

## НАШИ ГОСТИ

УДК 551.24

DOI: 10.23671/VNC.2018.3.16550

### УСЛОВИЯ И ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЛИСТРИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ В ПОКРОВНО-СКЛАДЧАТЫХ ОРОГЕНАХ

© 2018 Т.В. Гиоргобиани<sup>1,2</sup>, к.г.-м.н., Д.П. Закарая<sup>3</sup>, к.г.-м.н.

<sup>1</sup>Тбилисский государственный университет им. И. Джавахишвили,  
Грузия, 0179, г. Тбилиси, пр. Чавчавадзе, 1;

<sup>2</sup>Геологический институт им. А.И. Джанелидзе, Грузия, 0186, г. Тбилиси,  
ул. Политковской, 31, e-mail: ciala\_gugava@mail.ru;

<sup>3</sup>ООО «Кавказская Горная группа», Грузия, 0174, г. Тбилиси,  
ул. М. Алексидзе 1/9, e-mail: d\_zakara@yahoo.com

В статье рассмотрен малоизученный вопрос происхождения листрических разломов, пользующихся широким распространением в покровно-надвиговых складчатых областях. Показано, что изображенные на геологических профилях этих регионов разноамплитудные перемещения отдельных покровных и тектонических пластин по типичным листрическим разломам практически невозможны в связи с возникновением в этом случае «проблемы пространства». Определено, что затруднение вызвано образованием зон приоткрывания или перекрытия при движении блоков по листрическим изогнутым поверхностям разломов в условиях горизонтального сжатия. Высказано предположение, что листрическая форма разломов вторична и образовалась путем деформации ранее существовавших разломов различной морфологии. Приведены кинематические особенности их возникновения, показывающие, что эти нарушения формируются двумя принципиально разными механизмами: в результате выкручивания фронтальных частей надвигов или вследствие искривления и выполаживания нижних частей крутых взбросов. На этом основании выделены два генетических типа листрических разломов, возникающих из разновозрастных нарушений; новообразованных пологих склонов и ранее сформированных крутых разломов. Описаны опыты, проведенные с целью экспериментального моделирования листрических разломов, которые подтвердили взгляды авторов о генезисе этих структур. Сделан вывод, что формирование листрических разломов, развитых в пределах покровно-складчатых орогенов, происходило с помощью обоих механизмов.

**Ключевые слова:** листрический разлом, моделирование, кинематика, блок, покров, шарьяж, механизм, надвиг, взброс.

Листрические разломы представляют собой крутые, близкие к вертикальному на поверхности, и выполаживающиеся с глубиной до пологих, почти до горизонтальных залеганий, разрывные нарушения. В поперечном сечении эти криволинейные разломы имеют форму совка, ковша или лопаты, отчего и происходит их название. В начале XX века термин листрическая поверхность был введен Э. Зюссом, под которым он рассматривал отдельные лопатообразные плоскости разломов [Структурная геология..., 1991]. В последнее время содержание термина так расширилось, что к ним стали относить и вторичные разные по форме искривленные взбросы, надвиги и сбросы, также имеющие широкое распространение. Но

все-таки, в большинстве случаев под этим названием подразумевают разломы, морфология которых соответствует его первоначальному определению [Деннис, 1971; Муравски, 1980].

Листрические разломы расположены в деформированных складчатых структурах, которые сформировались на разных уровнях земной коры и в различных геодинамических условиях, прослеживаются на глубины от первых километров до первых десятков километров, рассекая тем самым значительную часть земной коры, что устанавливается по результатам структурной геофизики. Среди них выделяются сбросы, возникающие в условиях тангенциального растяжения, и взбросо-надвиги, образованные в обстановке сжатия земной коры. Формирование коровых листрических нарушений в процессе, как растяжения, так и сжатия, обусловлено анизотропией земной коры [Паталаха, 1986; Паталаха, Хрычев, 1988; Хаин, Ломизе, 1995] в разных ее зонах и подчинено принципу минимального расхода энергии на образование разлома [Паталаха и др., 1990].

В настоящее время существует несколько альтернативных представлений о происхождении листрической морфологии разломов. Возникновение этих нарушений обусловлено, как считают некоторые исследователи, существенными изменениями вязкости земной коры с глубиной, за счет изменения с глубиной  $PT$  условий. Глубинные листрические разломы имеют крутое падение в холодной эпизоне, а также в теплой мезозоне и выполаживаются при переходе в горячую катазону. Подобное представление высказывают и другие авторы, которые отмечают, что листрическое раскалывание земной коры происходит по причине ее реологической расслоенности. При последовательном разрывообразовании в хрупких, хрупко-пластических и пластических средах, глубинные разломы постепенно меняют углы падений своих плоскостей от крутых до пологих, вследствие чего они приобретают листрическую морфологию [Шишкин Е., Шишкина Т., 1989].

В регионах развития рифтогенных структур распространены листрические сбросы, образованные в обстановке тангенциального растяжения земной коры. В этих сооружениях, по данным геофизики, отмечаются системы листрических сбросов ковшеобразной формы, ограничивающие ступенчато погружающиеся блоки земной коры. Листрические разломы, развитые в верхних уровнях земной коры, на глубинах нескольких километров, иногда в пределах 5–8 км от дневной поверхности, также пользуются широким развитием. Они прослеживаются, в основном, в пределах верхней части коры до глубины 10–20 км. Но, наряду с этим, фиксируются и более глубокие (30–40 км) листрические сбросы, рассекающие всю земную кору и, возможно, верхнемантийный слой. Особенностью морфологии этих нарушений является изменение углов наклона их поверхностей в вертикальном разрезе. Близ поверхности они обычно имеют крутые ( $70$ – $90^\circ$ ) углы падения, которые далее на глубине постепенно уменьшаются до  $20$ – $30^\circ$  и затем выполаживаются до  $5$ – $10^\circ$ , иногда до почти горизонтального положения.

Как видно из вышеизложенного, условия формирования глубинных листрических сбросов изучены достаточно хорошо, но все-таки еще остается много дискуссионных и нерешенных вопросов. Однако происхождение листрических нарушений, развитых в самых верхних слоях земной коры в пределах интенсивно дислоцированных подвижных зон и сформированных в обстановке горизонтального сжатия, пока остается недостаточно выясненным. Это вызвано тем, что в близповерхностной части земной коры не всегда проявлены вышеперечисленные обще-

коровые РТ и реологические условия или зачастую листрические разломы развиты в литологически однородных средах, например, во флишевых толщах мобильных систем. Поэтому существующие представления о глубинных условиях их формирования непригодны для объяснения их природы в покровно-надвиговых складчатых орогенах. Вместе с тем, установление генезиса листрических разломов представляет большой интерес, поскольку, как выяснилось, они часто подстилают тектонические покровы или их отдельные пластины. Кроме того, их нередко считают разломами взбросового типа, судя по их крутому залеганию на дневной поверхности, чем отрицается их принадлежность к фронтальным частям шарьяжей.

Между тем, вышеотмеченные механизмы образования листрических дизъюнктивов никак не могут быть универсальными, поскольку в них рассмотрены причины образования только общекоровых разломов. Поэтому они не пригодны для решения вопроса возникновения этих нарушений в самых верхних этажах земной коры, где широко развиты покровные и надвиговые структуры. Здесь, очевидно, действуют другие процессы формирования листрических поверхностей.

Кроме того, разломы листрической морфологии отличаются друг от друга динамическими условиями образования. Листрические сбросы формируются в режиме рифтогенных деструкций и латерального растяжения, поэтому они не являются элементами покровных структур. Такие условия дают возможность свободного перемещения и опускания по изогнутой поверхности сместителя под действием силы тяжести. Этот процесс сопровождается противоположными вращениями крупных блоков земной коры. В листрических взбросо-надвиговых разломах скольжения по поверхности нарушения тектонического покрова (активного аллохтонного блока на экспериментальных моделях) и его латеральное перемещение происходят, в основном, с помощью силы горизонтального сжатия. Это приводит к возникновению покровно-надвиговых структур и антитетическому наклону поверхности движущегося блока структурного комплекса. В этом заключается отличие листрических взбросо-надвигов от листрических сбросов, возможные причины образования которых, как считают некоторые исследователи, установлены достаточно убедительно.

В покровно-складчатых разновозрастных сооружениях этого типа широким развитием пользуются листрические взбросо-надвиговые нарушения, где они обычно ограничивают тектонические покровы или отдельные пластины в зонах развития чешуйчатых структур. Глубины залеганий листрических разломов, возникших в результате тангенциального сжатия, в основном, 5–8 км от дневной поверхности, редко 10–20 км. Протяженность листрических разломов составляет от нескольких до первых десятков километров. Они осложняют структуры складчатых систем, иногда входящих только в одну мезозону, особенно в регионах, имеющих шарьяжное строение. Листрические нарушения известны в разновозрастных складчатых областях, таких как: в каледонидах Аппалачей [Ирдли, 1954; Кинг, 1961], в варисцидах Урала [Камалетдинов, 1974], в альпидах Альп [Белостоцкий, 1978; Руттен, 1972], Динарид [Белостоцкий, 1978], Карпат [Хаин, Ломизе, 1995], Крыма [Казанцев, 1982] и во многих других регионах. Шарьяжные структуры в этих областях возникли как в процессе проявления отдельных фаз складкообразования, так и после завершения формирования складчатости. Складчато-покровные структуры развиты также и в пределах Южного склона Большого Кавказа, как это считают некоторые авторы [Гамкрелидзе П., Гамкрелидзе И., 1977]. Однако в пределах Южного склона Большого Кавказа, где якобы развиты шарьяжи, на составленных авторами

статьи многочисленных детальных геолого-структурных поперечных профилях листрические разломы достоверно не установлены. Здесь гораздо чаще развиты только крутые ( $80-85^\circ$ ), наклоненные в основном на север, взбросовые, а редко сбросовые, нарушения. Конечно, можно допустить на глубине выполаживание крутых разломов до горизонтального и образование структур листрической морфологии, подстилающих шарьяжи, но без дополнительных данных это будет только ничем неподтвержденным предположением.

В сильно дислоцированных коллизионных складчатых системах выделяются два основных морфологических типа листрических разломов: 1) типичные листрические нарушения, когда крутая часть разлома значительно меньше пологой; 2) искривленные по разному взбросы, в которых крутой отрезок дизъюнктива равен или больше пологого. Первые, в основном, подстилают тектонические покровы, а вторые ограничивают отдельные чешуйчатые пластины в складчатых зонах.

При рассмотрении листрических разломов в поперечном сечении любой складчатой зоны, где они проходят по подошве надвиговых и покровных пластин, по ним отмечаются многокилометровые смещения масс, по отношению подстилающих их структур. Эти разломы представляют собой типичные, как это заложено в определении термина, листрические нарушения. Они состоят из короткого крутопадающего в верхней части и из длинного (в 1,5-2,5 и более раз) пологозалегающего субгоризонтального отрезков, форма которых похожа на салазки санок. В связи с этим возникают вопросы: как образуются в условиях горизонтального сжатия листрические разломы, каким образом происходят по ним такие большие перемещения и возможны ли вообще латеральные смещения вдоль типичных листрических поверхностей?

Цель работы состояла в установлении возможностей и особенностей движений по типичным листрическим и подобным им изогнутым разломам, изображенным на геолого-структурных разрезах, приведенных в обширной геологической литературе. Авторы хотят обратить внимание на противоречие между крайне сомнительной способностью покровов смещаться по нарушениям листрической морфологии, с одной стороны, и наблюдаемыми в природе реальными смещениями, с другой [Гиоргобиани, Закарая, 2000, 2007], в результате чего дать объяснение этому несоответствию и, тем самым, подойти к решению еще не до конца изученной проблемы формирования листрических разломов.

Проведем анализ кинематики движений типичных листрических и подобных им изогнутых разломов. При этом экспериментально исследуем поведение перемещающегося по листрической поверхности активного блока (покрова), который испытывает боковое горизонтальное давление. Следует выяснить, как поведут себя при сжатии листрические разломы, обычно ограничивающие снизу покровные структуры, при смещении по ним складчатых комплексов, в зависимости от их морфологии. Предположение о движении аллохтонного блока по листрическому разлому в действительности встречает непреодолимые препятствия. В этом можно легко убедиться во время простого физического экспериментального моделирования возможностей и особенностей движений вдоль листрических поверхностей, используя при этом листы картона.

Многочисленные варианты характера смещений, получаемых при простейших моделированиях листрических нарушений различной морфологии, позволят нам определить, как происходит движение по этим разломам в условиях поперечной

плоской деформации. Для этого возьмем структуру типичной листрической формы и сделаем очень простой эксперимент, зная при этом, что такие модели слишком схематично отражают реальные процессы, которые происходят в природе. Однако полученные результаты могут наглядно показать возможную кинематику движений плоскости покровов (блоков) по листрическим разломам с меняющейся геометрией в условиях горизонтального сжатия в поперечном сечении модели.

Если вырезать типичный листрический разлом на картонной бумаге и постараться провести по нему взбросо-надвиговые движения верхней части бумаги (активный блок или аллохтон), перемещение его относительно нижней части (пассивный блок или автохтон) не произойдет (рис. 1а). Скольжение вдоль листрического нарушения может иметь место только в том случае, если субгоризонтальный отрезок листрического разлома перекрывает значительную часть подстилающего блока, а крутая половина его не надвинется, а наоборот удалится от него, образуя, таким образом, зияющее пространство (рис. 1б). При этом активный блок, имитирующий тектонический покров, поворачивается по часовой стрелке и испытывает перекося (вращение) в противоположном перемещающемуся блоку направлении.

Похожий результат получается, если крутая часть листрического разлома наклонена полого и представляет собою, по существу, искривленный надвиг (рис. 2а). Перемещение по нему возможно, если пологозалегающая часть нарушения также перекрывает участок автохтонного блока, а в изогнутом отрезке разлома образуется узкая приоткрытая полоса. Только в этом случае произойдет надвигание аллохтонного блока на смежный пассивный блок, вызывающее его антитетический наклон (рис. 2б).

Вообще отмечается такая закономерность: чем круче наклон верхней части листрического разлома и чем резче переход в пологий отрезок, тем меньше возможности перемещения по его поверхности.

Движения, аналогичные предыдущим, могут происходить в сложной складчатой структуре, если она осложнена типичными листрическими разломами (рис. 4а). При перемещении по ним активных блоков (пластин) в структуре также образуются зияющие и перекрытые участки. Кроме того, вследствие кривизны нарушений, происходит поворот каждой пластины и их перекося (вращение) по направлению движения стрелок часов (рис. 4б). При этом в каждом блоке меняется первичный наклон осевых плоскостей складок. Они становятся круче до вертикального, даже опрокидываются в противоположную сторону, что не отмечается ни в одном из опубликованных геологических разрезов подвижных зон.

Таким образом, при перемещении блоков (покровов) по типичным листрическим нарушениям возникает «проблема пространства», вызванная раскрытием разлома и перекрытием активным блоком пассивного. Для движения вышележащего блока по криволинейной поверхности необходимо, чтобы пологая часть аллохтона «внедрилась» и «погрузилась» в нижележащий автохтон на значительную глубину.

Совершенно очевидно, что такие большие «вмятины» и «проникновения» (перекрытие на рисунках) движущего блока в тело автохтона и образование открытой щели в природных условиях происходить не могут. Следствием этого является блокирование смещения вышележащего блока автохтоном. Поэтому мы можем уверенно предполагать, что по типичным листрическим разломам, наиболее широко развитым в сложно складчатых регионах и которые ограничивают подошвы по-

кровных структур, перемещение взбросо-надвигового типа, тем более на большие расстояния, невозможно.

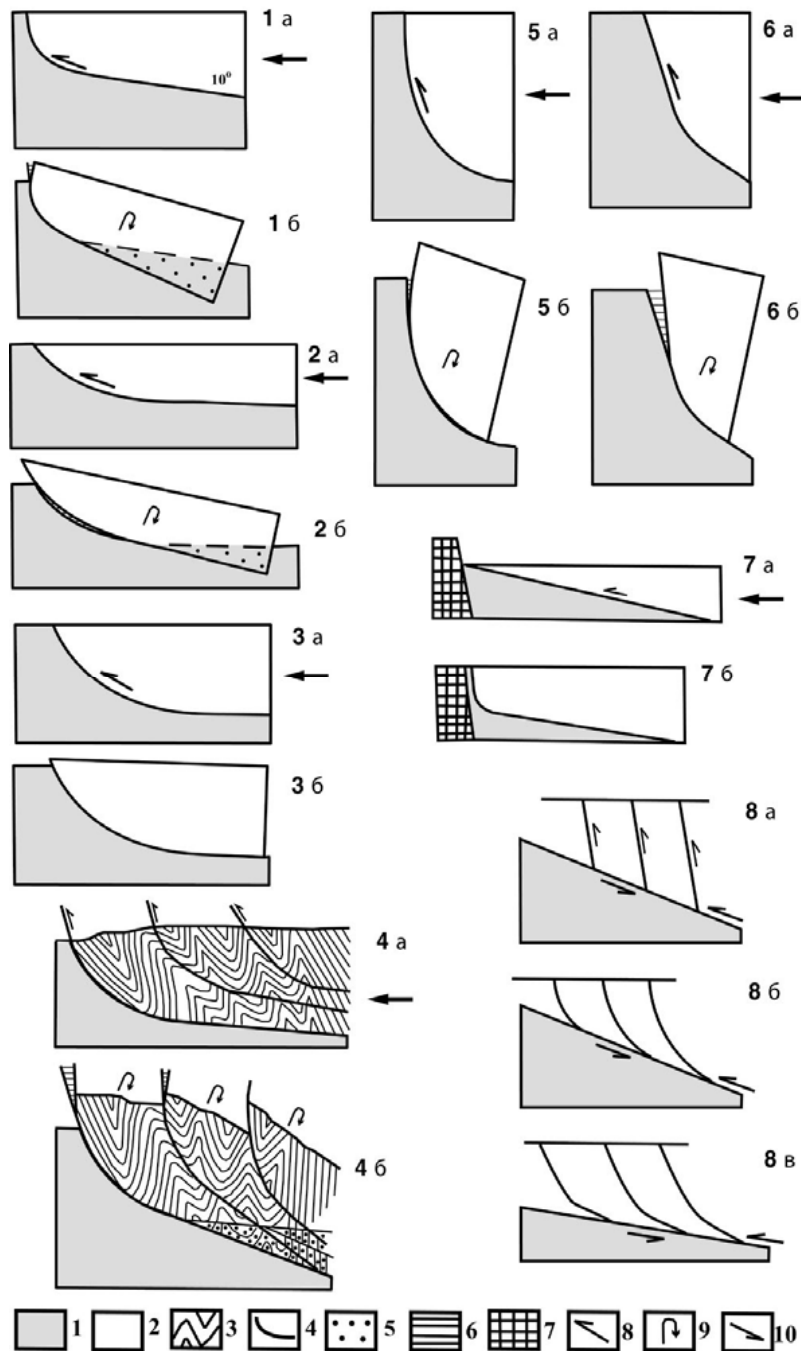


Рис. 1–8. Экспериментальное моделирование перемещений блоков различной формы по листрическим разломам и возможные механизмы их формирования:

1 – пассивный блок (автохтон); 2 – активный блок (аллохтон), имитирующий тектонический покров; 3 – складчатые структуры аллохтонных блоков; 4 – листрические разломы; 5 – участки перекрытия; 6 – участки приоткрывания (зияния); 7 – барьер (упор), блокирующий перемещения аллохтонных блоков (покровных пластин); 8 – направление смещения активных блоков по разломам; 9 – направление вращения блоков; 10 – направление тангенциального сжатия.

Рисунки 1–6 сделаны по фотографиям проведенных опытов

Движение отмечается лишь по коротким листрическим разломам со сравнительно пологими (до  $50\text{--}60^\circ$ ) верхними отрезками, в которых длина крутой и пологой части примерно равна (рис. 3а). Активный блок при сжатии беспрепятственно перемещается только на незначительное расстояние (рис. 3б), затем движение блокируется и прекращается. Амплитуда смещения незначительна и она в 10–30 и более раз меньше, чем длина разлома и меняется в зависимости от их конфигурации.

Моделированием установлено, что, если углы падения разлома на поверхности составляют  $80\text{--}90^\circ$ , перекрытие пассивного блока активным не происходит, и последний наклоняется в противоположном движению направлении. Процесс надвигания наблюдается лишь тогда, когда углы наклона нарушения достигают  $40\text{--}60^\circ$  и менее. При этом величины смещений различны в зависимости от угла падения крутой части листрического разлома. Чем положе наклонена крутая часть нарушения, тем больше величины перемещений аллохтонного блока.

Некоторые искривленные подобно листрическим разломы имеют дугообразную форму (рис. 5а). По этим поверхностям происходит свободное смещение активного блока, которое носит надвиго-взбросовый характер. При этом если углы наклона верхних отрезков нарушения составляют  $50\text{--}70^\circ$ , наблюдается перекрытие активным блоком пассивного. При большем угле ( $80\text{--}90^\circ$ ) падения надвиговое движение не отмечается, а фиксируется образование «зияния» между нижним и верхним блоками и сильный антитетический наклон последнего (рис. 5б). При сбросовой кинематике движения блока также наблюдается свободное его скольжение вдоль дугообразного разлома.

Другие типы листрически изогнутых разломов – искривленные взбросы, – также являются благоприятными для беспрепятственного перемещения по ним аллохтонных блоков (рис. 6а). При этом они также имеют двойную кинематику: на участке пологого залегания отмечается надвиговое перемещение, а на крутом – взбросовое. В процессе движения происходит отрыв активного блока от пассивного и формирование «зияющего» участка, противоположное движению наклона (вращения) аллохтона (рис. 6б).

Лабораторные физические эксперименты, воспроизводящие описанные условия кинематики листрических разломов в среде различных пластичных однородных материалов, хорошо согласуются с результатами, полученными моделированием на жесткой картонной бумаге [Гиоргобиани, Закаря, 2000].

Таким образом, проведенные моделирования показали невозможность разноамплитудных перемещений аллохтонных блоков (покровов) по типичным листрическим нарушениям в силу своей геометрии и ограниченную возможность смещения только по искривленным взбросам и надвигам. Аналогичные результаты получаются и при моделировании поддвиговых движений блоков вдоль поверхности листрических разломов.

Вместе с тем опыты выявили новые, ранее не известные, детали возможного развития процесса продвижения блоков по листрическим нарушениям. В структуре покровно-складчатых систем существуют разломы с морфологией, присущей листрическим нарушениям, но с большими амплитудными перемещениями, по которым смещены шарьяжи, что изображено на геологических разрезах многих регионов. Несмотря на то, что авторы ряда работ [Белостоцкий, 1978; Гамкрелидзе П., Гамкрелидзе И., 1977; Ирдли, 1954; Казанцев, 1982; Камалетдинов, 1974; Кинг,

1961; Руттен, 1972] не называют эти разломы листрическими, сходство в морфологии очевидно на геологических разрезах, приведенных в этих публикациях.

Некоторые вышеуказанные авторы [Гамкрелидзе П., Гамкрелидзе И., 1977] на представленных ими разрезах, допускают возможность больших смещений шарьяжей вдоль поверхностей подстилающих их листрических разломов на десятки километров, и не рассматривая условий и механизмов происхождения листрических нарушений, а и не обосновывая реальность перемещения по ним шарьяжных структур. Результаты проведенного авторами моделирования, установившее блокирование перемещений шарьяжей вдоль листрических нарушений, дают основание поставить под сомнение физическую возможность таких движений. В связи с этим вопрос развития шарьяжных структур в пределах Большого Кавказа требует тщательного пересмотра.

В процессе смещений по листрическим разломам в аллохтонных блоках остаются следы таких движений. Складчатые комплексы, ограниченные листрическими разломами, не имеют антитетические наклоны структур, образующиеся при смещении по поверхности морфологии листрического типа, что хорошо видно на рисунках проведенных опытов (рис. 1). Кроме того, перемещение блоков по субвертикальной части поверхности листрического разлома также не привело бы к значительным перекрытиям смежных структур, как это часто рисуется на опубликованных разрезах. В этом случае движения активных структур были бы направлены только снизу вверх, без надвигания на подстилающие автохтонные блоки и не привели бы к сокращению ширины деформируемой зоны, что заведомо неверно.

Таким образом, при рассмотрении вопроса возможности перемещения активных блоков (покровов) по листрическому разлому возникает несоответствие между предположением и действительностью. Разрешение этого противоречия возможно лишь при предположении, что фиксируемая во многих покровно-складчатых областях листрическая форма разломов вторична, и сформировалась в процессе повторной деформации ранее возникших нарушений. При этом следует допустить, что во время перемещений по ним структурных комплексов они не имели изогнутые конфигурации и образовались из прямолинейных пологих первичных надвиговых разломов (рис. 7а). Последние, представляющие собой молодые сколовые разломы, свободное смещение по которым может достигать значительных размеров, возникли в верхнекоровом слое на орогенном этапе развития регионов в обстановке интенсивного тангенциального сжатия складчатой зоны. Криволинейную морфологию надвиги приобрели позже, после смещения структур вдоль поверхностей, в результате выкручивания их фронтальных частей. Крутые наклоны они приняли после того, как движения по пологим разломам, ограничивающие тектонические покровы, были приостановлены после упора фронтальных участков активных блоков (шарьяжей) к морфологически выраженным поднятиям. При встрече препятствий (тектонические уступы, различные выступы рельефа, рифовые массивы и т.д.), образуется упор перед покровной пластиной (аллохтонным блоком). Образовавшийся барьер мешает его дальнейшему пологому перемещению, которое затем становится невозможным и прекращается. Продолжающееся горизонтальное сжатие активного блока, находящегося в заблокированном состоянии, вынуждает надвиг постепенно выкручиваться до вертикального положения в своей фронтальной части с формированием листрического нарушения (рис. 7б). Углы наклона крутого отрезка разлома, располагавшегося вдоль барьера, не постоянны и уменьшаются с



ослаблением интенсивности горизонтального сжатия покровно-складчатой зоны, а также с увеличением силы трения в подошве скользящего покрова (активного блока). После достижения листрической формы нарушения с субвертикальной частью перемещение по ним (покровообразование) останавливается и заканчивается, в связи с блокированием перемещения масс вдоль искривленной поверхности. Следовательно, листрическая морфология разлома свидетельствует о прекращении формирования шарьяжей и запечатывании подвижности складчатой зоны.

Другой тип листрических разломов, представленных дугообразными формами нарушений или менее искривленными взбросами, образуется в результате деформации первичных крутых взбросов. В структуре покровно-складчатых зон нередко выделяются главные крупные листрические нарушения (детachment) и прилегающие к ним системы более мелких взбросов (рис. 8а). По основному разлому, представляющему ранее прямолинейный сколовый дизъюнктив, в обстановке латерального сжатия происходят надвиговые (или поддвиговые) перемещения. В результате сдвигового движения по зоне базисного разлома крутые взбросы начинают искривляться, приобретая при этом разную конфигурацию: от близкой к дугообразной (рис. 8б) до слабо или частично изогнутой формы, когда во взбросах вылаживаются только их нижние части, а верхние остаются крутыми. Такие деформации способствуют возникновению взброшенных друг на друга крутопадающих блоков (пластин), ограниченных листрическими поверхностями (рис. 8в). Разнообразие морфологии нарушений связано с проявлением силы трения, возникающей при скольжении складчатого комплекса в основании магистрального разлома и с величиной тангенциального давления.

Следовательно, листрические разломы, развитые в сильно дислоцированных структурах, могут возникнуть из разновозрастных нарушений: в одном случае из новообразованных пологих разломов скалывания, а в другом – из уже существующих крутых взбросов.

В заключение отметим, что вышеописанные условия и механизмы формирования листрических разломов в приповерхностной зоне складчатых систем, очевидно, не исчерпывают все варианты их образований. Вероятно, возможно возникновение подобных дизъюнктивов и другими альтернативными путями, с образованием других генетических типов листрических нарушений. В свете вышеизложенного возникают сомнения в правильности отнесения к листрическим все крутопадающие вблизи поверхности разломы, как их изображают на геологических разрезах некоторых регионов. Отсутствие на них характерных признаков для движений листрических разломов, противоречит таким предположениям.

Приведенный выше материал дает основание не соглашаться с представлениями о возможности большеамплитудных перемещений отдельных, иногда довольно маломощных пластин и узких чешуй по листрически изогнутым поверхностям разломов, без допущения вторичного происхождения последних. Все это необходимо учитывать при установлении механизма возникновения и условий формирования, сложных покровно-чешуйчатых структур складчатых систем в целом, или их отдельных тектонических зон. Однако можно констатировать, что при любом их генезисе они образуются в единой геодинамической обстановке – в условиях интенсивного бокового горизонтального сжатия, вызывающего хрупкие разломные деформации и покровообразование в раннее возникших структурах коллизионных складчатых орогенов.

### Литература

1. Белостоцкий И.И. Строение и формирование тектонических покровов. – М.: Недра, 1978. – С. 237.
2. Гамкредидзе П.Д., Гамкредидзе И.П. Тектонические покровы Южного склона Большого Кавказа. – Тб.: Мецниереба, 1977. – С. 80.
3. Гиоргобiani Т.В., Закарая Д.П. К вопросу о присхождении листрических разломов // Матер. Науч. сессии посвящ. 110-летию акад. А.И.Джанелидзе. – Тбилиси. – 2000. – С. 215–226.
4. Гиоргобiani Т.В., Закарая Д.П. О механизмах образования листрических разломов // Фундаментальные проблемы геотектоники. Матер. XI тектон. совещ. Т. 1. – М.: ГЕОС., 2007. – С. 178–181.
5. Деннис Дж. Международный словарь английских тектонических терминов. – М.: Мир, 1971. – С. 160-161.
6. Ирдли А. Структурная геология Северной Америки. – М.: Иностран. литерат., 1954. – С. 99–152.
7. Казанцев Ю.В. Тектоника Крыма. – М.: Наука, 1982. – С. 112.
8. Камалетдинов М.А. Покровные структуры Урала. – М.: Наука, 1974. – С. 229.
9. Кинг Ф. Геологическое развитие Северной Америки. – М.: Иностран. литерат. 1961. – С. 81–133.
10. Муравски Г.Н. Толковый словарь немецких геологических терминов. – М.: Мир, 1980. – С. 176-177.
11. Паталаха Е.И. К проблеме листрических разломов // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1986. – №11. – С. 113–120.
12. Паталаха Е.И., Хрычев Б.А. Листрические разломы в складчатых областях // Геотектоника. – 1988. – №4. – С. 8–19.
13. Паталаха Е.И., Марков М.С., Гарагаш И.А., Федоровский В.М., Артюшкевич П.А. Природа и эволюция листрических разломов // Геотектоника. – 1990. – №4. – С. 24–37.
14. Руттен М.Г. Геология Западной Европы. – М.: Мир, 1972. – С. 163–312.
15. Структурная геология и тектоника плит // Под ред. К. Сейферта. Т. 2. – М.: Мир, 1991. – С. 10–18.
16. Шишкин Е.И., Шишкина Т.Ю. О возможном механизме формирования Припятского палеорифта (в свете тектонофизической интерпретации условий образования глубинных листрических разломов) // Геотектоника. – 1989. – №6. – С. 72–80.
17. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – С. 355-356.

DOI: 10.23671/VNC.2018.3.16550

## CONDITIONS AND POSSIBLE MECHANISMS OF FORMING OF LISTRIC FAULTS AND THRUST-FOLD OROGENS

© 2018 T.V. Giorgobiani<sup>1, 2</sup>, Sc. Candidate (Geol.-Min.),  
D.P. Zakaraia<sup>3</sup>, Sc. Candidate (Geol.-Min.)

<sup>1</sup>Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia, 0179, Tbilisi, Chavchavadze Ave., 1;

<sup>2</sup>Al. Djanelidze Geological Institute, Georgia, 1086, Tbilisi, A. Politkovskaia Str., 31, e-mail: ciala\_gugava@mail.ru

<sup>3</sup>LTD «Caucasian Mining Group», Georgia, 0174, Tbilisi, M. Alexidze Str., 1/9, e-mail: d\_zakara@yahoo.com

In the article is discussed the insufficiently studied problem of an origin of the listric faults widely spread in nappe-thrust folded areas. It is shown, that represented in geological cross-sections of these regions displacement of different separate nappes and tectonic sheets with different amplitudes along of typical listric faults are practically impossible because of occurrence of «space problems». It's defined, that the difficulty is caused by formation of zones of opening or overlapping during the movement of blocks along curved surfaces of listric faults in the conditions of horizontal compression. It is assumed, that the listric form of faults is secondary and it was formed by the deformation of existed faults of various morphology. Presented kinematic features of their occurrence showing, that they are formed by two essentially different mechanisms: As a result of twisting of parts of thrusts or owing to a curvature and a flattening of lower parts of reverse faults. On this basis two genetic types of listric faults are distinguished; originating from different age disturbances of newly developed flat chopping offs and early formed abrupt faults. Experiments with the purpose of modeling of listric faults, which have confirmed the authors views on genesis of these structures are described. The conclusion is made, that listric faults within the limits of thrust-fold orogens are developed due to both mechanisms.

**Keywords:** Listric fault, Modeling, Kinematics, Block, Nappe, Overthrust, Mechanism, Thrust, Reverse fault.

## References

1. Belostockij I.I. Stroenie i formirovanie tektonicheskikh pokrovov. [Structure and formation of thrust nappe]. M.: Nedra, 1978. Pp. 237. (in Russian)
2. Gamkrelidze P.D., Gamkrelidze I.P. Tektonicheskie pokrovy Juzhnogo sklona Bol'shogo Kavkaza. [Thrust nappes of the Southern slope of the Great Caucasus].– Tb. Mecniereba, 1977. Pp. 80. (in Russian)
3. Giorgobiani T.V., Zakaraja D.P. K voprosu o prishozhdenii listricheskikh razlomov [On the issue of the listric faults occurrence]. Mater. Nauch. sessii posvjashh. 110-letiju akad. A.I.Dzhanelidze. Tbilisi. 2000. Pp. 215–226. (in Russian)
4. Giorgobiani T.V., Zakaraja D.P. O mehanizmah obrazovanija listricheskikh razlomov [About the mechanisms of listric faults formation]. Fundamental'nye problemy geotektoniki. Mater. XL tekton. soveshh. Vol. 1. M. GEOS., 2007. Pp. 178–181. (in Russian)
5. Dennis Dzh. Mezhdunarodnyj slovar' anglijskikh tektonicheskikh terminov. [International Dictionary of English Tectonic Terms]. M. Mir, 1971. Pp. 160-161. (in Russian)
6. Irdli A. Strukturnaja geologija Severnoj Ameriki. [Structural Geology of North America]. M.: Inostr. literat, 1954. Pp. 99–152. (in Russian)
7. Kazancev Ju.V. Tektonika Kryma. [Tectonics of the Crimea]. M. Nauka, 1982. Pp. 112. (in Russian)
8. Kamaletdinov M.A. Pokrovnye struktury Urala. [Cover structures of the Urals]. M. Nauka, 1974. Pp. 229. (in Russian)
9. King F. Geologicheskoe razvitie Severnoj Ameriki. [Geological development of North America]. M. Inostr. literat. 1961. Pp. 81–133. (in Russian)
10. Muravski G.N. Tolkovyj slovar' nemeckikh geologicheskikh terminov. [Explanatory dictionary of German geological terms]. M. Mir, 1980. Pp. 176-177. (in Russian)

11. Patalaha E.I. K probleme listricheskikh razlomov [To the problem of listric faults]. *Izv. AN SSSR. Ser. geol.* 1986. No.11. Pp. 113–120. (in Russian)
12. Patalaha E.I., Hrychev B.A. Listricheskie razlomy v skladchatyh oblastjakh [Listric faults in folded areas]. *Geotektonika.* 1988. No.4. Pp. 8–19. (in Russian)
13. Patalaha E.I., Markov M.S., Garagash I.A., Fedorovskij V.M., Artjushkevich P.A. Priroda i jevoljucija listricheskikh razlomov [The nature and evolution of listric faults]. *Geotektonika.* 1990. No.4. Pp. 24–37. (in Russian)
14. Rutten M.G. *Geologija Zapadnoj Evropy.* [Geology of Western Europe]. M. Mir, 1972. Pp. 163–312. (in Russian)
15. *Strukturnaja geologija i tektonika plit* [Structural geology and plate tectonics]. Pod red. K. Sejferta. Vol. 2. M. Mir, 1991. Pp. 10–18. (in Russian)
16. Shishkin E.I., Shishkina T.Ju. O vozmozhnom mehanizme formirovanija Pripjatskogo paleorifta (v svete tektonofizicheskoj interpretacii uslovij obrazovanija glubinyh listricheskikh razlomov) [On the possible mechanism of formation of the Pripjat paleorift (in the light of the tectonophysical interpretation of the conditions for the formation of deep listric faults)]. *Geotektonika.* 1989. No.6. Pp. 72–80. (in Russian)
17. Hain V.E., Lomize M.G. *Geotektonika s osnovami geodinamiki.* [Geotectonics with the basics of geodynamics]. M. Izd-vo MGU, 1995. Pp. 355-356. (in Russian)