмещающих груборассланцованных серпентинитов. Размер блока 11 × 9 см, высота 11 см. Образец был распилен в горизонтальной плоскости на две части. Затем верхняя его половина была дополнительно распилена в продольном и поперечном вертикальных направлениях (4 блока), а нижняя часть только в поперечном направлении (2 блока). Все плоскости распила отполированы. Изучение образца производилось визуально и под бинокулярным микроскопом, а также в шлифах оптическими методами. Результаты наблюдений (трещины, жилы, перекристаллизация и т.п.) выносились условными значками на сканированное изображение блоков и затем анализировались. Основное внимание уделялось изучению естественной поверхности блока (морфологии, минерализации, кинематическому анализу) и внутренних деформаций (характера трещиноватости, пространственной ориентировки и взаимоотношений прожилков, линз, зеркал скольжения, минеральных скоплений и т.п.).

Кроме того проведено дешифрирование космических снимков (Интернет-ресурсы: Google Earth и http://maps.yandex.ru/), выделены и исследованы гранаты из протолочек дунитов и гарцбургитов (14 зерен), и из шлиховых проб с вершины г. Карабаш (110 зерен).

ТЕКТОНИКА И МОРФОЛОГИЯ МАЛЫХ СТРУКТУРНЫХ ФОРМ

При осмотре обнажений горы Карабаш очевидна неоднородность петрографического состава, выраженная в разнообразии ультраосновных пород (дуниты, вебстериты, гарцбургиты и др.), в различной степени серпентизированных, а также в наличии множества блоков метаморфизованных и мета-

соматически измененных осадочных пород (кварцитов, иногда с рибекитом, яшмоидов, хлориткварц-серицитовых сланцев и др.). Такие образования принято называть серпентинитовым меланжем. Хотя данный массив находится в зоне масштабных сдвиговых деформаций, "зеркала скольжения" наблюдаются относительно редко. Они распространены только на отдельных участках массива, там, где серпентинизация пород и, так называемая "серпентинитовая тектоника", проявлены наиболее интенсивно. Полевые исследования показали, что имеются признаки деформаций, отвечающих очень крутому взбросу юго-восточного падения, однако, к выделению взбросовой структуры надо подходить осторожно - массив залегает среди среднедевонских отложений (см. рис. 1). Хорошо подтверждается и правый сдвиг: системой трещин скалывания и направлением вращения тел. На крутых склонах обнажений ультрабазитов хорошо видно напоминающее конглобрекчии нагромождение разновеликих глыб валунообразной формы, сцементированных разноразмерным угловатым материалом (рис. 3). Все эти неоднородности очень хорошо отпрепарированы и окрашены в черный и желтый цвета частыми кислотными дождями (связанными с производством меди в г. Карабаше), что делает их весьма выразительными и наглядными. Создается впечатление, что это тектонический поток, направленный вверх, примерно, под углом 60° к горизонту. При этом "поток" разделяется на отдельные струи с признаками закручивания по часовой стрелке. Длинные оси вращения струй также имеют крутое падение на восток-северо-восток под углами 70-45°, как и оси вращения отдельных тел.

Размеры тел вращения варьируют от нескольких сантиметров, до нескольких метров. Форма валунообразная: от слегка угловатой, до почти сферической. Иногда образуются протяженные цепочки, напоминающие будинаж-структуры. Тела вращения представлены обычно серпентинитами и термин "будина" применительно к ним кажется не вполне корректным, поскольку вмещающие породы сложены теми же серпентинитами. Реже они представлены блоками родингитов 1-2 м поперечником, залегающими в серпентинитах и являющихся типичными будинами. Тела вращения испытали сложные деформации, иногда радиальноконцентрическое растрескивание (напоминающие старый спил дерева), перекристаллизацию и другие изменения однотипного характера. В подавляющем большинстве случаев (80-90%) оси вращения тел круто падают на северо-восток под углами 90-70°. Иногда наблюдается крутое (90-80°) падение в других направлениях. Очень редко оси вращения ориентированы субгоризонтально, согласно общему простиранию пород. В последнем случае тела вращения больше похожи на вихревые структуры



Рис. 3. Обнажение ультрабазитов на горе Карабаш. Вид на юго-запад по простиранию массива. Длина молотка 28 см.

Fig. 3. Ultrabasite outcrop in the Karabash massive. View to the south-west along the stretch of massif. Hammer' length 28 cm.

и напоминают свитки. Определение точной ориентировки осей вращения тел всегда сильно затруднено в силу ряда объективных обстоятельств: 1) удлинение тел в вертикальном направлении очень мало, 2) форма тел неправильная, валунообразная, 3) в обнажениях обычно виден только срез будины, а остальная ее часть скрыта от наблюдений. Только в редких случаях в субвертикальных обнажениях удавалось делать удовлетворительные замеры элементов залегания осей вращения. По этой причине структурные стереограммы не строились.

Серпентиниты, вмещающие будину, взятую в качестве ориентированного образца, грубо рассланцованы. Азимут простирания плоскости рассланцевания 25-30°СВ, падение субвертикальное ($\pm 10^{\circ}$). В зоне рассланцевания распространены S-структуры, ориентированные как в горизонтальном, так и в вертикальном сечениях вкрест простирания плоскостных элементов. Форма будины овально-цилиндрическая с килевидным низом. Падение оси цилиндра 330-340°СЗ под углом около 80°. Между длинной осью овала горизонтального сечения будины и линией простирания киля имеется угловое несогласие в 10-12°, как если бы верх относительно низа был повернут по часовой стрелке (рис. 4а). На деформации кручения указывает и то, что киль осложнен субгоризонтальной искривленной (выпуклой книзу) трещиной срыва, с зеркалами скольжения и жилами серпофита. Амплитуда смещений по этой поверхности на концах киля имеет разные знаки и составляет 2-3 мм, а к его



Рис. 4. Горизонтальный (а, б) и вертикальные субмеридиональный (в, г) и субширотный (д, е) спилы серпентинитовой будины и их дешифрирование.

1 – жилы и линзы волокнистого серпентина (серпофита); 2 – крупные открытые трещины, падающие на восток под углом 60° и на север (80°); 3 – крупные залеченные трещины, иногда с магнетитом; обратите внимание, что концы этих жил заметно искривлены; 4 – жильные и линзовидные скопления магнетита; 5 – мелкие залеченные трещины скалывания (показаны наиболее значимые); 6 – залеченные трещины, субконформные верхней поверхности будины, возникшие в результате деформаций кручения; 7 – трещины растяжения-кручения, обычно обогащенные магнетитом; 8 – сильно перемятый восковидный непрозрачный серпофит; 9 – направление сдвига. Линия 1–2 на рис. а – линия распила в перпендикулярной плоскости.

Fig. 4. Horizontal (a, δ), a submeridional (B, r) and sublatitudinal (π , e) vertical cuttings of the serpentinite boudin and its interpretation.

1 - veins and lenses fibrous serpentine (serpophyte); 2 - large open cracks, falling to the east at angles of 60° and the north $- 80^{\circ}$; 3 - large filling fractures, sometimes with magnetite; note that the ends of these fractures visibly curved; 4 - veins and lenses with accumulations of magnetite grains; 5 - small filling fractures of broken (showed the most significant); 6 - filling cracks sub-conform to the top surface of the boudin, caused by torsion deformation; 7 - cracks stretching-torsion, usually enrich by magnetite; 8 - deforming opaque serpophyte; 9 - the shear direction. Line 1-2 - the cut of perpendicular plane.

центральной части падает до нуля, образуя подобие пропеллера.

Сверху данный фрагмент будины ограничен почти плоской, чуть выпуклой субгоризонтальной неровной поверхностью, осложненной небольшими ступеньками отрыва. Подобные субгоризонтальные поверхности наблюдаются на подавляющем большинстве будин в обнажениях горы Карабаш. Известно, что будинаж-структуры образуются в результате растяжения. Но возникновение субгоризонтальных поверхностей на будинах только условиями растяжения объяснить нельзя. Морфология этой поверхности лучше всего объясняются формированием трещины отрыва в результате деформаций кручения с одновременным растяжением. В данном случае кручение происходило по часовой стрелке (относительно плоская поверхность, осложненная ступеньками отрыва соответствующей ориентировки). Эта поверхность сильно рассечена различно ориентированными бороздами, которые фиксируют хорошо препарированные выходы залеченных крутопадающих трещин. Юго-западный сектор будины осложняет серия таких субвертикальных трещин растяжения, одна из которых стала границей тела. Трещины зияющие, шириной до 0.5 мм, открытые вверх и на СЗ, но в ЮВ концах и внизу закрытые, частично залеченные. Падение контактов нижней, конусовидной части будины (см. рис. 4а) различное: СЗ сектор – 90–80° под будину; СВ сектор – вертикальное 3 см, затем 45° под будину; восточный сектор – 40° под будину, ЮВ сектор – 60–70° под будину, с глубиной быстро выполаживается до 30°, ЮЗ сектор – субвертикальное. На многих участках поверхности нижней части будины наблюдаются щетки мелких серовато-зеленоватых кристалликов антигорита, выросших в свободном пространстве.

На боковой поверхности "будины" имеются субконформные ей участки скорлуповатоволокнистого строения, сложенные волокнистым серпентином. Ориентировка линейности волокон также субконформна поверхности тела, что делает ее похожей на зеркала скольжения. Несмотря на некоторые вариации, линейность обычно направлена вверх и влево под углами от 10 до 70° к горизонту. Обычно верхние концы волокон закреплены на поверхности будины, хотя встречается и противоположное закрепление. Углы падения отдельных пучков волокон могут неоднократно плавно или резко меняться (кинкбанды). Кроме того, они периодически прерываются ступеньками или трещинами отрыва, частично заполненными хаотично расположенными идиоморфными кристалликами серовато-зеленоватого антигорита. Направление линейности и трещин отрыва на поверхности "будины" указывают на ее перемещение вверх с одновременным вращением по часовой стрелке. Верхняя часть будины вращалась быстрее ее нижней части, что вызвало деформации кручения. Это хорошо видно по характеру деформации киля, в результате которых он отделен от "будины" зеркалом скольжения с вращением в горизонтальной плоскости. Деформации кручения обусловлены конусовидной формой тел, с основанием вверху, и условиями правого сдвига.

Внутреннее строение будины изучалось на полированных образцах и в шлифах, которые позволили увидеть его в 3D-формате. Будина представлена серпентинизированным гарцбургитом, массивным и плотным, с хорошо проявленной зональностью. Внешняя зона мощностью до 10 мм состоит из осветленного и сильно замутненного серпентинита, с густой сеткой микротрещин (см. рис. 4а, в, д). В ЮВ секторе (рис. 4а, б) наблюдается серия жил волокнистого серпентина (хризотила), ориентированных субконформно ее поверхности. Границы жил размытые, неотчетливые. Линейность выражена значительно слабее, чем у подобных образований на поверхности будины, тем не менее, линейность имеется и ориентирована почти перпендикулярно ее поверхности. Вероятно, жилы волокнистого серпентина образовались в результате падения давления и возникновения локальных условий растяжения, на данном участке будины. Об этом же свидетельствуют щетки кристалликов антигорита на поверхности будины в данном сегменте. ЮЗ сектор, кроме нарушения контура овала, осложнен аппендиксом светло-желтого, непрозрачного, восковидного, сильно деформированного серпентина (серпофита). Центральная часть будины представлена темным буровато-зеленым полупрозрачным серпентинитом антигоритового состава, с многочисленными выделениями магнетита, приуроченными к мелким залеченным трещинкам. Сеть залеченных трещин в будине очень густая, ориентировка их в пространстве разнообразная, а взаимоотношения сложные. Угадывается несколько систем трещин, возникших в разное время, но имеющих свою, присущую им ориентировку. Достаточно широко распространены зерна хромшпинели (по всему объему будины).

На вертикальном продольном и поперечном сечении будины (рис. 4в–е) хорошо видна система залеченных трещин субпараллельных поверхности ограничивающей ее сверху, или образующих с ней острый угол. Мы интерпретируем их как трещины сдвига, возникшие в результате деформаций кручения. Параллельно верхней поверхности ориентированы жилы и линзы волокнистого серпентина полосчатой текстуры. Границы их размытые, трудноопределимые. Линейность серпентина в данном образце ориентирована примерно под прямым углом к плоскости жил. В обнажениях крупных будин на горе Карабаш волокна хризотил-асбеста аналогично ориентированных жил достигают в длину 20 мм и образуют острый (до 20–30°) угол с бортами тре-

щины. Образование данных жил можно объяснить деформациями кручения с растяжением. Подобные жилы обычно имеются и около некоторых участков боковой поверхности будин (см. рис. 4в-е). Их образование объясняется вращением будины, перемещением данного ее сектора из области горизонтального сжатия в область горизонтального растяжения. Трещины обозначенные линией 7, вероятно, также являются трещинами кручения и растяжения. Возможно, что эти две системы трещин кручения (линии 5 и 6) отражают разные этапы (эволюции) деформаций. Крупные трещины, обозначенные линиями 2 и 3 относятся к трещинам скалывания и растяжения, вызванные вращением будины: длинная ось овала будины должна быть ориентирована в плоскости сдвига. Этими трещинами обеспечивается овальная форма будины. То же происхождение имеет крупная трещина, ставшая юго-западной границей будины.

Изучение залеченных трещин в будине показало, что она испытала сложные внутренние сдвиговые деформации сколового характера с неоднократной синтектонической перекристаллизацией. Трещины возникали на определенном этапе, были активны какой-то период, а затем отмирали, залечивались жильным материалом. Иногда они вновь активизировались. Одновременно "будина" испытывала растяжение вдоль оси вращения, с образованием пологих трещин отрыва-кручения. Судя по морфологии, верхняя поверхность данного фрагмента "будины" имеет именно такое происхождение. Большинство трещин растяжения залечивалось жильным серпентином.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследование тел вращения в ультрабазитах горы Карабаш показало, что: 1) оси вращения в большинстве случаев круто падают на СВ; 2) будины испытали деформации кручения по часовой стрелке и растяжение вдоль оси вращения; 3) внутренний объем будин испытал синтектонический катаклаз, перекристаллизацию, залечивание трещин жильным материалом, т.е. имело место синтектоническое разуплотнение и перекристаллизация пород; 4) зеркала скольжения на поверхности будин наблюдаются редко. На рис. 5 показана схема ориентировки осей вращения тел при надвиге, сдвиге, сдвиго-надвиге и наблюдаемых на горе Карабаш. Объяснить такую аномальную ориентировку осей вращения тел можно тем, что они имеют форму перевернутого неправильного усеченного конуса. В условиях правого сдвига, характерного для горы Карабаш, оси вращения будут падать на северовосток. Деформации кручения с растяжением обусловлены тем, что верхнее сечение будины больше нижерасположенного сечения. За один полный оборот при вращении любая материальная точка на

ЛИТОСФЕРА № 4 2016



Рис. 5. Положение осей вращения малых тел в условиях простого сдвига при: а – надвиге, б – правом сдвиге, в – надвиге и правом сдвиге; г – фактическое положение для подавляющего большинства тел вращения в гипербазитах горы Карабаш.

1 – ось и направление вращения; 2 – тела вращения; 3 – направление сдвига.

Fig. 5. The position of rotation axes of small bodies in the context of a simple shift: a - overlap, 6 - rightshift, B - overlap and the right shift; r -the actual situation for the vast majority of bodies of revolution in ultrabasite of Karabash massive.

1 - axis and the direction of rotation; 2 - the body rotation; 3 - direction of shift.

верхнем сечении будины проходит больший путь, чем расположенная на нижнем ее сечении. Активным был юго-восточный борт зоны правого сдвига, о чем свидетельствует асимметрия будины: северовосточная ее часть имеет вид достаточно правильного овала, а ЮЗ часть нарушена серией субвертикальных трещин отрыва, с нагнетанием катаклазированного материала в "тень давления" и образованием серпофита. Благодаря деформациям кручения и растяжения – тела вращения приобретают квазиизометричную валуно-образную форму.

Необходимо объяснить и причину того, что верхнее сечение будин почти всегда больше нижнего. Возникновение данных структурных форм лучше всего объясняется квазипластическим восходящим тектоническим потоком, в условиях правого сдвига [8]. В этом случае будет иметь место резкая декомпрессия выносимых к поверхности глубинных пород, сопровождающаяся увеличением объема и, вероятно, усилением их анизотропии. Тектонический поток структурируется, в соответствии с современными представлениями о структурированной геологической среде [3], то есть, возникают реологические неоднородности различных уровней, от зерна и до крупных блоков. Площадь горизонтального сечения потока при его подъеме увеличивается, что в условиях сдвига сопровождается деформациями кручения и наклоном осей вращения на северо-восток. Поднимающиеся вверх породы должны были испытать разогрев (тепловая энергия перенесенного породой с глубины, тепловая энергия трения внутри потока, гидратации минералов, фазовых переходов, химических реакций и др.) и обособление высокоминерализованной флюидной фазы. На примере вышеописанной будины показано, что она деформировалась катакластическим путем, посредством возникновения мелкой трещиноватости, которая, теряя активность, немедленно залечивалась жильным материалом. Перекристаллизация породы и залечивание трещин указывают на наличие флюидов в период активных деформаций. Массовая антигоритизация ультрабазитов, имевшая место в Карабашском массиве, может интерпретироваться как автометаморфизм [1, 8, 9, 12, 14, 18 и др.].

Родингиты также испытали будинирование и вращение. Следовательно, они формировались на прогрессивном этапе процесса, т.е. в восходящем тектоническом потоке. Наиболее крупные тела родингитов, к которым приурочено месторождение золота, образуют свиту кулисообразных жил крутого юго-восточного падения. Они детально описаны многими исследователями [1, 8, 9, 12, 14, 18 и др.] и поэтому здесь мы отметим только некоторые их особенности, важные для понимания геодинамической модели месторождения. Общая протяженность свиты родингитовых тел свыше 2 км, а протяженность отдельных тел достигает десятков и сотен метров, при мощности жил от десятков сантиметров до первых метров. Формирование родингитов носило длительный, стадийный характер, что отразилось на их минеральном составе. В тяжелой фракции крупнообъемных протолочек родингитов реликтовых минералов магматических пород не обнаружено, что можно трактовать в пользу жильного гидротермального минералообразования с гидротермально-метасоматическим изменением вмещающих пород. Сброс давления и увеличение объема при подъеме тектонического потока явились причиной возникновения трещин растяжения в массиве ультрабазитов на прогрессивном этапе процесса. Наиболее крупные трещины ориентированы субконформно бортам разлома (сдвигонадвиговой зоны), вмещающего тектонический поток. Именно такую позицию занимают тела родингитов месторождения Золотая гора. Раскрытие трещин растяжения сопровождалось сбросом в них метаморфогенных флюидов и синхронным образованием родингитов (жильной массы диопсида нескольких генераций и других минералов), которые также подвергались деформациям кручения с образованием трещиноватости, подобной вышеописанной для типовой будины. Часть трещин залечивалась диопсидом и другими минералами, а наиболее поздние – кальцитом.

Богатая золоторудная минерализация приурочена к рудным столбам, имеющим крутое падение на северо-восток. По мнению И.Б. Серавкина и С.Е. Знаменского [5, 6, 15], рудные столбы приурочены к дуплексам растяжения сдвиговой зоны. Наличие таких дуплексов не противоречит современным представлениям о строении сдвиговых зон, хорошо изученных экспериментальными методами. Мы не исключаем, что на месторождении они действительно имеются. Однако здесь надо принять во внимание одинаковое падение осей выделяемых дуплексов растяжения и тел вращения (крутое на северо-восток). Непосредственно на месторождении золота родингиты сильно брекчированы, наблюдаются будины родингитов с признаками вращения, катаклаза и залечивания трещин жильным материалом. Дуплексы растяжения могли образоваться на поздних этапах деформации (неотектонических), когда восходящего тектонического потока уже не существовало, но активизировался правый сдвиг.

Для месторождения Золотая гора характерны самородные металлы (медь, ртутистое и медистое золото), что свидетельствует о восстановленном характере флюидов. Температуры минералообразования достаточно высокие: $T = 470 - 230^{\circ}$ С, P = 1 - 12 кбар (для родингитов 1–2 стадии: $T = 420-470^{\circ}$ C) [12], что соответствует представлениям о поднятых вверх и разогретых породах. Методом газовой хроматографии установлено: 1) включения, вскрытые в интервале температур 200-300°С, вторичные водные с примесью CO, CO₂, N₂, NO; 2) вскрытые при 300–500°С – первичные, существенно водные, обогащенные СО, СО₂ и углеводородами; 3) выше 500°С – водные, обогащенные восстановленными газами (H₂, CH₄, углеводороды, CO и CO₂) [10, 13]. Такая эволюция флюидного режима также отвечает представлениям о выносе к поверхности глубинного материала.

Маловероятно, что ультрабазиты Карабашского массива были выжаты вверх в результате развития надвига (хотя, возможно, он был активен). Об этом можно судить по слабому распространению типичных для таких образований "серпентинитовых обдавышей" – блоков в форме сливовой косточки, полностью ограниченных зеркалами скольжения. Напротив, наблюдается множество блоков изометричной и оскольчато-угловатой формы, а зеркала скольжения редки. Такое могло происходить при декомпрессии и повышенном содержании флюида. Возможная геотектоническая модель становления Карабашского ультрабазитового массива, основанная на [7], приведена на рис. 6. В этом случае тектонический поток мог захватить блоки разноглубинных коровых пород и обогатиться чужеродным



Рис. 6. Предполагаемая геотектоническая модель формирования Карабашского ультрабазитового массива.

1 – корово-мантийная смесь с блоками глубинных пород; 2 – то же, с блоками верхнекоровых пород; 3 – направление течения тектонического потока; 4 – направление движения; 5 – деформации кручения в тектоническом потоке в зоне правого сдвига, в вертикальном сечении; 6 – то же, в горизонтальном сечении; 7 – растяжение; 8 – направление движения активного блока зоны сдвига.

Fig. 6. Estimated geotectonic model of Karabash massive formation.

1 - crust-mantle mixture with blocks of the underlying rocks; 2 - the same with blocks of upper crust rocks; 3 - the direction of tectonic flow; 4 - direction of movement; 5 - torsion in tectonic flow in the zone right shift in vertical cross section; 6 - the same in horizontal section; 7 - stretching; 8 - direction of movement of the active block shear zone.

материалом. Мелкие линзы карбонатного состава в ультрабазитах массива имеют сходство с карбонатитами, обогащены редкоземельными элементами, содержат апатит и монацит [11], что может быть связано с глубинным флюидом. Исследования ксеногенных гранатов из протолочек дунитов и гарцбургитов, а также из шлиховых проб делювиальных отложений на вершине горы показали, что преобладают пироп-альмандины кислых гранулитов и альмандин-спессартины гранитоидов (рис. 7). И в протолочках ультрабазитов, и в шлихах встречены единичные зерна граната трехкомпонентного состава, которые могут иметь глубинное происхождение [2, 4, 17, 19]. Часто наблюдаемые в обнажениях структуры нагнетания, трещины растяжения, флюидальность и высокая кавернозность ультрабазитов указывают на малоглубинные условия становления массива и на высокое внутреннее давление в тектоническом потоке.

Крупные трещины кручения-растяжения в массиве предполагаются и по результатам дешифрирования космоснимков. Три таких трещины, падающие на СВ под углом около 35° (вычисленный) (рис. 8), вероятно, срезают юго-западный фланг рудного тела (здесь богатые золотоносные рудные столбы резко обрываются вдоль плоскости, падающей под близким углом). При натурной заверке результатов дешифрирования установлено, что на перевале имеются асимметричные седловины, на ко-



Рис. 7. Компонентный состав гранатов горы Карабаш.

Fig. 7. Compositions of the garnets Karabash Mount.

торых в обнажениях имеются признаки поперечных деформаций (самые южные окончания пред-



полагаемых нарушений). По западному склону они прослеживаются узкими уступами, полого спускающимися на север. Нарушение, ограничивающее месторождение с юга, которое предположительно и срезает его южный фланг, фиксируется крупным логом, заваленным делювиальными отложениями. Только в нижней его части (восточное окончание Рис. 8. Дешифрирование космоснимка горы Карабаш.

 золотоносные родингиты; 2 – пологие тектонические срывы, вызванные кручением; 3 – вычисленные векторы и углы падения; 4 – направление сдвига; 5 – направление вращения.

Fig. 8. Interpretation of satellite imagery of Karabash Mount.

1 - gold-bearing rodingites, 2 - gentle tectonic disruptions caused by torsion, 3 - calculated vectors and angles of incidence; 4 - the shear direction; 5 - the direction of rotation.

нарушения на рисунке), в обнажениях около устья старой штольни, имеются признаки тектонического нарушения полого падающего на северо-восток или восток. Если это так, то нижняя часть южного фланга месторождения должна находиться несколько восточнее ее верхней части. Амплитуду смещения оценить сложно, ввиду отсутствия реперов, но она, вероятно, не превышает первых десятков метров. Западный склон горы имеет вид слоистой толщи (рис. 9), обусловленный, возможно, деформациями кручения.



Рис. 9. Вид на гору Карабаш с запада (а) и результаты дешифрирования (б).

Граница между вулканогенно-осадочной толщей и ультрабазитами (**Sp) выглядит почти горизонтальной; родингиты – ме**сторождение Золотая гора; карбонаты – линзы и жилы золотоносных карбонатитоподобных доломитов.

Fig. 9. View the Karabash Mount from west (a) and interpretation results (б).

Volcanogenic-sedimentary rocks and ultrabasite boundary (Sp) looks almost horizontal. Родингиты – The Golden Mountain deposit. Карбонаты – lenses and veins of gold-bearing carbonatite – like dolomites.

выводы

Исследования малых структурных форм в ультрабазитах горы Карабаш позволили сделать следующие выводы.

Деформации пород носят сложный характер и их трудно объяснить только поэтапным проявлением надвига, правого сдвига и сброса. Деформации кручения указывают на перемещение материала вверх в условиях правого сдвига и декомпрессии. Падение осей вращения связано с активностью восточного борта сдвига. Декомпрессия пород восходящего тектонического потока явилась причиной образования крупных крутопадающих трещин растяжения, автометаморфизма и гидротермальной деятельности, с образованием нескольких генераций родингитов, карбонатных прожилков, минералов золота. Деформации кручения в зоне правого сдвига, наложенные на тела родингитов и вызвавшие их катаклаз, подготовили структуры для богатых рудных столбов. По результатам дешифрирования космоснимков предполагается, что причиной быстрого выклинивания рудных столбов на южном фланге месторождения явились деформации кручения в массиве и их срезания пологопадающими крупными трещинами.

Таким образом, проведенные исследования позволяют связать золотоносные родингиты месторождения "Золотая гора" с декомпрессией и автометаморфизмом глубинного ультрабазитового материала, поднятого восходящим тектоническим потоком.

Авторы благодарят доктора геолого-минералогических наук А.А. Краснобаева (ИГГ УрО РАН), предоставившего для минералогических исследований тяжелые фракции протолочек ультраосновных пород и родингитов горы Карабаш.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Программы Президиума УрО РАН № 15-11-5-17 и Проекта РФФИ № 12-05-00734а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Берзон Р.О., Бородаевский Н.И. (1984) Месторождение Золотая Гора. Золоторудные месторождения СССР. Т.1. М.: Недра, 187-195.
- Вализер П.М., Дубинина Е.В. (2007) Пироп-альмандин-гроссуляровые гранаты эклогитов Максютовского комплекса (Южный Урал). Минералогия Урала-2007. Миасс–Екатеринбург: УрО РАН, 206-210.
- Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С. (2005) Введение в тектонофизику. М.: КДУ, 496 с.
- Зворыгина А.А., Русин А.И., Вализер П.М. (2013) Новые данные о составе мафит-ультрамафитовой единицы Максютовского комплекса. *Ежегод*ник-2012. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 160, 202-206.
- Знаменский С.Е. (2009) Структурные условия формирования коллизионных месторождений золота восточного склона Южного Урала. Уфа: ГИЛЕМ, 348 с.

6. Знаменский С.Е., Серавкин И.Б., Майер М.Ф. (2005) Структурный контроль золото-родингитового оруденения месторождения Золотая гора (Южный Урал). Известия ВУЗов. Геология и разведка. (1), 30-35.

- Кисин А.Ю. (2009) Общекоровая складчатость и горообразование. Ученые записки Казанского университета. Сер. Естественные науки. 151(3), 216-228.
- Кисин А.Ю., Мурзин В.В. (2012) Малые структурные формы в ультрабазитах горы Карабаш. Геодинамика, рудные месторождения и глубинное строение литосферы. Мат-лы Всеросс. конф. (XV Чтения памяти акад. А.Н. Заварицкого). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 117-119.
- 9. Ложечкин М.П. (1935) Карабашское месторождение медистого золота. *Проблемы геохимии основных магм*. Свердловск: УФАН СССР, 35-44.
- Мурзин В.В. (2006) Происхождение флюида при формировании золотоносных родингитов по изотопным данным (на примере Карабашского массива альпинотипных гипербазитов, Южный Урал). Докл. *АН.* 406(5), 683-686.
- Мурзин В.В., Варламов Д.А., Попов В.А., Ерохин Ю.В., Рахов Е.В. (2005) Минералого-геохимические особенности золото-редкометалльноредкоземельной минерализации хлорит-карбонатных пород Карабашского массива гипербазитов (Южный Урал). Уральский минералогический сборник (13). Миасс: ИМин УрО РАН, 123-145.
- Мурзин В.В., Сазонов В.Н., Варламов Д.А., Шанина С.Н. (2006) Золотое оруденение в родингитах массивов альпинотипных гипербазитов. *Литосфера.* (1), 113-134.
- Мурзин В.В., Шанина С.Н. (2007) Флюидный режим формирования и происхождение золотоносных родингитов Карабашского массива альпинотипных гипербазитов на Южном Урале. *Геохимия*. (10), 1085-1099.
- Сазонов В.Н., Мурзин В.В., Огородников В.Н., Волченко Ю.А. (2002) Золотое оруденение, сопряженное с альпинотипными ультрабазитами (на примере Урала). *Литосфера*. (4), 63-77.
- Серавкин И.Б., Знаменский С.Е., Косарев А.М. (2003) Главный Уральский разлом на Южном Урале: структура и основные этапы формирования. *Геотектоника*. (3), 42-64.
- 16. Сначёв А.В., Кузнецов Н.С., Сначёв В.И. (2011) Черноозерское проявление золота – первый объект на Южном Урале в углеродистых отложениях офиолитовой ассоциации. Докл. АН. 439(1), 83-85.
- 17. Соболев Н.В. (1964) Парагенетические типы гранатов. М.: Наука, 218 с.
- Спиридонов Э.М., Плетнев П.А. (2002) Месторождение медистого золота Золотая гора (о "золотородингитовой" формации). М.: Научный мир, 220 с.
 Чащухин И.С., Чащухина В.А., Гмыра В.Г., Черед-
- 19. Чащухин И.С., Чащухина В.А., Гмыра В.Г., Чередниченко Н.В. (2012) О реликтах гранатовой фации в шпинелевых лерцолитах Урала. 18-я Всерос.науч. конф. "Уральская минералогическая школа-2012", посвящ. благородным металлам. Сб. статей студентов, аспирантов, научных сотрудников академических институтов и преподавателей ВУЗов геологического профиля. Екатеринбург: Изд. ИГГ УрО РАН, 192-197.

Tectonic position of the gold mineralization of the Karabash Mountain (Southern Urals): Examination of small structural forms

A. Yu. Kissin, V. V. Murzin, M. E. Pritchin

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

Accorting to examination of the small structural forms and rotation shapes a new geotectonic model of the Karabash massif' formation which is located in a zone of the Main Uralian Fault is considered. The clockwise torsion, steep incline axis to the North-East, cracking and several other features are explained by the conditions of tectonic crustal-mantle flow's rising in a regional zone of a right shift. Eastern block was active. Conditions of decompression and warm-up caused avtometamorfizm and antigoritisation of ultrabasite. A rapid pressure collapse in the upper horizons of a crust was accompanied by a formation of the large steep echelon-like stretching cracks sub-parallel the sides of a shear zone in which metamorphic fluids were thrown off. As a result of sintectonic hydrothermal mineralization the stretching cracks filled by diopside, chlorite, garnet, carbonates and other minerals which formed the rodingite-like metasomatic rocks. Early rodingites were also subjected to deformation in a right shift zone (cataclasis, boudinage, rotational deformation) with simultaneous filling of cracks by the new generations of above-mentioned minerals. As a result of this deformations in the rodingite veins were formed the especially intensive cataclasis pillar-like zones. These zones have a steep fall to the NE and contain the richest gold ore. Following an interpretation of a satellite imagery there are three gently dipping (about 35°NE) of tectonic fractures cutting of the Karabash massif are distinguished. It is suggested that these fractures are the large torsion cracks which cut the the southern flank of a field. With a taking in a mind of rotation direction a lower part of the southern flank of a gold deposit could be located further to the east.

Key words: geotectonics, structural geology, gold deposit, ultrabasite, Urals.

REFERENCES

- 1. Berzon R.O., Borodaevsky N.I. (1984) Mine Gold Mountain. *Zolotorudnye mestorozhdenija SSSR. T. 1.* Moscow: Nedra Publ., 187-195. (In Russian)
- Valizer P.M., Dubinina E.V. (2007) Pyrope-almandinegrossular eclogite garnets Maksutov complex (Southern Urals). *Mineralogija Urala-2007*. Miass–Ekaterinburg: UrO RAN, 206-210. (In Russian)
- Goncharov M.A., Talitskij V.G., Frolova N.S. (2005) *Vvedenie v tektonofiziku* [Introduction to tectonophysics]. Moscow: KDU Publ. 496 p. (In Russian)
- 4. Zvorygina A.A., Rusin A.I., Valizer P.M. (2013) New data on the composition of mafic-ultramafic unit Maksutov complex. *Ezhegodnik-2012*. Trudy IGG UrO RAN. V. 160, 202-206. (In Russian)
- 5. Znamenskii S.E. (2009) Strukturnye uslovija formirovanija kollizionnykh mestorozhdenij zolota vostochnogo sklona Yuzhnogo Urala [Structural conditions of formation of collision gold deposits of east slope of Southern Urals]. Ufa: GILEM Publ., 348 p. (In Russian)
- 6. Znamenskii S.E., Seravkin I.B., Majer M.F. (2005) The structural control of mineralization gold-rodingite fields Gold Mountain (Southern Urals). *Izvestija vuzov*. *Geologija i razvedka*. (1), 30-35.
- 7. Kissin A.Yu. (2009) All-crust folding and mountain building. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Ser. Estestvennye nauki.* **151**(3), 216-228. (In Russian)
- Kissin A.Yu., Murzin V.V. (2012) Small structural forms in ultramafites Karabash Mount. Geodinamika, rudnye mestorozhdenija i glubinnoe stroenie litosfery. Materialy Vserossijskoi konferentsii. "XV Chtenija pamjati akad. A.N. Zavaritskogo". Ekaterinburg: IGG UrO RAN, 117-119. (In Russian)

- 9. Lozhechkin M.P. (1935) Karabash cuprous gold deposit. *Problemy geokhimii osnovnykh magm.* Sverdlovsk: UFAN SSSR, 35-44. (In Russian)
- 10. Murzin V.V. (2006) The origin of the fluid in the formation of gold-bearing rodingites on isotope data (as an example alpinotype ultramafites of Karabash massif, Southern Urals). *Dokl. Akad. Nauk.* **406**(5), 683-686. (In Russian)
- 11. Murzin V.V., Varlamov D.A., Popov V.A., Erohin Yu.V., Rahov E.V. (2005) Mineralogical and geochemical features gold-rare-metal-rare-earth mineralization chlorite-carbonate rocks in ultramafites of Karabash masif Southern Urals). *Ural'skij mineralogicheskij sbornik.* (13). Miass: IMin UrO RAN, 123-145. (In Russian).
- 12. Murzin V.V., Sazonov V.N., Varlamov D.A., Shanina S.N. (2006) Gold mineralization in rodingites of alpinotype ultramafites massifs. *Lithosphere*. (1), 113-134. (In Russian)
- Murzin V.V., Shanina S.N. (2007) Fluid regime of the formation and origin of gold-bearing rodingites Karabash massif of alpinotype ultramafites in the Southern Urals. *Geokhimiya*. (10), 1085-1099. (In Russian)
- 14. Sazonov V.N., Murzin V.V., Ogorodnikov V.N., Volchenko Yu.A. (2002) Gold mineralization, combined with alpinotype ultrabasic rocks (in the Urals example). *Lithosphere*. (4), 63-77. (In Russian)
- Seravkin I.B., Znamenskij S.E., Kosarev A.M. (2003) Main Ural Fault in the Southern Urals: structure and main stages of formation. *Geotektonika*. (3), 42-64. (In Russian)
- Snachev A.V., Kuznetsov N.S., Snachev V.I. (2011) Chernoozersk gold manifestation – the first establishment in the Southern Urals in carbonaceous sediments of ophiolitic association. *Dokl. Akad. Nauk.* 439(1), 83-85. (In Russian)

- Sobolev N.V. (1964) Parageneticheskie tipy granatov [Paragenetic types of garnets]. Moscow: Nauka Publ., 218 p. (In Russian)
- Spiridonov E.M., Pletnev P.A. (2002) Mestorozhdenie medistogo zolota Zolotaja gora (o "zoloto-rodingitovoj" formatsii) [Mine cuprous gold Gold Mountain (on the "gold-rodingite" formation)]. Moscow: Nauchnyj mir Publ., 220 p. (In Russian)
- 19. Chashchukhin I.S., Chashchukhina V.A., Gmyra V.G., Cherednichenko N.V. (2012) On the relics of garnet facies in Urals spinel lherzolites. *18-ja Vserossiiskaya nauchnaya conferentsija.* "Ural'skaja mineralogicheskaja shkola-2012", posvjashchonnaja blagorodnym metallam. Ekaterinburg: IGG UrO RAN, 192-197. (In Russian)