

МОРФОЛОГИЯ, КИНЕМАТИКА И ДИНАМИКА ОПЕРЯЮЩИХ РАЗРЫВОВ КАК ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЖИЛЬНЫХ И ШТОКВЕРКОВЫХ ТЕЛ

Работа выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН (проекты № 12-III-A-08-153, 12-III-A-08-157).

Рассматриваются особенности морфокинематики и структурно-динамической организации систем оперяющих разрывов и их сочетаний с материнскими разломами в зонах транспрессии и транстенсии применительно к прикладным задачам поисковой и разведочной геологии. Показано, что наблюдаемая устойчивая в геолого-геометрическом отношении пространственно-временная и генетическая упорядоченность таких структурных ансамблей позволяет более целенаправленно и эффективно решать задачи поисков, прослеживания увязки и оконтуривания рудных тел и их ассоциаций, а также локального прогнозирования оруденения в пределах жильных и штокверковых месторождений и рудопроявлений различного генезиса.

Ключевые слова: жилы; штокверки; дайки; рудоносные дуплексы; транстенсия; транспрессия; материнский разлом; динамо-зональность.

Оперяющие разрывы трактуются как эффект транс-прессивного или транстенсивного действия или взаимодействия магистральных (материнских) разломов [1–12 и др.] (см. рис. 1). Такой подход к разломам, при котором они выступают не как пассивные геологические агенты, а как активные регуляторы (а где и генераторы) инициирующих напряжений, остается одним из самых продуктивных направлений современной структурной геологии, равно как и тектонофизики.

Цель работы – рассмотреть некоторые прикладные следствия очерченного подхода, призванные помочь геологам – поисковикам и разведчикам – в их практической работе по прослеживанию и оконтуриванию рудных объектов жильного и штокверкового типа, которые в значительной своей части приурочены как раз к зонам при- и межразломного растяжения (транстенсии) или сжатия (транспрессии). Красноречивыми примерами этому могут служить сдвиговые позднепалеозойские магматические дуплексы¹ растяжения Прибалхашья [13], рудоносные в Узбекистане (Мурунтау) [14], меловые рудоносные и рудно-магматические дуплексы растяжения и сжатия Амуро-Уссурийского региона [14–17 и др.] (см. рис. 1, В–Д), Верхоянского складчато-надвигового пояса [18 и др.], Урала [19 и др.], Канады [20], которые вмещают в себя крупные (а подчас и уникальные) месторождения.

Перечисленные объекты, представленные обычно многостадийным жильно-штокверковым оруденением зачастую в ассоциации с многофазными интрузивно-дайковыми комплексами, указывают на один из поисковых критериев. А именно: обнаружение хотя бы небольшой серии тесно сближенных (часто субпараллельных) жильных тел (да еще и вкуче с дайковыми), нередко в ассоциации с прожилково-вкрапленной минерализацией между ними, – верный признак того, что мы имеем дело с системой оперения, развитой на достаточно большой площади, но с ограничением по простиранию / падению одним или двумя магистральными разломами. Последние могут оказаться также рудовмещающими. Углы отклонения оперяющих разрывов от материнских давно известны и составляют 20–60° [1–3, 14–16 и др.] (рис. 1, А–В). Так что на стадии поисков весьма целесообразно применение первоначаль-

ально площадных геохимических работ с сетью, оптимально учитывающей геолого-структурную обстановку, с последующей заверкой аномалий и отбивкой тел магистральными канавами параллельно и вкрест материнским разломам (в том числе и предполагаемым) с целью выявления всей полосы развития оконтуриваемой структуры оперения. Причем следует учитывать, что проявление этих структур носит обычно систематический характер в виде разноранговых сочетаний с разрывами магистральной системы (дуплексов) по типу скол-раздвиг или скол-надвиг / взброс (часто с фиксированным шагом) [1–3, 14–17 и др.], что важно для оценки рудоносности и стратегии поисков на сопредельных площадях.

При оконтуривании тел и увязывании подсечений в пределах отдельно взятой структуры оперения или смыкания (дуплекса) следует учитывать, что скорее всего оно будет представлять собой отнюдь не хаотичный набор разноориентированных трещин отрыва / сплющивания, выполненных жилами и дайками произвольной морфологии, как это представляется и поныне.

Напротив, морфология жильного либо дайкового тела демонстрирует здесь четкое соответствие кинематике вмещающего его разрыва оперения. Так, пережиты тела приурочены к сколовым звеньям, а раздувы – к граням приоткрывания разрыва (см. рис. 1, В–Д). Это же справедливо и для материнских рудовмещающих разрывов (рис. 1, В). Как показывает, например, детальное изучение рудных объектов Сихотэ-Алиня [14–17, 21–25 и др.], такое явление – в сущности, неотъемлемое свойство рудо- и магмовмещающих разрывов любого генезиса и ранга, настолько широко оно распространено.

В свою очередь, сама кинематика оперяющих разрывов, равно как и их построение в пространстве, отражает характер перестройки полей напряжений в зонах транстенсии и транспрессии в процессе движения по материнским разломам. В частности, в зонах транстенсии (наиболее благоприятных для рудоотложения) пространственно-кинематическая инфраструктура оперения определяется последовательным формированием до четырех генераций дочерних оперяющих разрывов или трансформацией в них сети раннего заложения, которые

образуют генетическую цепь (рис. 1, Б), отвечающую широко известной структурно-динамической схеме Дж.Д. Муди и М.Дж. Хилла [14–16 и др.], когда инициирующие напряжения вследствие трансенсии постепенно искривляются от исходного направления до нормали к материнскому сдвигу. Оперяющие же разрывы

зон транспрессии тоже имеют свою специфическую возрастную и иерархическую соподчиненность, которая отражает переориентацию траекторий инициирующего сжатия с первоначального состояния до параллельного направлению сдвига [1–7, 9, 12, 25 и др.] (рис. 1, А).

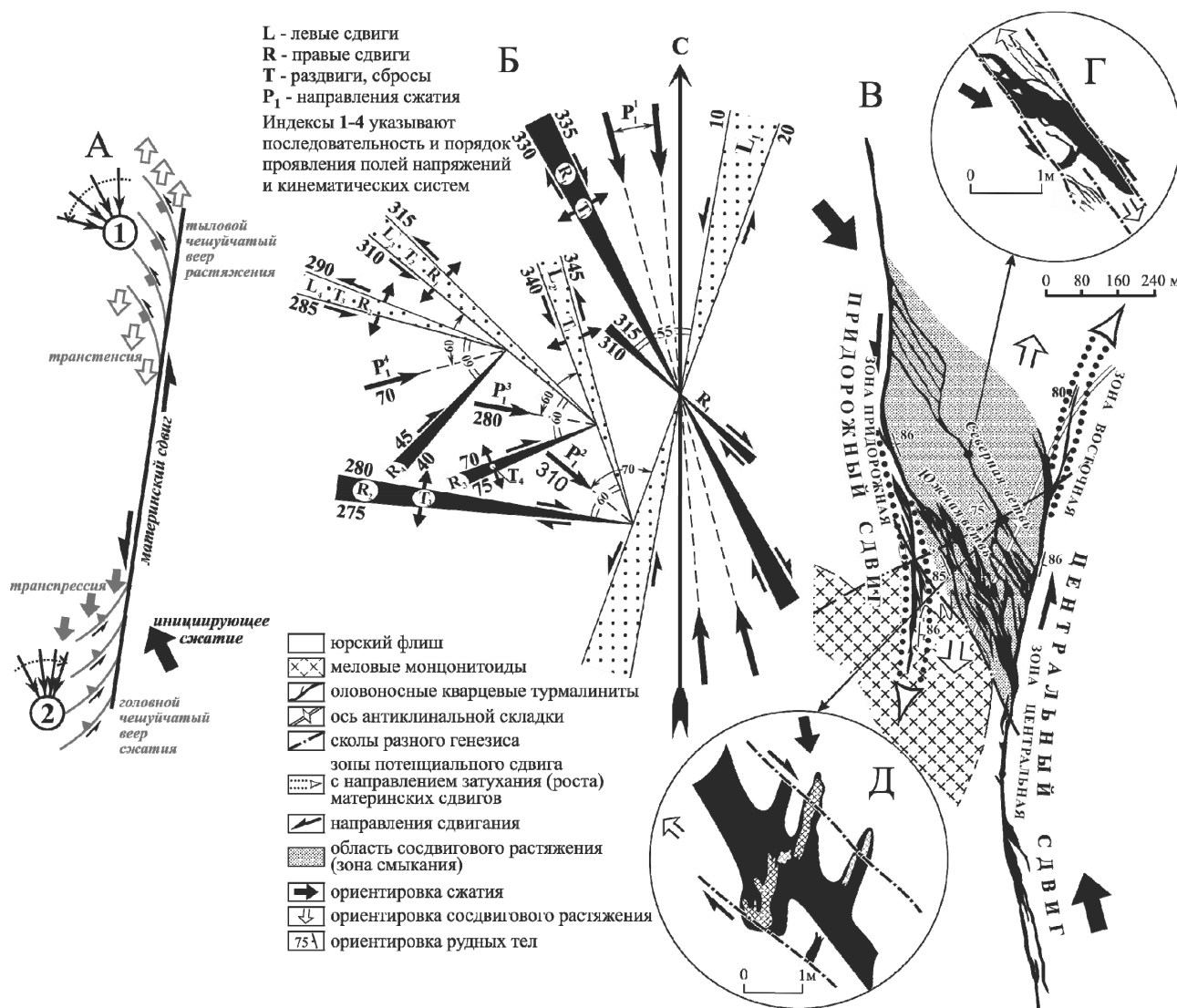


Рис. 1. Схематика иерархической, возрастной и генетической организации структур и полей напряжений в ареалах транспрессии и трансенсии левых сдвигов: А – идеализированная структурно-динамическая схема (из [2] с изменениями и дополнениями) расположения зон присдвиговых полей напряжений (со схемой их переориентации по вектору сжатия) согласно данным натурных наблюдений при трансенсии (1) и транспрессии (2) и дочерних синсдвиговых структур применительно к западному крылу Авангардного левостороннего сдвига (Южное Приморье) [25]; Б–Д – для Придорожного оловяноносного левостороннего дуплекса растяжения (Придорожное месторождение, Комсомольский район): схема иерархической и возрастной соподчиненности систем сдвигов и раздвигов / сбросов, а также полей напряжений (по вектору сжатия) в дуплексе [15]; В – структурный план разведочного горизонта 415 м месторождения с элементами геодинамики [14, с изменениями]; Г–Д – фрагменты рудного тела 17 (Северная ветвь дуплекса) на участке сосдвигового растяжения (Г) и в зоне влияния сегмента материнской системы ССВ левых сдвигов (Д)

Таким образом, имеющиеся к настоящему времени данные показывают, что в структурах оперения и их аналогах мы имеем дело с четкой и временной, и пространственной упорядоченностью рудо- и магмовмещающих структур с вполне закономерным, поддающимся одновременно и структурной, и металлогенической расшифровке набором морфокинематических типов обособления, распределения и наложения друг на друга рудных и магматических ассоциаций (динамозональность [14–16, 25 и др.]). Она, как представляется,

есть результат поэтапного (по мере роста материнских разломов) разрастания ареала трансенсии / транспрессии с усложнением его структурного рисунка от первоначально крупных оперяющих форм ко все более и более мелким с прямым или опосредованным наследованием планов деформаций. Само наследование заключается в том [14–16, 24 и др.], что более поздние генерации рудовмещающих разрывов приспособляются или приспособливают под себя сеть разрывов предыдущих генераций, что часто выражается в кин-

матической трансформации разрывов раннего заложения. Все это лишний раз подчеркивает существующую при поисково-разведочных работах обязательность изучения стадийности рудообразования и магматизма.

Системы оперения, помимо всего прочего, – верный признак затухания материнских разломов. Этот вопрос наиболее разработан на примере сдвиговых дислокаций. Исследованиями [1–8, 11, 12, 14–17, 24 и др.], включая экспериментальные, выявлено, что во фронте затухания материнского сдвига структурно-динамическая обстановка выглядит следующим образом.

Проработанную часть такого сдвига на его выклинивании продолжает зона максимальных тангенциальных напряжений – «потенциальный (эмбриональный) сдвиг» [1–8, 10–12, 14–17, 21, 24, 25 и др.] – структурно выраженная чаще всего серией эшелонированных R-сколов нередко уже в виде кулис приоткрывания при R-сколах, что в совокупности фиксирует направление возможного дальнейшего роста сдвига (см. рис. 1, B). Этот парагенез потенциального сдвига обычно сопровождается также постепенным уменьшением амплитуд сдвигания по простиранию разлома².

Потенциальный сдвиг как раз и разграничивает между собой зоны транстенсии (сосдвигового растяжения) и транспрессии (сосдвигового сжатия) (рис. 1, A, B), структурно проявленных в виде симметрично расходящихся от сдвига под углами 20–60° серий оперения. В зависимости от знака смещения (левый / правый сдвиг) эти зоны располагаются соответственно слева / справа или справа / слева от сдвига, фиксируя в крыльях разлома тыл / фронт сдвигания, где его амплитуда рассредоточивается по дочерним разрывам оперения. В тылу – по системам сдвигов (главным образом того же знака) и сбросов по упомянутой схеме Дж.Д. Муди и М.Дж. Хилла (рис. 1, A, B). Во фронте же – по системам дочерних чистых и косых взбросов и надвигов (рис. 1, A), пространственно-временная организация которых в поперечном сечении совпадает со схемой этих авторов.

Подчеркнем еще раз, что охарактеризованная картина структурно-динамической зональности формируется благодаря именно движениям по разломам, поступательная активизация которых и обеспечивает процесс приспособления под их сеть (через транстенсию и транспрессию) первичного поля напряжений, инициировавшего весь тектонический процесс. Последнее сохраняется только в наиболее проработанных сегментах зон материнских разломов, где инициирующее сжатие сразу же переходит в движение, поскольку силы трения здесь практически равны нулю. Сказанное находит свое отражение, в частности, в соответствующем искривлении траекторий главных напряжений, фиксируемых как экспериментально, так и натурными наблюдениями [1–8, 11, 12, 14–17, 24, 25 и др.]. Отсюда вытекают такие практические следствия:

Во-первых, через охарактеризованные выше элементы структурной динамозональности в разломной зоне можно проследить не только каждый магистральный разлом в отдельности, но и (через дуплексы) особенности их пространственной организации: характер их эшелонирования, размерность их самих и зон их динамического влияния (отражающие их ранговость) с определением ширины и глубины перекрытия их флангов (как пространственных параметров зон транстенсии

и транспрессии). Вдобавок дуплексы, а в более широком смысле – структуры смыкания (формы взаимодействия между разломами любой ориентации и генезиса), позволяют выявлять соотношения между магистральной разломной зоной и активизированными ею участками сети раннего заложения. Например, с разрывами «сопряженной» с ней системы, сквозные элементы которой могут иметь переменный знак смещения: «первичный» – непосредственно в зонах влияния сегментов магистральной системы (см. рис. 1, Д), а также транспрессии и обратный знак в зонах транстенсии (рис. 1, Г). Впрочем, сказанное вполне применимо и к изучению инфраструктуры сети разломов любого ранга, включая и мегаформы. Таким образом, выявление картины структурной динамозональности обеспечивает более уверенное и объективное прослеживание магистральных разломов и картирование их пространственной организации при геологических работах любой степени детальности.

Во-вторых, структурная динамозональность находит свое отражение и в особенностях пространственного распределения оруденения. В рассматриваемых нами структурах рудораспределение и морфологически, и динамически находится в прямой зависимости от геометрии самих разломов и инфраструктуры их ансамблей. Так, оси рудных столбов здесь, как правило, субпараллельны линиям сопряжения сколовых и раздвиговых компонентов. При этом сколы играют роль динамо-кинематических экранов, а раздвижки вмещают продуктивное оруденение. В свою очередь, линии сопряжения адекватны средним осям деформаций, перпендикулярным, как известно, линиям скольжения по сколам [14–17, 21–24 и др.]. Исходя из этого, при сдвиговых дислокациях, например в зонах транстенсии, рудные столбы будут иметь преимущественно субвертикальную ориентировку (как, впрочем, и в материнских сдвигах), а в зонах транспрессии – субгоризонтальную. Причем преимущественное развитие в них станут иметь те системы рудных столбов, которые будут субпараллельны линиям сопряжения структур оперения в целом с материнскими разломами. Так что изучение динамозональности оруденения позволяет во многом конкретизировать задачи оконтуривания и локального прогноза оруденения на глубину и на флангах разведываемого рудного объекта.

Таким образом, мы видим структурно-динамическую корреляцию проявлений оруденения и магматизма в пределах объектов рассмотренного типа как надежный инструмент и для их идентификации, и для существенного повышения эффективности их оценки на всех без исключения стадиях геологоразведочных работ: от геологической съемки до эксплуатационной разведки. И такая корреляция, подчеркнем, невозможна без исследования характера эволюции, миграции и локализации эндогенного вещества в земной коре через пространственно-временные срезы магмо- и рудоконтролирующих структурных ансамблей. Причем этот подход обеспечивает не только качественную, но и количественную оценку хода рудно-магматических процессов при использовании петрохимических, геохимических или иных числовых характеристик, способствующих результативному оконтуриванию тел и зон жильного и штокверкового типов.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Под *дизъюнктивным дуплексом* обычно понимается сочетание двух кулисообразно расположенных разрывов с одинаковым знаком смещения, сомкнутых между собой чешуйчатым веером дочерних оперяющих разрывов [2–3, 12, 14–16 и др.]. Более сложным аналогом дуплексов являются *структуры смыкания*, которые представляют собой формы проявления динамического взаимодействия между материнскими разломами с произвольной ориентацией и любым генезисом [14, 15, 25 и др.].

² При этом для зоны материнского сдвига (как в проработанной – зрелой, так и его эмбриональной части) присуще проявление своей динамичности в виде схемы Риделя [2, 3, 8, 11, 15, 21–22, 24–25 и др.], которая отражает пространственно-временную направленность усложнения инфраструктуры сдвиговой зоны через последовательное развитие и наложение друг на друга: сначала эмбриональных синкинематических кулисных складок, а затем – R→P→L-сколов (в ассоциации со своими сопряженными системами) с сопутствующей трансформацией в разрывы растяжения / сжатия сколов предшествующих генераций. Вместе с тем, поскольку эти кулисные сколы являются разрывами фиксированной длины (определяемой шириной зоны материнского сдвига), в зонах их ступенчатого перекрытия опять же возможно проявление микроусложнений по типу транспрессии и транстенсии [1–20, 25 и др.].

ЛИТЕРАТУРА

- Осокина Д.Н. Иерархические свойства тектонического поля напряжений // Экспериментальная тектоника: методы, результаты, перспективы. М.: Наука, 1989. С. 197–208.
- Разломобразование в литосфере. Зоны сдвига. Новосибирск: Наука, 1991. 262 с.
- Continental deformation. N.Y.: Pergamon Press Ltd., 1994. 421 p.
- Fossen H., Tikoff B. Extended models of transpression and transtension, and application to tectonic settings // Continental Transpressional and Transtensional Tectonics. Geol. Soc. London Spec. Pub. 1998. Vol. 135. P. 15–33.
- Dewey J.F., Holdsworth R.E., Strachan R.A. Discussion on transpression and transtension zones: reply // Journal of the Geological Society of London. 1999. № 156. P. 1048–1050.
- Морозов Ю.А. Структурообразующая роль транспрессии и транстенсии // Геотектоника. 2002. № 6. С. 3–24.
- Wesnowsky S.G. The San Andreas and Walker Lane fault systems, western North America: transpression, transtension, cumulative slip and the structural evolution of a major transform plate boundary // Journal of Structural Geology. 2005. № 27. P. 1505–1512.
- Twiss R.J., Moores E.M. Structural Geology: Second Edition. N.Y.: W.H. Freeman and Co., 2006. 532 p.
- Hollister L.S., Andronicos C.L. Formation of new continental crust in Western British Columbia during transpression and transtension // Earth and Planetary Science Letters. 2006. № 249. P. 29–38.
- Тимурзиев А.И. Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: тектонофизический и флюидо-динамический аспекты (в связи с нефтегазоносностью): автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. М.: МГУ, 2009. 40 с.
- Короновский Н.В., Гогоненко Г.Н., Гончаров М.А. и др. Роль сдвига вдоль горизонтальной плоскости при формировании структур «пропеллерного» типа // Геотектоника. 2009. № 5. С. 50–64.
- Mathieu L., van Wyk de Vries B., Pilato M. et al. The interaction between volcanoes and strike-slip, transtensional and transpressional fault zones: Analogue models and natural examples // Journal of Structural Geology. 2011. № 33. P. 898–906.
- Тевелев Ал.В., Тевелев Арк.В., Кошелева И.Е. и др. Динамика сдвиговых магматических дуплексов: Окончательный отчет РФФИ по проекту 96-05-65519. М.: РФФИ, 1999. 63 с.
- Митрохин А.Н. Дизъюнктивные рудно-магматические структуры смыкания и дуплексы: идентификация, пути и методы их изучения // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сб. науч. тр. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. Вып. 10. С. 53–59.
- Митрохин А.Н. Геодинамика формирования разрывных рудоконтролирующих структур Придорожного и Октябрьского месторождений (Комсомольский район): автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Владивосток: ДВГИ ДВО АН СССР, 1991. 25 с.
- Митрохин А.Н., Сорокин Б.К., Саядян Г.Р. Сдвиговые дуплексы и их рудоносность // Структурные парагенезы и их ансамбли: тез. докл. М.: ГЕОС, 1997. С. 112–114.
- Уткин В.П., Митрохин А.Н., Неволин П.Л. и др. Структурно-геодинамический фактор в распределении золотой минерализации Южного Приморья // Доклады Академии наук. 2004. Т. 394, № 5. С. 654–658.
- Фридовский В.Ю. Сдвиговые дуплексы месторождения Бадран (северо-восток Якутии) // Известия вузов. Геология и разведка. 1999. № 1. С. 60–66.
- Знаменский С.Е., Знаменская Н.М. Рудовмещающие транстенсивные дуплексы золото-кварцевых и золото-сульфидно-кварцевых месторождений Южного Урала // Литосфера. 2011. № 1. С. 94–105.
- Park A.F., Lentz D.R., Thorne K.G. Deformation and Structural Controls on Gold Mineralization in the Clarence Stream Shear Zone, Southwestern New Brunswick, Canada // Exploration and Mining Geology. 2008. Vol. 17, № 1. P. 51–66.
- Уткин В.П. Сдвиговые дислокации, магматизм и рудообразование. М.: Наука, 1989. 166 с.
- Неволин П.Л. Геодинамика формирования структур месторождений Кавалеровского района. Владивосток: Дальнаука, 1995. 132 с.
- Неволин П.Л. Сдвиговая геодинамическая обстановка и структуры штокверковых месторождений Сихотэ-Алиня // Тихоокеанская геология. 1996. Т. 15, № 2. С. 107–115.
- Сорокин Б.К., Митрохин А.Н., Касаткин С.А. Сравнительный анализ дислокаций апт-кампанского вулканогенного и доаптского терригенного комплексов Комсомольского района (на примере Фестивального месторождения) // Тихоокеанская геология. 1995. Т. 14, № 5. С. 46–56.
- Митрохин А.Н., Уткин В.П., Неволин П.Л. Особенности строения и развития Авангардного левого сдвига (Южное Приморье) и зоны его динамического влияния // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 106–109.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 17 мая 2014 г.

MORPHOLOGY, KINEMATICS, AND DYNAMICS OF FEATHERING FAULTS AS PROSPECTING-AND-EXPLORING CRITERIA FOR ESTIMATION OF VEIN AND STOCKWORK BODIES

Tomsk State University Journal. No. 383 (2014), 221–226. DOI: 10.17223/15617793/383/34

Mitrokhin Alexander N., Utkin Valentine P., Nevolin Peter L. Far East Geological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences (Vladivostok, Russia). E-mail: stakhor@yandex.ru; val-utkin@yandex.ru; nevpeter@yandex.ru

Keywords: veins; stockworks; dykes; ore-bearing duplexes; transtension; transpression; master fault; dynamozonality.

Peculiarities of morphokinematics and structural-dynamic arrangement for feathering faults and their combinations with master faults within transpression and transtension zones are treated with reference to applied problems of prospecting and exploration works. The best-understood among them are disjunctive duplexes and interlock structures. Such structural assemblages control just a significant

part of the ore and ore-magmatic objects of vein and stockwork types, many of which host not only large but also unique deposits of gold, tin, tungsten, etc. For example: Muruntau (Uzbekistan), Yakut (e.g., Badran, Progerss), the Russian Prymorye (e.g., Krinichnoe, Askold), and Canadian (Clarence Stream) gold deposits; tin ones of Cornwall and the Russian Komsomolsk (e.g., Pridorozhnoe, Festivalnoe) and Badzhal (e.g., Pravourmiyskoe) districts; tin-tungsten Chukot (e.g., Iultin) ones and many others. The specified structural assemblages with synchronous many-stage and multiphase ore and ore-magmatic fill are characterized by clear both spatio-temporal and hierarchical orderliness with the quite regular, metallogenically interpretable complex of morphokinematic types of localization, distribution and superposition of ore and magmatic associations (i.e. dynamozonality). It is supposed to result from stepwise (along with master faults' growth) enlargement of transpression/transtension areal with its structural geometry complexification from initially large feathering forms to more and more small ones with direct or indirect superposition of deformation plans. The superposition *per se* lies in the fact that later generations of ore-bearing faults adapt themselves to/under network of preexisting fault generations that frequently effects in kinematic transformation of faults of earlier origin. Thus, the disclosure (even at the stage of geological mapping) of any series of closely connivent (often near-parallel) veined-ore bodies (dyke ones included) together with often vein-and-ingrained mineralization between them can prove to connote staging for space prospecting geological-and-geophysical and geochemical works. As the series proves most likely to be componentry of either splay and or duplex/(interlock, generally) feathering system of master faults, knowledge of whose geometry can additionally serve as a basis to set direction and density of a prospecting network as well as a choice of an equal procedure of mine-economic management strategy. For the detailed, prospecting-and-exploring works at such objects the morphogenetic and kinematic peculiarities of both feathering and master faults *per se* are significant as effective geological-and-geometrical criteria to recognize and to contour ore shoots' systems of different orientations with their blockage (ore reserve calculation included) as well as to solve problems of local forecast in/outside of a property line.

REFERENCES

- Osokina D.N. *Ierarkhicheskie svoystva tektonicheskogo polya napryazheniy* [Hierarchical properties of the tectonic stress field]. In: Luk'yanov A.V. (ed.) *Eksperimental'naya tektonika: metody, rezul'taty, perspektivy* [Experimental tectonics: methods, results and prospects]. Moscow: Nauka Publ., 1989, pp. 197-208.
- Logachev N.A. (ed.) *Razlomobrazovanie v litosfere. Zony sdviga* [Faulting in the lithosphere. Shear zone]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1991. 262 p.
- Hancock P.L. (ed.) *Continental deformation*. New York: Pergamon Press Ltd., 1994. 421 p.
- Fossen H., Tikoff B. *Extended models of transpression and transtension, and application to tectonic settings*. In: Holdsworth R.E., Strachan R.A., Dewey J.E. (eds.) *Continental Transpressional and Transtensional Tectonics*. Geological Society, London, Special Publications, 1998, vol. 135, pp. 15-33.
- Dewey J.F., Holdsworth R.E., Strachan R.A. Discussion on transpression and transtension zones: reply. *Journal of the Geological Society of London*, 1999, no. 156, pp. 1048-1050. DOI:10.1144/gsjgs.156.5.1045
- Morozov Yu.A. Structure-formation function of transpression and transtension. *Geotektonika – Geotectonics*, 2002, no. 6, pp. 3-24. (In Russian).
- Wesnousky S.G. The San Andreas and Walker Lane fault systems, western North America: transpression, transtension, cumulative slip and the structural evolution of a major transform plate boundary. *Journal of Structural Geology*, 2005, no. 27, pp. 1505–1512. DOI:10.1016/j.jsg.2005.01.015
- Twiss R.J., Moores E.M. *Structural Geology*. New York: W.H. Freeman and Co., 2006. 532 p.
- Hollister L.S., Andronicos C.L. Formation of new continental crust in Western British Columbia during transpression and transtension. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, no. 249, pp. 29-38. DOI: 10.1016/j.epsl.2006.06.042
- Timurziev A.I. *Noveyshaya sdvigovaya tektonika osadochnykh basseynov: tektonofizicheskiy i flyuido-dinamicheskiy aspekty (v svyazi s neftegazonosnost'yu)*: Avtoref. dokt. diss. [The latest shear tectonics of sedimentary basins: tectonophysical and fluid-dynamic aspects (in connection with oil and gas content). Abstract of Doc. Diss.]. Moscow: MSU Publ., 2009. 40 p.
- Koronovskiy N.V., Gogonenkov G.N., Goncharov M.A. et al. Role of Shear along Horizontal Plane in the Formation of Helicoidal Structures *Geotektonika – Geotectonics*, 2009, no. 5, pp. 50-64. (In Russian).
- Mathieu L., van Wyk de Vries B., Pilato M. et al. The interaction between volcanoes and strike-slip, transtensional and transpressional fault zones: Analogue models and natural examples. *Journal of Structural Geology*, 2011, no. 33, pp. 898-906. DOI:10.1016/j.jsg.2011.03.003
- Tevelev A.I.V., Tevelev Ark.V., Kosheleva I.E. et al. *Dinamika sdvigovykh magmaticheskikh dupleksov: Okonchatel'nyy otchet RFFI po proektu 96-05-65519* [Dynamics of shear and other magmatic duplexes. The final report on the project RGNF 96-05-65519]. Moscow: RFFI Publ., 1999. 63 p.
- Mitrokhin A.N. [Disjunctive ore-magmatic structures and duplexes clamping identification, ways and methods of their study]. *Sovremennye tekhnologii osvoeniya mineral'nykh resursov: sb. nauchn. trudov* [Modern technologies of mineral resources. Proc. of scientific works]. Krasnoyarsk: Siberian Federal University Publ., 2012. Issue 10, pp. 53-59. [In Russian].
- Mitrokhin A.N. *Geodinamika formirovaniya razryvnykh rudokontroliruyushchikh struktur Pridorozhnogo i Oktyabr'skogo mestorozhdeniy (Komsomol'skiy rayon)*: Avtoref. kand. diss. [Geodynamics of shear ore-controlling structure formation of Pridoroshnliy of Octyabrskiy fields (Komsomol'skiy district). Abstract of Cand. Diss.], Vladivostok, 1991. 25 p.
- Mitrokhin A.N., Sorokin B.K., Sayadyan G.R. [Shift duplexes and their ore content]. *Strukturnye paragenezы i ikh ansambli: tez. dokl.* [Structural paragenesis and their ensembles. Proc. of reports]. Moscow: GEOS Publ., 1997, pp. 112-114. (In Russian).
- Utkin V.P., Mitrokhin A.N., Nevolin P.L. et al. Strukturno-geodinamicheskiy faktor v raspredelenii zolotoy mineralizatsii Yuzhnogo Primor'ya [Structural and geodynamic factor in the distribution of gold mineralization in South Primorye]. *Doklady Akademii nauk*, 2004, vol. 394, № 5, pp. 654-658.
- Fridovskiy V.Yu. Sdvigovyе duplexы mestorozhdeniya Badran (severo-vostok Yakutii) [Shift duplexes Badran deposit (northeast Yakutia)]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 1999, no. 1, pp. 60-66.
- Znamenskiy S.E., Znamenskaya N.M. Ore bearing transtensional duplexes of gold-quartz and gold-sulfide-quartz deposits of the South Urals. *Litosfera – Lithosphere*, 2011, no. 1, pp. 94-105. (In Russian).
- Park A.F., Lentz D.R., Thorne K.G. Deformation and structural controls on gold mineralization in the Clarence Stream shear zone, South-western New Brunswick, Canada. *Exploration and Mining Geology*, 2008, vol. 17, no. 1, pp. 51-66. DOI:10.2113/gsemg.17.1-2.51

21. Utkin V.P. *Sdvigovye dislokatsii, magmatizm i rudoobrazovanie* [Shear faulting, magmatism and mineralization]. Moscow: Nauka Publ., 1989. 166 p.
22. Nevolin P.L. *Geodinamika formirovaniya struktur mestorozhdeniy Kavalerovskogo rayona* [Geodynamics of deposit structure formation in Kavalerovskiy district]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 1995. 132 p.
23. Nevolin P.L. Sdvigovaya geodinamicheskaya obstanovka i struktury shtokverkovykh mestorozhdeniy Sikhote-Alinya [Shear geodynamic setting and structure stockwork deposits of the Sikhote-Alin]. *Tikhookeanskaya geologiya – Russian Journal of Pacific Geology*, 1996, vol. 15, no. 2, pp. 107-115.
24. Sorokin B.K., Mitrokhin A.N., Kasatkin S.A. Sravnitel'nyy analiz dislokatsiy apt-kampanskogo vulkanogenno i doaptskogo terrigenno kompleksov Komsomol'skogo rayona (na primere Festival'nogo mestorozhdeniya) [Comparative analysis of dislocations of Aptian-Campanian volcanic and pre-Aptian terrigenous complexes of Komsomolskiy area (as of Festivalniy deposits)]. *Tikhookeanskaya geologiya – Russian Journal of Pacific Geology*, 1995, vol. 14, no. 5, pp. 46-56.
25. Mitrokhin A.N., Utkin V.P., Nevolin P.L. [Structure and development of Avangardniy left shift (South Primor'e) and its dynamic influence zone]. *Geologicheskie protsessy v obstanovkakh subduksii, kollizii i skol'zheniya litosfernykh plit: Mat. Vseross. konf. s mezhdunarodn. uchast.* [Geological processes in subduction, collision and slip of lithospheric plates. Proc. of All-Russ. conf. with international participation]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2011, pp. 106-109. (In Russian).

Received: May 17, 2014