УДК 553.411: 551.243.6

# РУДОВМЕЩАЮЩИЕ ТРАНСТЕНСИВНЫЕ ДУПЛЕКСЫ ЗОЛОТО-КВАРЦЕВЫХ И ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНО-КВАРЦЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОГО УРАЛА

© 2011 г. С. Е. Знаменский, Н. М. Знаменская

Институт геологии Уфимского НЦ РАН 450077, г. Уфа, ул. К.Маркса, 16/2 E-mail: Znamensky\_Sergey@mail.ru
Поступила в редакциию 10.01.2010 г.

По результатам детальных структурных и тектонофизических исследований выделен новый тип рудовмещающих структур золото-кварцевых и золото-сульфидно-кварцевых месторождений Южного Урала — транстенсивные дуплексы. Охарактеризованы золотоносные дуплексы, образовавшиеся на прямолинейных участках сдвиговых зон, на изгибах сдвигов (сдвиговых зон) и на ступенчатых перекрытиях разломов. Показано, что условия локализации золото-кварцевого и золото-сульфидно-кварцевого оруденения в транстенсивных дуплексах зависят от степени развития и геометрии этих разрывных структур, а также от типа рудоконтролирующих тектонических деформаций.

Ключевые слова: сдвиговая зона, транстенсивный дуплекс, R- и R'-сколы Риделя, золото-кварцевые и золото-сульфидно-кварцевые месторождения.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Сдвиговые дуплексы представляют собой разрывные структуры линзовидно-ромбовидной в плане формы, ограниченные двумя субпараллельными сдвигами и диагональными к ним дополнительными разрывами (рис. 1) [28]. Внутренние части дуплексных структур обычно нарушены вторичными парагенезисами эшелонированных разрывов. По характеру разрушения выделяются дуплексы сжатия и растяжения. Для первых из них типичны ассоциации дополнительных надвигов, взбросов, взбросо-надвигов и сдвиго-взбросов. Дуплексам растяжения свойственны ассоциации вторичных сдвигов, сбросов, сдвиго-сбросов. Более подробные сведения о разрывных структурах этого генетического типа можно найти в работах М.Т. Свансона [27], Н. Вудкокка и М. Фишера [28].

Исследованию закономерностей размещения эндогенного оруденения в сдвиговых дуплексах посвящена обширная в основном зарубежная литература [6, 7, 18–21 и др.]. Они установлены в различных по возрасту и геодинамике металлогенических провинциях, на рудных полях медно-порфировых, гидротермальных жильных полиметаллических, скарновых, эпи- мезотермальных золотых месторождений. В статье, ранее опубликованной в журнале «Литосфера», нами было показано, что сдвиговые дуплексы растяжения играют ведущую роль в региональном структурном контроле позднепалеозойского золотого оруденения Магнитогорской мегазоны Южного Урала [5]. По нашим данным, транстенсивные дуплексы являются также одним из основных типов локальных рудовмещающих структур золото-кварцевых и золото-сульфидно-кварцевых месторождений южноуральского региона.

Золотоконтролирующие дуплексы, сопоставимые по масштабу с масштабами месторождений и рудных полей, изучены в следующих структурных обстановках: 1) на прямолинейных участках сдвиговых зон, 2) на изгибах сдвигов и сдвиговых зон и 3) на ступенчатых перекрытиях сдвигов.

### ДУПЛЕКСЫ НА ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКАХ СДВИГОВЫХ ЗОН

Условия размещения оруденения в дуплексах, сформировавшихся на прямолинейных участках сдвиговых зон, можно проиллюстрировать на примере золото-сульфидно-кварцевого месторождения Кочкарь, относящегося к золоторудным объектам мирового класса [8]. Оно приурочено к северной части Пластовского массива плагиогранитов. по-видимому, имеющего раннедевонский возраст [13]. Массив залегает в зоне сопряжения структур Восточно-Уральского поднятия и расположенного восточнее одноименного прогиба (рис. 2). Рудные жилы на месторождении локализованы в крутопадающих разрывах, развитых преимущественно в дайках и вдоль их контактов. Большинство рудоконтролирующих даек преобразовано в "табашки" - полигенные амфибол-биотитовые метасоматиты с примесью полевых шпатов, кварца, карбонатов и других минералов [2, 4, 11]. Петрографические и петрогеохимические данные свидетельствуют о том, что "табашкизации" подверглись в основ-



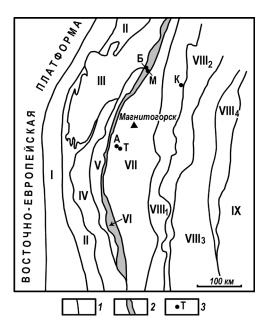
**Рис. 1.** Основные типы и элементы строения сдвиговых дуплексов [26].

1 — главные сдвиги (разломы, образующие дуплексы, по С.И. Шерману с соавторами [10]); 2—3 — вторичные разрывы (разрывы, разрушающие дуплексы, по С.И. Шерману с соавторами [10]): 2 — надвиги, взбросы, сдвиго-надвиги, сдвиго-взбросы; 3 — сдвиги, сбросы, сдвиго-сбросы, сбросо-сдвиги, трещины отрыва. L — длина, H — ширина.

ном дайки лампрофиров [13]. Преобладают дайки и разрывы с жилами северо-восточного и субширотного направлений. Они концентрируются в трех зонах (свитах по Н.И. Бородаевскому [2]) северовосточного простирания: Северной, Центральной и Южной (рис. 3а). В подчиненном количестве присутствуют северо-западные и близмеридиональные дайки и разломы, игравшие, главным образом, роль рудоблокирующих структур [14].

В телах "табашек" северо-восточного и субширотного простираний установлены признаки четырех фаз тектонических деформаций [23] (от ранних к поздним): 1) дорудных пластических, 2) внутрирудных упруго-пластических, 3) послерудных хрупких и 4) послерудных упруго-пластических.

В результате ранних дорудных деформаций дайки лампрофиров были трансформированы в пластические правосдвиговые зоны. Деформационные процессы происходили в условиях метаморфизма зеленосланцевой фации, приведшего к образованию ранних "табашек" существенно биотитового состава и жил дымчатого кварца. Сдвиговым зонам свойственны интенсивная сланцеватость, протяженные зеркала скольжения и разрывы с милонитовым материалом, ориентированные преимущественно субпараллельно контактам даек, а также S-C-тектониты с очковыми текстурами. Местами сланцеватость и вторичные разрывы смяты в разномасштабные флексурные и изоклинальные складки волочения с крутыми шарнирами. Сланцеватые и очковые текстуры подчеркиваются распределением биотита и, в меньшей степени, амфиболов. Во вмещающих плагиогранитах динамометаморфические изменения проявлены, как правило, только в

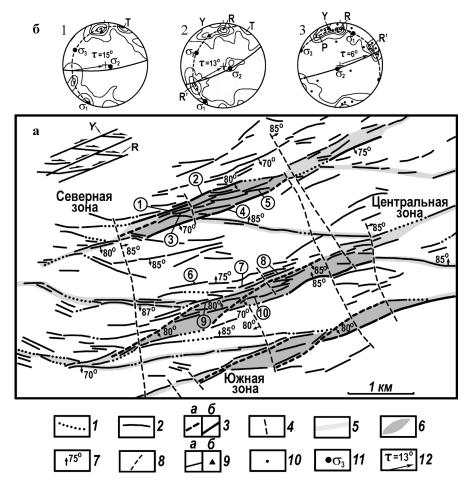


**Рис. 2.** Схема размещения рассматриваемых в статье месторождений золота в региональных тектонических структурах Южного Урала (составлена на основе тектонической карты Урала масштаба 1:1 000 000 [12]).

1 — границы региональных тектонических структур (I — Предуральский краевой прогиб, II — Западно-Уральская внешняя зона складчатости, III — Башкирский мегаантиклинорий, IV — Зилаирский синклинорий, V — Уралтауский антиклинорий, VI — зона Главного Уральского разлома, VII — Магнитогорская мегазона (синформа), VIII — Урало-Тобольская (Восточно-Уральская) мегазона: VIII<sub>1</sub> — Восточно-Уральское поднятие, VIII<sub>2</sub> — Восточно-Уральской прогиб, VIII<sub>3</sub> — Джетыгаринско-Троицкое (Зауральское) поднятие, VIII<sub>4</sub> — Денисовская зона; IX — Зауральская мегазона); 2 — зона Главного Уральского разлома; 3 — месторождения золота (А — Аллагул-тау, Т — Тукан, Б — Большой Каран, М — Малый Каран, К — Кочкарь).

узких зонах, прилегающих к контактам даек. Сходная структурная ситуация описана А. Белкабиром с соавторами [15] на канадском жильном золоторудном месторождении Стар Лейк, расположенном в позднеархейском гранитоидном массиве. На этом месторождении золотоконтролирующие сдвиговые зоны избирательно развиты в мафических дайках, обладающих повышенной пластичностью по сравнению с вмещающими гранитами.

Формирование жильного золото-сульфиднокварцевого оруденения происходило в условиях упруго-пластических деформаций второй фазы, вызвавших малоамплитудные реактивированные движения по ранее образованным сдвиговым зонам. Крупные рудные жилы, обладающие массивными, полосчатыми и брекчиевидными текстурами, выполняют вторичные разрывы этих зон. Они имеют прерывистое строение, обусловленное чередованием по простиранию и падению протяженных, ча-



**Рис. 3.** Схема размещения рудных жил месторождения Кочкарь (а) по данным геологической службы ЗАО "ЮжУралзолото" с дополнениями авторов, и диаграммы плотностей полюсов (б) кварцевых (1, 3) и сульфидных прожилков (2).

1 – рудоконтролирующие дайки, подвергшиеся "табашкизации"; 2 – рудные жилы; 3 – сдвиги, образующие дуплексы второго порядка в пределах жильных зон (а), и залегающие в них жилы (б); 4 – рудоблокирующие близмеридиональные и северо-западные разломы и дайки; 5 – границы дуплексов растяжения первого порядка, определяющих строение главной сдвиговой зоны; 6 – дуплексы растяжения второго порядка, развитые в пределах жильных зон; 7 – элементы залегания рудных жил и разрывов; 8–12 – на диаграммах: 8 – плоскости поясов трещиноватости; 9 – плоскости рудных жил (а) и их полюсы (б); 10 – полюсы сульфидных прожилков; 11 – оси главных нормальных напряжений ( $\sigma_1$  – максимального растяжения,  $\sigma_2$  – средняя,  $\sigma_3$  – максимального сжатия); 12 – векторы смещений висячих крыльев разрывов и значения их углов погружения ( $\tau$ ). Арабскими цифрами в кружках обозначены изучавшиеся рудные жилы: 1 – Суторминская, 2 – Северо-Николаевская, 3 – Дегтяро-Кузнецовская, 4 – Сретинская, 5 – Юбилейная, 6 – Бажуковская, 7 – Южно-Александровская, 8 – Северо-Александровская, 9 – Васильевская, 10 – Новая.

Сетка Вульфа, верхняя полусфера: 1-50 замеров (Бажуковская жила), 2-59 замеров (Северо-Николаевская жила), 3-55 замеров (Северо-Александровская жила).

На рис. 3–5, 8: Y – продольные сдвиги (сдвиги, параллельные разломной зоне), R – сколы Риделя (синтетические сдвиги), R' – сопряженные сколы Риделя (антитетические сдвиги), P – вторичные синтетические сдвиги, T – трещины отрыва, сбросы.

сто эшелонированных линз и безрудных интервалов. Раздувы мощности рудных линз приурочены к изгибам разрывов, отклоняющимся по часовой стрелке от их общего простирания, а сокращения мощности – к искривлениям против часовой стрелки, что характерно для правых сдвигов. Рудоносные разрывы сопровождаются оперяющей трещиноватостью, выполненной кварцевыми и в основном наследующими их сульфидными прожилками. Самостоятельные трещины с кварцем и сульфида-

ми по элементам залегания и генетической природе близки между собой. Они обычно образуют вторичные парагенезисы, типичные для правых сдвигов [24]. Прожилки пересекают сланцеватый матрикс "табашек". Околорудные метасоматиты имеют существенно серицит-кварцевый состав и явно наложены на ранние динамометаморфические текстуры биотитовых "табашек".

Определение векторов внутрирудных перемещений по разрывам производилось с использованием

метода поясов В.Н. Даниловича [3], по ориентировке трещин отрыва и структур Риделя [17, 22]. Изучена кинематика рудоносных разрывов трех главных направлений: 1) субширотного (аз. пр. 80-105°), 2) продольного (относительно осевых линий жильных зон) северо-восточного (аз. пр.  $65-70^{\circ}$ ) и 3) диагонального северо-восточного (аз. пр. 50-65°). С помощью кварцевых и сульфидных прожилков по разрывным нарушениям установлены правосторонние движения с подчиненной сбросовой компонентой (диаграммы 1, 2, рис. 3б). Значения углов погружения векторов смещения варьируют в интервале 13-32°. Исключение составляет разлом, вмещающий Северо-Александровскую жилу. По нему реконструированы правосдвиговые перемещения со взбросовой составляющей (диаграмма 3, рис. 36). В пунктах замеров минерализованных трещин на основе статистического метода П.Н. Николаева [9] восстановлено сдвиговое, местами переходное к сбросо-сдвиговому, поле палеонапряжений с северозапад-юго-восточной ориентировкой оси  $\sigma_3$ 

В течение третьей фазы тела "табашек" и золотоносные кварцевые жилы подверглись хрупким деформациям и метаморфическим преобразованиям. Широкое развитие в них получила метаморфическая ассоциация поздних "табашек", включающая крупночешуйчатый биотит, сине-зеленую роговую обманку, цоизит и калиевый полевой шпат [23]. Минералы этой ассоциации не несут заметных признаков динамометаморфических изменений и наложены на кварцевые жилы и дислоцированные "табашки". Биотит и роговая обманка нередко выполняют мелкие разрывы и трещины отрыва, образуя в последних рыхлые, плохо сцементированные жилы. Нами наблюдались случаи пересечения такими жилами рудных тел. Большинство исследователей связывают формирование послерудного биотит-роговообманкового парагенезиса с позднепалеозойским региональным метаморфизмом эпидот-амфиболитовой фации, интенсивно проявившимся в расположенном западнее блоке Восточно-Уральского поднятия и вызвавшим образование в этом блоке гранито-гнейсовых куполов и гранитных интрузий. Наложение процессов регионального метаморфизма привело к локальному перераспределению золота в кварцевых жилах Кочкарского рудного поля с образованием богатых рудных столбов [8].

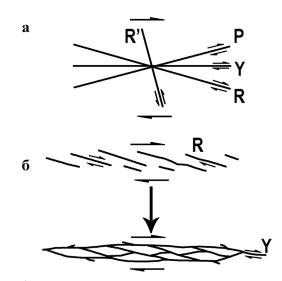
С упруго-пластическими деформациями четвертой фазы связаны малоамплитудные левосторонние смещения по рудоконтролирующим дайкам, совпадающие по времени с регрессивной стадией позднепалеозойского регионального метаморфизма. В этот период в телах "табашек" образовались хлорит-карбонатные метасоматиты и карбонат-кварцевые жилы [23]. Послерудные деформации третьей и четвертой фаз заметного влияния на морфологию рудных жил не оказали.

Возраст рудоконтролирующих даек, "табашек" и золотого оруденения дискуссионен [2, 4, 8, 13]. По

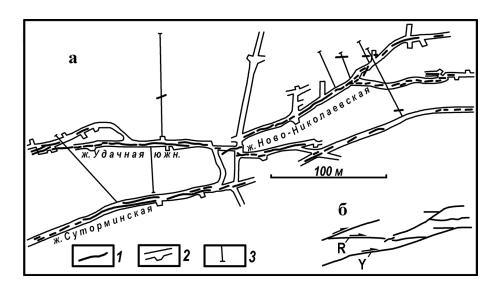
данным цирконовой геохронологии дайки лампрофиров, по-видимому, имеют возраст 390–370 млн. лет, с основным импульсом  $375 \pm 5$  млн. лет [13]. Те же данные позволяют предполагать, что процессы дорудного зеленосланцевого метаморфизма даек лампрофиров и рудообразования происходили в интервале 360–330 млн. лет.

Результаты тектонофизических исследований, выполненных нами внутри и в окрестностях Пластовского массива [4], показали, что тектонические деформации даек лампрофиров, относящиеся к первой и второй фазам, осуществлялись в геодинамическом режиме внешнего латерального сжатия массива плагиогранитов.

На основании полученных результатов структура месторождения интерпретируется нами как эмбриональная сдвиговая зона северо-восточного простирания, образованная разрывами более высоких рангов. Ее длина по простиранию достигает 8.5 км. Восточный фланг зоны изучен недостаточно детально. Западная часть, в пределах шахтного поля, имеет в плане линзовидный структурный рисунок. Тектонические линзы с близширотными длинными осями ограничены жильными свитами, представляющими собой правосдвиговые зоны второго порядка, и залегающими между ними субширотными правосторонними сдвигами и сбросо-сдвигами. По инфраструктуре главная разломная зона месторождения адекватна экспериментальной модели прямолинейного интервала правого сдвига, состоящего из дуплексов растяжения. В экспериментах последние возникали при наложении на R-сколы Риделя продольных Ү-сдвигов (рис. 4) [28]. Тектонические линзы – дуплексы месторождения Кочкарь отличаются невысокой степенью зрелости, и, как следствие этого, слабой тектонической нару-



**Рис. 4.** Идеализированная схема строения правого сдвига (а) и экспериментальная модель формирования транстенсивных дуплексов на прямолинейном участке сдвиговой зоны (б) [28].



**Рис. 5.** Схема размещения рудных жил в центральной части дуплекса Северной свиты (a) (по данным геологической службы ЗАО "ЮжУралзолото") и ее интерпретация (б).

Горизонт 416 м. 1 – рудные жилы, 2 – горные выработки, 3 – скважины.

шенностью. Жильное оруденение концентрируется в оконтуривающих их разломах.

Строение сдвиговых зон, вмещающих жильные свиты, определяется транстенсивными дуплексами более высокого (второго) порядка. В Южной и Центральной зонах они залегают на ступенчатых перекрытиях диагональных (относительно простирания жильных свит) северо-восточных разломов, которые представляют собой Р-сдвиги. Промышленно значимые рудные жилы локализованы главным образом внутри дуплексов в дополнительных разрывах близширотного простирания.

В Северной зоне реконструирован дуплекс растяжения второго порядка, залегающий на ступенчатом перекрытии продольных разломов (Ү-сдвигов). Главными разломами здесь служат сдвиги, вмещающие Суторминскую и Северо-Николаевскую жилы, и рудолокализующий разрыв Сретинской жилы (рис. 3а). Внутренние части нарушены дополнительными разрывами, апроксимирующимися У-сдвигами и R-сколами Риделя. Рудовмещаюшими служат как главные, так и дополнительные сдвиги. Дополнительные разрывы формируют сетку ромбовидных в плане структур, представляющих собой дуплексы растяжения третьего порядка (рис. 5). Среди дуплексных структур растяжения второго порядка транстенсивный дуплекс Северной жильной свиты является наиболее сильно деформированным. Именно в нем сосредоточены основные запасы золота месторождения.

Таким образом, размещение жильного оруденения месторождения Кочкарь контролируется протяженной транстенсивной зоной с телескопированной структурой, обусловленной развитием дуплексов растяжения трех порядков. Дуплексы первого поряд-

ка, определяющие структуру прямолинейного интервала главной рудоконтролирующей сдвиговой зоны, образованы продольными **Y-сдвигами и залега**ющими между ними **R-сколами Риделя**. Следует отметить, что, по данным А.П. Смолина [11], ведущую роль в локализации жильного золото-сульфиднокварцевого оруденения Новотроицкого месторождения, расположенного в южной части Пластовского массива, также играли сдвиговые деформации.

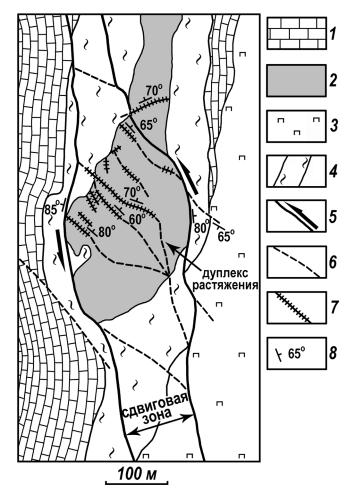
### ДУПЛЕКСЫ НА ИЗГИБАХ СДВИГОВ И СДВИГОВЫХ ЗОН

Дуплексы растяжения, залегающие на изгибах сдвигов (сдвиговых зон), контролируют размещение оруденения на золото-кварцевых месторождениях Аллагул-тау и Тукан [4] и золото-сульфиднокварцевом месторождении Большой Каран (рис. 2). На этих золоторудных объектах дуплексные структуры образовались в интервалах пересечения разрывными нарушениями блоков компетентных пород. Наиболее полно особенности размешения жильной и жильно-штокверковой минерализации в рассматриваемых дуплексах проявились на месторождении Большой Каран, которое расположено в зоне Главного Уральского разлома на северном замыкании Магнитогорской мегазоны. Оно приурочено к южному окончанию Вознесенского диоритового массива позднеордовикского возраста (рис. 6). Массив, характеризующийся дайкообразной формой, залегает в зоне серпентинитового меланжа Яльчигуловского взбросо-надвига север-северовосточного простирания, входящего в систему продольных вторичных разрывных нарушений зоны Главного Уральского разлома [4].

Рудные тела представлены сульфидно-кварцевыми жилами, реже, зонами дробления с сульфидно-кварцевым цементом. Их длина по простиранию достигает 200 м. Мощность колеблется в интервале 0.2—1.5 м. Оруденение сопровождается метасоматитами березит-лиственитового состава. Присутствие брекчиевых руд указывает на небольшую глубину формирования месторождения.

По нашим данным, основной рудоконтролирующей структурой месторождения служит зона левого сдвига север-северо-западного направления, секущая под острым углом Яльчигуловский взбросонадвиг и Вознесенский массив. Сдвиговая зона имеет мощность 60-200 м. Амплитуда смещений по граничным разломам оценивается в 80-100 м. В пределах сдвиговой зоны золоторудная минерализация локализована в дуплексе растяжения линзовидной в плане формы. Дуплекс образовался в интервале пересечения сдвиговой зоной Вознесенского массива. Рудоносный интервал отличается меньшим азимутом простирания, чем разломная зона в целом, и представляет собой изгиб растяжения. Изменение морфологии сдвиговой зоны обусловлено тем, что ее западный граничный разлом в рудоносном интервале наследует форму югозападного контакта диоритового массива, а восточное граничное нарушение, подобно кливажу, преломляется при переходе из пластичного серпентинитового меланжа в более компетентные диориты.

Внутренние части дуплекса нарушены эшелонированными дополнительными разрывами северозападного простирания, вмещающими дайки плагиогранитов мощностью до 1 м. По основным петрогеохимическим параметрам плагиограниты соответствуют породам позднепалеозойского Балбукского сиенит-гранит-порфирового комплекса малых интрузий и даек. Сульфидно-кварцевые жилы развиты преимущественно вдоль контактов, а зоны рудоносных брекчий – внутри даек. Рудовмещающими обычно являются изгибы дополнительных разрывов, отклоняющиеся против часовой стрелки от их общего простирания. Судя по распределению мощности даек и ориентировке трещин отрыва, оперяющих кварцевые жилы, по дополнительным разрывам на дорудном дайковом и рудном этапах происходили малоамплитудные левые сбрососдвиговые смещения. В связи с левосторонним направлением внутриминерализационных смещений рудовмещающие интервалы вторичных разрывов представляли собой локальные зоны растяжения. Кроме того, в дуплексе присутствуют в подчиненном количестве дайки и мелкие рудные жилы, локализованные в правых сдвигах и косых разрывах северо-восточного простирания. Отметим также, что большинство рудных тел не выходит за пределы Вознесенского массива. Тектонофизические реконструкции, выполненные нами в окрестностях месторождения, показали, что рудоносный дуплекс

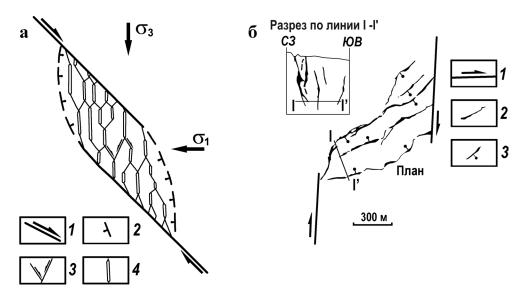


**Рис. 6.** Геолого-структурная схема месторождения Большой Каран (составлена с использованием данных треста "Башзолото").

1 — известняки ( $D_1$ ); 2 — диориты ( $O_3$ ); 3 — пироксениты; 4 — зона серпентинитового меланжа Яльчигуловского взбросо-надвига; 5 — разломы, ограничивающие сдвиговую зону, и направление смещений по ним; 6 — дополнительные разрывы; 7 — основные рудные тела; 8 — элементы залегания.

на дайковом и рудном этапах испытывал внешнее латеральное сжатие [4].

Строение рудовмещающего дуплекса месторождения Большой Каран позволяет предполагать, что размещение в нем золото-сульфидно-кварцевой минерализации контролировалось механизмом "всасывающего насоса" (the suction pump mechanism) [26]. Этот термин используется в зарубежной литературе для обозначения одного из механизмов тектонического контроля путей миграции рудоносных флюидов в верхних частях земной коры. Его реализация в транстенсивных структурах осуществляется следующим образом. Во время сдвиговых смещений по главным разломам в дополнительных разрывах (как в уже существующих, так и во вновь образующихся) возникают локальные зоны растяжения (декомпрессии), в которые мигрируют рудо-



**Рис.** 7. Идеализированная сдвиго-раздвиговая сетка вторичных разрывов (extensional-shear mesh) транстенсивного дуплекса (а) и пример размещения в ней золото-кварцевого оруденения (месторождение Марта, Новая Зеландия) (б) [26].

а: 1 – главные разломы; 2 – латеральные границы дуплекса (сбросы); 3–4 – вторичные разрывы: 3 – сдвиги, 4 – структуры растяжения.

б: 1 – главные разломы и направление смещений по ним, 2–3 – рудные жилы в сдвигах (2) и в структурах их растяжения (3).

носные флюиды до тех пор, пока давление флюидов не будет уравновешено гидростатическим давлением. При этом главные сдвиги остаются безрудными. Структурами, благоприятными для локализации оруденения, могут быть вторичные трещины отрыва, сбросы, сдвиго-сбросы (сбросо-сдвиги), а также изгибы растяжения сдвигов. По данным Р.Х. Сибсона [26], в природных сдвиговых системах часто формируется рудовмещающая сетка вторичных разрывов, состоящая из сдвигов и сопряженных с ними зон растяжения (extensional-shear mesh) (рис. 7а). В качестве примера такой сдвигораздвиговой сетки указанный исследователь приводит разрывную структуру новозеландского жильного золото-кварцевого месторождения Марта, на котором оруденение локализовано во вторичных сдвигах и, главным образом, в сопряженных с ними структурах растяжения (сбросах) (рис. 76). Дополнительные разрывы располагаются на ступенчатой перемычке безрудных левых сдвигов близмеридионального простирания.

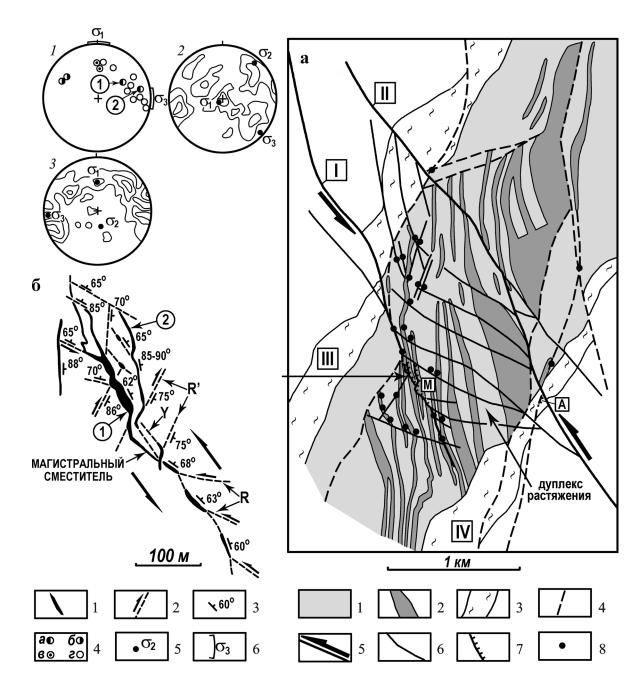
На месторождении Большой Каран отчетливо выражены два импульса смещений по рудоконтролирующей сдвиговой зоне, с первым из которых связано внедрение в дополнительные разрывы даек плагиогранитов, а со вторым — образование золотоносных жил и зон брекчий. Активным на дайковом и рудном этапах, вероятно, был западный граничный сдвиг, так как дайки и рудные тела концентрируются вблизи его восточного крыла. Положение рудных тел определяется сеткой вторичных разрывов Р.Х. Сибсона.

### ДУПЛЕКСЫ НА СТУПЕНЧАТЫХ ПЕРЕКРЫТИЯХ СДВИГОВ

Транстенсивный дуплекс, образовавшийся на ступенчатом перекрытии сдвигов, установлен на Малокаранско-Александровской площади, находящейся в зоне Главного Уральского разлома на северном замыкании Магнитогорской синформы (рис. 2). В ее пределах известны мелкие месторождения и рудопроявления, на которых развиты золотоносные зоны метасоматитов эйситового состава, содержащие сульфидно-альбит-кварцевые штокверки.

структурном отношении Малокаранско-Александровская площадь представляет собой узел, сочетающий разрывные нарушения трех возрастных групп (от ранних к поздним) (рис. 8а): 1) тектоническую пластину вулканогенно-осадочных пород неизвестного возраста, ограниченную зонами серпентинитового меланжа Аушкульского и Малокумачинского взбросо-надвигов юго-восточного падения; 2) систему магматических дуплексов растяжения, локализованных в левосторонней разломной зоне близмеридионального простирания; 3) синрудную левосдвиговую зону северо-западного направления, ограниченную Малокаранским и Северо-Александровским разломами. Магматические дуплексы выполнены телами сиенит-диоритов, сиенит-порфиров и граносиенит-порфиров Балбукского комплекса позднепалеозойского возраста [4].

Главной рудоконтролирующей структурой Малокаранско-Александровской площади служит левосдвиговая зона северо-западного простира-



**Рис. 8.** Структурные схемы Малокаранско-Александровской площади (а) и месторождения Малый Каран (б) (составлены с использованием данных треста "Башзолото" и Н.И. Бородаевского [1]).

<sup>1</sup>—3 — диаграммы (сетка Вульфа, верхняя полусфера): 1 — полюсов разрывов, вмещающих зоны эйситов, 2 — плотностей полюсов альбит-кварцевых прожилков (97 замеров, изолинии соответствуют 1—3—5%), 3 — плотностей полюсов сульфидных прожилков (90 замеров, изолинии соответствуют 1—3—6%).

а: 1 – вулканогенно-осадочные породы; 2 – интрузивные тела Балбукского сиенит-гранит-порфирового комплекса (С<sub>2</sub>-Р); 3 – зоны серпентинитового меланжа; 4 – магмаконтролирующие сдвиги; 5–6 – рудоконтролирующие сдвиги: 5 – главные и направление смещения по ним, 6 – дополнительные; 7 – рудные зоны месторождений Малый Каран и Александровское; 8 – мелкие рудопроявления. Римскими цифрами в квадратах обозначены разломы: І – Малокаранский, ІІ – Северо-Александровский, ІІІ – Аушкульский, ІV – Малокумачинский; литерами – месторождения: М – Малый Каран, А – Александровское.

<sup>6</sup>: 1—зоны эйситов с сульфидно-альбит-кварцевыми штокверками; 2 — разрывы (стрелками показана горизонтальная составляющая смещений крыльев); 3 — элементы залегания разрывов; 4—6 — на диаграммах: 4 — полюса разрывов, вмещающих зоны эйситов (a — левых сдвигов, b — правых сдвигов, b — сбросов, b — разрывов неопределенного кинематического типа), b — оси главных нормальных напряжений (b0 — максимальных, b0 — средних и b0 — минимальных), b0 — секторы возможной ориентировки осей главных нормальных напряжений. Арабскими цифрами в кружках показаны рудные зоны: b0 — головеская жила и b0 — Центральная жила.

ния. Северо-Александровский разлом, ограничивающий сдвиговую зону с северо-востока, характеризуется крутым юго-западным падением. Горизонтальная амплитуда смещения по нему составляет первые десятки метров. Малокаранский разлом, ограничивающий сдвиговую зону с противоположной стороны, имеет северо-восточное падение под углами 70–85°. Среди сдвиговых нарушений поздней группы он является наиболее амплитудным. На северо-западном фланге золотоносной площади разлом смещает с левым знаком зону серпентинитового меланжа Аушкульского взбросо-надвига на расстояние около 300 м. Граничные сдвиги образуют левоступенчатое перекрытие.

На южном фланге ступенчатого офсета располагается дуплекс растяжения линзовидной в плане конфигурации. Тектоническая линза нарушена эшелонированными дополнительными левыми сдвигами запад-северо-западного простирания, соответствующими по положению и кинематике R-сколам. Дополнительные разрывы представлены в обнажениях маломощными, часто прерывистыми зонами рассланцевания, зеркал скольжения и сколовых трещин. Амплитуда смещений по ним не превышает первых метров. По простиранию сдвиговой зоны дуплекс растяжения сменяется в северо-западном направлении областью развития дополнительных левых сдвигов и взбросо-сдвигов северо-западного простирания, по-видимому, относящихся к вторичным синтетическим сдвигам.

Наиболее крупные золоторудные объекты Малокаранско-Александровской площади — месторождения Малый Каран и Александровское, а также значительная часть рудопроявлений располагаются в дуплексе растяжения. Александровское месторождение находится в юго-восточном углу дуплексной структуры. Рудная зона месторождения протяженностью по простиранию около 50 м приурочена к магмаконтролирующему разлому северо-восточного простирания. По нему установлены реактивированные внутриминерализационные движения с правым знаком.

Месторождение Малый Каран залегает вблизи юго-западного угла дуплекса в зоне одноименного разлома в интервале сопряжения его с дополнительными сдвигами запад-северо-западного простирания. Рудоносный интервал отличается небольшим отклонением (на 5-10°) против часовой стрелки относительно общего простирания разломной зоны. Золотоносные эйситы развиты главным образом вдоль контактов и внутри дайкообразных тел сиенит-порфиров Балбукского комплекса. По нашим наблюдениям в эксплуатационном карьере месторождения, размещение метасоматитов контролируется магистральным швом Малокаранского разлома, имеющим ломаную в плане форму, и тремя сопряженными с ним системами вторичных разрывов: 1) северо-западной, продольной по отношению к направлению шва, 2) диагональной, запад-северо-западной и 3) диагональной, северовосточной (рис. 8б). Магистральный сместитель и разрывы вторичного парагенезиса представлены в основном зонами интенсивного рассланцевания и милонитизации различной мощности.

Результаты статистической обработки замеров ориентировки шарниров динамометаморфических складок, синхронных процессам эйситизации, а также альбит-кварцевых и сульфидных прожилков позволили установить, что разрывы первых двух систем на рудном этапе имели доминирующую левосдвиговую, а северо-восточные нарушения — правосдвиговую компоненты смещения. В Малокаранской разломной зоне продольные разрывы апроксимируются Y-сдвигами. Диагональные запад-северозападные и северо-восточные разрывные нарушения относятся к R- и R'-сколам, соответственно.

Месторождение объединяет две крупные зоны рудоносных эйситов: "Гоголевская жила" и "Центральная жила". Первая рудная зона (протяженность по простиранию около 200 м, средняя мощность 2-3 м) локализована во вторичном продольном разрыве. Зона "Центральная жила" (протяженность по простиранию около 400 м, длина по падению более 200 м, мощность в среднем 3-7 м, в раздувах до 10 м) приурочена к магистральному шву. На ее простирании, на южном фланге месторождения, опоискованы две небольшие зоны метасоматитов, положение которых определяется интервалами сочленения магистрального сместителя с синтетическими сдвигами близширотного простирания. Диагональные вторичные разрывы крупных рудных концентраций не содержат.

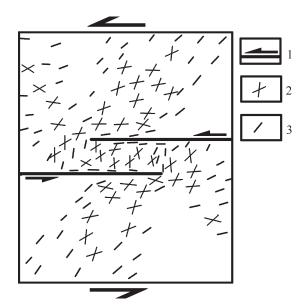
Формирование золотоносных эйситов в зоне Малокаранского разлома происходило в пульсирующем режиме латерального сжатия в течение трех основных фаз. Тектонофизические реконструкции выполнены с помощью статистического метода П.Н. Николаева [9]. На ранней фазе, в обстановке субширотного сжатия и интенсивных динамометаморфических преобразований вмещающих пород, образовался магистральный шов, сетка разрывов вторичного парагенезиса, а также зоны метасоматитов эйситового состава (диаграмма 1 на рис. 8б). В течение второй фазы, после прекращения активного стресса, сменившегося условиями двухосного растяжения в вертикальном и горизонтальном северо-восточном направлениях в зонах эйситизации сформировались мелкие жилы и прожилки альбит-кварцевого состава, локализованные в трещинах скола и, реже, отрыва (диаграмма 2 на рис. 8б). В позднюю фазу, в условиях возобновившегося близширотного сжатия образовалась золотоносная прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация (диаграмма 3 на рис. 8б). Она развита преимущественно в эйситах и размещается в трещинах скола, тонких зонах милонитизации и по плоскостям рассланцевания.

Как видно из приведенных данных, процессы структурного контроля и минералообразования происходили в рудовмещающем дуплексе под воздействием главным образом пластических деформаций. Среда рудоотложения отличалась низкой степенью структурной открытости. В такой динамической обстановке тектонический контроль путей движения рудоносных флюидов с помощью механизма "всасывающего насоса", предполагающего наличие открытых структур растяжения, не возможен. Основной рудовмещающей структурой дуплекса служит граничный Малокаранский сдвиг. Разлом относится к тектонически зрелым разрывным нарушениям, достигшим в своем развитии стадии полного разрушения [10], что подчеркивается наличием у него хорошо выраженного магистрального сместителя. В пределах разлома наиболее крупные концентрации оруденения (месторождение Малый Каран) приурочены к изгибу растяжения. Вероятно, этот изгиб являлся и основным рудоподводящим каналом, так как большинство рудопроявлений Малокаранско-Александровской площади сосредоточено вокруг него.

На распределение локальных зон и структур растяжения, определяющих пути движения рудоносных флюидов в дуплексах рассматриваемого типа, существенное влияние оказывает геометрия ступенчатого перекрытия. Д.А. Рогерс [25] в серии опытов показал, что, по мере увеличения соотношения длины перекрытия главных сдвигов (длины дуплекса) и расстояния между ними (ширины дуплекса), происходит смещение локальных структур растяжения из внутренних частей дуплекса в граничные разломы. Близкие результаты были получены П. Коннолли и Д. Косгрови [16], выполнившими экспериментальные исследования условий формирования вторичных разрывов на ступенчатых перекрытиях разломов, совпадающих по знаку с направлением сдвиговых смещений. По их данным, если длина дуплекса (L) в два раза и более превышает его ширину (Н), то локальные структуры растяжения возникают по периметру дуплекса: вблизи главных сдвигов и вдоль латеральных границ ступенчатого перекрытия (рис. 9). Судя по результатам экспериментальных исследований, в условиях восходящего направления флюидных потоков, наиболее характерного для рудовмещающих систем, проницаемыми, по-видимому, будут, главным образом, граничные зоны дуплексов и особенно зоны, объединяющие вторичные разрывы растяжения и структурно связанные с ними главные сдвиги. Данные по размещению оруденения в природных транстенсивных дуплексах с L > H подтверждают этот вывод. В этом случае месторождения локализуются преимущественно в граничных разломах и углах дуплексных структур, например, медно-порфировые и ассоциирующие с ними золотосодержащие полиметаллические месторождения Центрально-Словацкой вулканической области [21], золоторудные месторождения Западно-Йилганского региона Австралии [19] и многие другие. Размещение золото-сульфидно-кварцевого оруденения в транстенсивном дуплексе Малокаранско-Александровской площади, характеризующимся превышением длины над шириной, подчинено тем же закономерностям.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные выше данные позволяют выделить транстенсивные дуплексы в качестве самостоятельного типа рудовмещающих структур золоторудных месторождений Южного Урала. Они формировались в трех структурных обстановках: 1) на прямолинейных участках сдвиговых зон, состоящих из синтетических и более поздних продольных сдвигов (месторождение Кочкарь); 2) на изгибах сдвигов и сдвиговых зон, способствовавших смещению по ним (месторождения Аллагул-тау, Тукан, Большой Каран); 3) на ступенчатых перекрытиях разломов, совпадающих по знаку со знаком сдвигового смещения (месторождения и рудопроявления Малокаранско-Александровской площади). В режиме регионального сжатия – типовой геодинамической обстановке формирования золотокварцевых и золото-сульфидно-кварцевых месторождений южноуральского региона - транстенсивные дуплексы представляли собой структурные ло-



**Рис. 9.** Распределение вторичных сдвигов и структур растяжения во внешних зонах и внутри ступенчатого перекрытия левосторонних разломов. По данным моделирования П. Коннолли и Д. Косгрови [16].

1 – главные разломы и направление смещений по ним; 2–3 – вторичные разрывы: 2 – сдвиги; 3 – структуры растяжения.

вушки, в которых существовали условия локального растяжения, благоприятные для локализации жильной и жильно-штокверковой золоторудной минерализации. По-видимому, наличие в Пластовском массиве протяженной сдвиговой зоны, состоящей из дуплексов растяжения, послужило одной из причин формирования в нем крупных концентраций золота.

На примере месторождения Кочкарь выяснено, что условия локализации оруденения в дуплексах, залегающих на прямолинейных участках сдвиговых зон, зависят от степени их развития.

Установлено, что одной из причин возникновения золотоносных дуплексов на изгибах сдвигов и сдвиговых зон является контрастный по петрофизическим свойствам состав рудовмещающей среды, обусловленный сочетанием компетентных блоков главным образом интрузивных тел и более пластичных вмещающих их пород. При пересечении интрузивных тел образуются искривления сдвигов (сдвиговых зон), способствующие смещениям по ним, что в дальнейшем приводит к формированию дуплексов.

Размещение золотого оруденения в дуплексах растяжения, расположенных на изгибах и ступенчатых перекрытиях разломов зависит от типа деформаций рудовмещающей среды и геометрии дуплексных структур. В условиях хрупких деформаций локализация золоторудной минерализации контролируется механизмом всасывающего насоса. Основными рудовмещающими структурами служат вторичные разрывы, концентрирующиеся в блоках компетентных пород. В условиях преобладающих пластических деформаций в транстенсивных дуплексах, имеющих длину, большую, чем ширину, оруденение локализуется преимущественно в главных сдвигах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Бородаевский Н.И.* Золотоносные альбититы рудника Малый Каран в Учалинском районе БАССР на Южном Урале. М.: Нигризолото, 1938. 48 с.
- 2. Бородаевский Н.И., Черемисин А.А., Яновский В.М. и др. Кочкарское месторождение // Золоторудные месторождения (Европейская часть СССР). Т. 1. М.: Недра, 1984. С. 54–87.
- 3. Данилович В.Н. Метод поясов при исследовании трещиноватости, связанной с разрывными смещениями. Иркутск: ИПИ, 1961. 47 с.
- 4. Знаменский С.Е. Структурные условия формирования коллизионных месторождений золота восточного склона Южного Урала. Уфа: Гилем, 2009, 348 с.
- 5. Знаменский С.Е., Знаменская Н.М. Роль сдвиговых дуплексов в региональном структурном контроле позднепалеозойского золотого оруденения Магнитогорской мегазоны (Южный Урал) // Литосфера. 2009. № 4. С. 83–92.
- Знаменский С.Е., Серавкин И.Б. "Структурная ловушка" золоторудного месторождения Кочкарь (Южный Урал) // Докл. АН. 2005. Т. 403, № 6. С. 788–791.
- 7. Знаменский С.Е., Серавкин И.Б., Майер М.Ф.

- Структурный контроль золотородингитового оруденения месторождения Золотая гора (Южный Урала) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2005. № 1. С. 30–35.
- 8. Месторождения золота Урала / В.Н. Сазонов, В.Н. Огородников, В.А. Коротеев и др. Екатерин-бург: УГГГА, 1999. 570 с.
- Николаев П.Н. Методика статистического анализа трещин и реконструкции полей палеонапряжений // Изв. вузов. Геология и разведка. 1977. № 12. С. 103–115.
- Разломообразование в литосфере. Зоны сдвига / С.И. Шерман, К.Ж. Семинский, С.А. Борняков и др. Новосибирск: Наука, 1991. 262 с.
- 11. *Смолин А.П.* Структурная документация золоторудных месторождений. М.: Недра, 1975. 240 с.
- Тектоника Урала: Объяснительная записка к тектонической карте масштаба 1 : 1 000 000 / А.В. Пейве, С.Н. Иванов, В.М. Нечеухин и др. М.: Недра, 1977. 120 с.
- 13. Ферштатер Г.Б., Знаменский С.Е., Бородина Н.С. Возраст и геохимия Пластовского золотоносного массива // Ежегодник-2008. Тр. Ин-та геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого. Вып. 156. 2009. С. 276–282.
- Яновский В.М. Особенности структуры Кочкарского золото-мышьякового месторождения (Южный Урал) // Изв. ТПИ. 1970. Т. 239. С. 203–207.
- Belkabir A., Robert F., Vu L. et al. The influence of dikes on auriferous chear zone development within granitoid intrusions: the Bourlamaque pluton, Val-d'Or district, Abitibi greenstone Belt // Can. J. Earth Sci. 1993. V. 30. P. 1924–1930.
- 16. Connolly P., Cosgrove J. Prediction of fracture-induced permeability and fluid flow in the crust using experimental stress data // American Association of Petrolium Geologist Bulletin. 1999. V. 83. № 5. P. 757–777.
- 17. Cowan D.S., Brandon M.T. A symmetry-based for kinematic analysis of large slip-brittle fault zones // American J. of Science. 1994. V. 294. P. 257–306.
- Cox S.C., Chamberlain C. P. Structure and fluid migration in late Cenozoic duplex sistem forming the Main Divide in the central Southern Alps, New Zealand // New Zealand J. Geol. Geophys. 1997. V. 40. P. 359–373.
- Cox S.F., Sun S.S., Etheridge M.A. et al. Structural and geochemical controls on the development of turbidite hosted gold quartz vein deposits, Wattle Gully Mine, central Victoria, Australia // Econ. Geol. 1995. V. 90. P. 1722–1746.
- 20. *Drew L.J.* Low-sulfide quartz gold deposit model. U.S. Geol. Survey. Reston, VA. 2003. 24 p.
- 21. *Drew L.J.* Tectonic Model for the Spatial Occurrence of Porphyry Copper and Polimetallic Vein Deposits Applications to Central Europe. U.S. Geol. Survey. Scientific Investigations Report 2005-5272. 36 p.
- 22. Kano K.-J., Nakaji M., Takenchi S. Asimmetrical mélange fabrics as possible indicators of the convergent direction of plates: a case study from Shimanto Belt of the Akaishi Mountains, central Japan // Tectonopysics. 1991. V. 185, № 3-4. P. 375–388.
- 23. *Kisters A.F.M., Meyer F.M., Znamensky S.E. et al.* Structural controls of lode-gold mineralization by mafic dykes in Late Paleozoic granitoids of the Kochkar district, Southern Urals, Russia // Mineral. Depos. 2000. V. 35. P. 157–168.

- 24. *McClay K*. The mapping of geological structures. London: Open University press, 1995. 161 p.
- 25. Rogers D.A. Analysis of pull-apart basin development produced by en echelon strike-slip faults // Sedimentation in oblique-slip mobile zones: International Association of Sedimentologist Special Publication 4. 1980. P. 27–41.
- 26. Sibson R.H. Earthquake rupturing as a mineralizing
- agent in hydrothermal systems // Geology. 1987. V. 15. P. 701–704.
- Swanson M.T. Structural duplexing in the strike-slip environment. U.S. Geol. Survey Open-File Report 89-315. 1989. P. 376–385.
- 28. *Woodcock N.H., Fisher M.* Strike-slip duplexes // J. Struct. Geol. 1986. V. 8, № 7. P. 725–735.

Рецензент А.Ю. Кисин

## Ore bearing transtensional duplexes of gold-quartz and gold-sulfide-quartz deposits of the South Urals

S. E. Znamensky, N. M. Znamenskaya

Institute of Geology, Ufa Scientific Centre of RAS

A new type of ore bearing structures of gold-quartz and gold-sulfide-quartz deposits of the South Urals – transtensional duplexes has been distinguished as a result of detailed structural and tectonophysical investigations. Auriferous duplexes formed on straight shear segments, at bends of shear (shear zones) and at offsets of en-echelon faults were characterized. It was shown, that the conditions of localization of gold-quartz and gold-sulfide-quartz mineralization in transtensional duplexes depend on degree of development and geometry of these fault structures as well as on type of ore-controlling tectonic deformation.

Key words: shear zone, transtensional duplex, R- and R'-Ridel shears, gold-quartz and gold-sulfide-quartz deposits.