

УДК 622.272

В.В. Трошенко

**АНАЛИЗ МОРФОЛОГИИ СМЕСТИТЕЛЕЙ И КИНЕМАТИКИ
ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ КРЫЛЬЕВ
ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗРЫВОВ УГЛЕНОСНЫХ ТОЛЩ***

Приведены результаты наблюдений в различных угольных бассейнах сдвигов в дислоцированных угленосных толщах и смещений крыльев угольных пластов.

Ключевые слова: тектоническое строение угольных бассейнов, массив пород, трещины, модели поверхностей.

Семинар № 1

V.V. Trochenko

**THE ANALYSIS OF THE FAULT
PLANE MORPHOLOGY AND THE
KINEMATICS OF THE RELATIVE
DISPLACEMENT OF THE
TECTONICAL FAULT SIDES OF THE
COAL MASS**

The results of the observations of displacements in the dislocated coal masses in the different coal basins and the displacements of the coal layer sides are given.

Key words: tectonical coal basin structure, rock mass, flaws, surface models.

**Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН «Развитие технологий мониторинга, экосистемное моделирование и прогнозирование при изучении природных ресурсов в условиях аридного климата».*

Необходимость определения направления относительного перемещения крыльев разрывного смещения возникает в процессе анализа тектонического строения угольных бассейнов и месторождений и истории их геологического развития, а также в случаях решения сугубо практических задач, например, отыскания смещенного крыла угольного пласта в угольных шахтах. Помимо известных стратиграфических и тек-

тонофизических способов восстановления кинематики разрывов существенную помощь в решении таких задач может оказать геометрический анализ поверхностей сместителей тектонических разрывов.

В качестве типовой геометрической модели разрывного смещения обычно принимают плоскость сместителя и две полуплоскости смещенных крыльев одного и того же пласта или какого-то иного стратиграфического горизонта. На практике выясняется, что сместители представляют собой кривые поверхности, которые если и можно принять за плоскость, то только на небольших участках. Построенные по фактическим данным гипсометрические планы сместителей крупных сбросов и надвигов характеризуют сложный рельеф поверхностей смещения, зачастую имеющих резкие коленообразные изгибы в плане и в разрезе. Примеры таких разрывов известны в Донецком угольном бассейне (Ильичевский надвиг в Алмазно-Марьевском районе, Французский и Мушкетовский в Донецко-Макеевском, Самсоновский в Краснодонском, Горняцкий в Белокалитвенском, Криворожско-Павловский сброс в Южном Донбассе). Малоамплитудные разрывные смещения так-

же обнаруживают более или менее кривые поверхности сместителей.

Кроме того, на поверхностях сместителей обычно развиты многочисленные мелкие неровности в виде гребней, штрихов и борозд, ориентированных в направлении, параллельном вектору относительного перемещения крыльев, а также неровности в виде уступов, выбоин, ориентированных в основном поперечно к направлению относительного перемещения. Эти детали микрорельефа сместителей относительно хорошо изучены и давно используются геологами для восстановления направления относительного перемещения крыльев разрывных смещений (преимущественно малоамплитудных). Крупные же изгибы сместителей, обнаруживаемые при построении гипсометрических планов, обычно интерпретируются как результат складчатых деформаций слоистых толщ, происшедших после образования разрыва, а возможность других объяснений игнорируется. Что касается деталей рельефа средних размеров, измеряемых дециметрами и метрами, то последние чаще всего не регистрируются при геологической документации и не изучаются вообще.

Между тем, эти неровности имеют то же происхождение, что и мелкие штрихи и борозды и, соответственно, такое же, если не большее диагностическое значение, позволяя с большей точностью и определенностью восстановить направление относительного перемещения крыльев, на что указывал, например, проф. А.А. Трофимов [4].

Можно полагать, что в момент зарождения трещины разрывного нарушения за счет слияния отдельных поверхностей ослабления в неоднородном массиве пород (трещин, поверхностей напластования) первичная поверхность сместителя приобретает

в сечении, параллельном вектору перемещения крыльев прямолинейный или слабо изогнутый профиль, в сечении же поперечном к этому вектору, часто появляются резкие неровности, волны, изломы, зигзагообразные или фестончатые изгибы, обусловленные неоднородностями смещаемого породно-угольного массива. Такой характер поверхностей смещения обнаруживается и у разрывов на моделях из эквивалентных материалов [2]. Объяснить такой характер морфологии сместителей тектонических разрывов можно тем, что любые неровности поверхности сместителя, непараллельные вектору смещения, в процессе перемещения крыльев подвергаются разрушению, формируя зону нарушенных пород, неровности же параллельные этому вектору сохраняются и взаимно «прирабатываются» за счет трения крыльев, а также могут блокировать возможность перемещения в других направлениях.

С этой точки зрения представляет интерес проведение геометрического моделирования возможных форм сместителей тектонических разрывных смещений и возможных направлений тангенциальных смещений крыльев по ним (рис. 1). Если принять сместитель за плоскость, то по плоскому сместителю возможны поступательные перемещения в любом направлении и повороты вокруг оси, нормальной к поверхности сместителя (рис. 1,1).

Можно представить сместители в виде правильных криволинейных поверхностей (рис. 1, 2), как-то: а) сферические, б) цилиндрические, в) конические и г) поверхности двоякой кривизны - эллипсоидальные, тороидальные, параболоидальные и т.п., любое сечение которых представляет собой выпуклую кривую без перегибов и изломов. Легко видеть, что

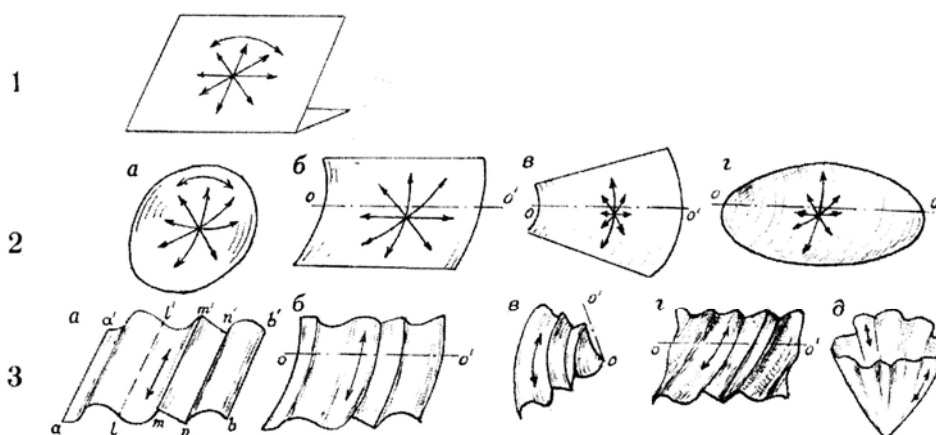


Рис. 1. Поверхности сместителей разрывных смещений и возможные направления относительного перемещения их крыльев с учетом некоторой пластической деформации пород (показаны стрелками): 1 - плоские поверхности; 2 - простые криволинейные поверхности (а - сферические, б - цилиндрические, в - конические, г - эллипсоидальные, тороидальные, параболоидальные и т.п., $o - o'$ - ось вращения); 3 - сложные криволинейные поверхности (а - линейчатые или псевдоцилиндрические, б, в - сложные поверхности вращения, г - винтовые, д - коноидальные)

сферическая поверхность допускает все те же перемещения, что и плоская; цилиндрическая - те же, кроме поворотов вокруг нормальных осей, поверхности конические и двоякой кривизны допускают, с учетом возможной ограниченной пластической деформации пород, те же перемещения (без поворотов), причем преимущественными будут, видимо, направления, совпадающие с сечениями, имеющими наименьшую изменчивость кривизны.

В третью группу можно отнести сместители, представляющие собой сложные криволинейные поверхности (рис. 1, 3), а именно: а) псевдоцилиндрические или линейчатые, образованные поступательным прямолинейным перемещением вогнуто-выпуклой кривой или ломаной линии $almnb$, имеющей не менее одной точки перегиба (l) или излома (l , l'). Такая поверхность имеет прямолинейные ли-

нии перегиба (l) или излома (l' , l'') и допускает свободное относительное перемещение крыльев только в направлении, параллельном этим линиям. К этой группе можно отнести также сложные поверхности вращения, образованные вращением сложной кривой, аналогичной линии $almnb$ на рис. 1 3, а, вокруг оси $o-o'$ не пересекающей (б) или пересекающей (в) поверхность вращения; к сложным криволинейным поверхностям относятся также и винтовые поверхности (г), образованные вращением сложной кривой $almnb$ вокруг оси $o-o'$ с одновременным поступательным перемещением вдоль последней. Для всех упомянутых поверхностей данной группы относительное перемещение крыльев возможно только в направлениях, параллельных их гребням и бороздам, как показано на рисунке. Возможны также коноидальные поверхности сместителей (д),

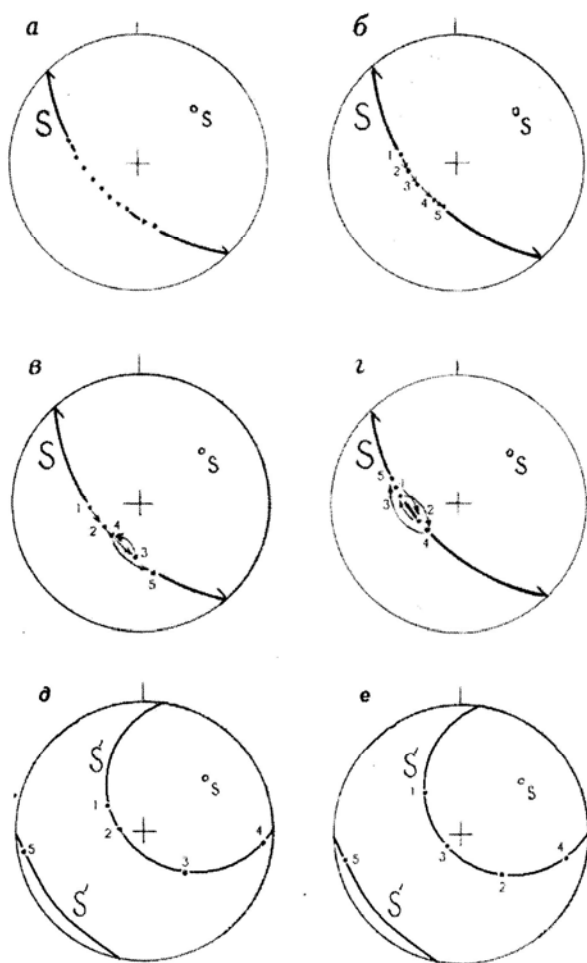


Рис. 2. Анализ геометрии сместителей в стереографической проекции:

а - поясное расположение полюсов площадок замера для цилиндрической и псевдоцилиндрической поверхностей (S - пояс, s - его полюс), б - однонаправленное изменение ориентировки площадок цилиндрической поверхности по дискретным замерам элементов залегания, в, г - возвратное изменение ориентировки площадок для псевдоцилиндрической поверхности, полюс пояса s совпадает с направлением относительного смещения крыльев; д - последовательное расположение полюсов конической поверхности на дуге малого круга сферы проекции для конической поверхности; е - возвратное расположение полюсов для псевдоконической поверхности (схема); s - проекция оси конуса, S - дуга малого круга - геометрическое место проекций площадок конической поверхности

напоминающие конус или пирамиду с основанием в виде сложной кривой или ломаной линии и прямолинейными или имеющими слабый однонаправленный изгиб образующими. Здесь также допустимое направление перемещения крыльев (с учетом некоторой пластической деформации пород) направлено вдоль гребней и борозд поверхности.

Перечисленные модели поверхностей, построенные на основе теоретических рассуждений, встречаются в реальных условиях дислоцированных

угленосных толщ, в виде сместителей разрывных нарушений различного масштаба, от микроамплитудных (мм) смещений по трещинам скалывания до крупнейших надвигов, однако их форма далеко не всегда поддается определению из-за ограниченности доступа. Любая поверхность на достаточно малом участке обнажения будет близка к плоскости, сложную форму сместителя можно представить как комбинацию более простых форм.

Из рассмотренных поверхностей наибольшей информативностью в части установления возможного направления перемещения крыльев обладают поверхности третьей группы, имеющие линии излома или перегиба.

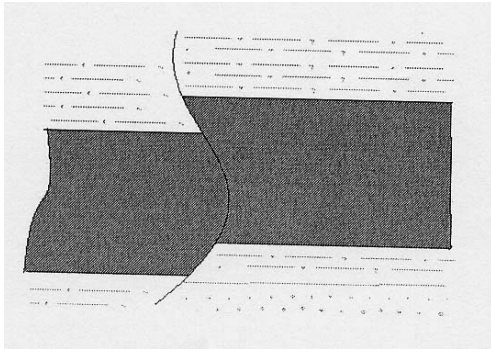


Рис. 3. Сдвиговое смещение угольного пласта h_g . Зарисовка стенки штрека шахты «№6 Красная Звезда», Донецко-Макеевский район, Донбасс (по Т.Г. Приступа, 1967 г.).

Для определения возможного направления перемещения по такой поверхности надо отыскать направление наименьшей кривизны (или, точнее, наименьшей изменчивости кривизны). Для поверхностей, близких к псевдоцилиндрической это направление будет параллельно линиям пересечения касательных плоскостей, проведенных к этой поверхности в различных ее точках, либо, если в обнажении обнаруживаются непосредственно гребни и борозды - параллельно этим гребням и бороздам.

Поверхности, близкие к сферическим, цилиндрическим, коническим и эллипсоидальным (рис. 1, 2 а, б, в, г) характерны для многих разрывов, сместители которых выполаживаются с глубиной, при отсутствии значительных неоднородностей механической прочности слоев пород, слагающих угленосную толщу. Более обычны однако поверхности псевдоцилиндрические и вида сложных поверхностей вращения (рис. 1, 3 а, б, в), причем по типу 3, в формируются сместители в местах затухания смещения по простирацию. Винтовая форма поверхности характеризует выполаживающиеся книзу сместители взбросов со сдвиговой составляющей.

На практике по разрозненным элементам залегания поверхности в отдельных точках (например, в забоях

штреков, встретивших сместитель) бывает довольно трудно представить его геометрию. Площадь обнаженной поверхности сместителя в пределах одной горной выработки может быть настолько мала, что эта поверхность выглядит как плоскость, и сложная форма сместителя выявляется только при сопоставлении элементов его залегания, замеренных в нескольких выработках. Здесь весьма эффективным средством геометрического анализа оказывается стереографическая проекция [3]. Элементы залегания псевдоцилиндрической поверхности, замеренные в дискретных точках, дадут поясное распределение полюсов на стереограмме (рис. 2 а), т.е. расположатся вдоль дуги большого круга S , а полюс этой дуги s укажет возможное направление смещения крыльев (в стереографической проекции линия пересечения плоскостей определяется как полюс плоскости, в которой лежат перпендикуляры к данным плоскостям, т.е. их полюсы). Анализ несколько осложняется тем, что для цилиндрических поверхностей характерно такое же расположение полюсов по дискретным замерам элементов залегания, хотя диагностическое значение таких поверхностей совершенно иное. Для различения этих двух видов поверхностей рекомендуется наносить полюсы на стереограмму последовательно, в соответствии с порядком расположения замеров вдоль какого-либо избранного направления (по падению, простирацию сместителя и т.п.), соединяя последовательные полюсы линией.

Для поверхности, не имеющей линий перегиба или излома (цилиндрической) полюсы расположатся последовательно, как показано на рис. 2 б, для псевдоцилиндрической же поверхности направление изменения элементов залегания будет периодически изменяться при переходе через линии перегиба или излома, образуя однократные или многократные петли или возвраты (рис. 2, в,г). Полюсы конических и коноидальных поверхностей располагаются на дугах малых кругов сферы проекции (рис. 2, д,е).

Отметим также, что изучая сместители непосредственно в обнажениях и горных выработках, необходимо отличать детали поверхности (гребни и борозды), ориентированные продольно к вектору перемещения крыльев и характеризующие рельеф собственно боков сместителя, от так называемых «волн трения» [1], ориентированных поперечно к направлению перемещения и развитых в деформированных породах (тектонической брекчии), выполняющих трещину-сместитель.

Наш опыт изучения угольных бассейнов показывает, что реальные разрывные смещения имеют весьма различные формы сместителей, от плоскости до сложных кривых поверхностей. Так, малоамплитудные разрывные нарушения обычно имеют сместители в первом приближении плоские, однако при более тщательном анализе поверхности сместителей оказываются псевдоцилиндрическими, или, как показано в работе [1], являются элементами псевдоцилиндрической поверхности более крупного разрыва. Большинство надвигов имеют сложную форму сместителей, на ограниченных участках грубо приближающихся к цилиндрической (с выполаживанием сместителей на глубину). Сместители так называемых

«концентрических» надвигов Донецко-Макеевского района Донбасса, например, по общей форме близки к эллипсоидальным поверхностям. Надвиги с волнообразной формой сместителей (например, упомянутый выше Ильичевский или некоторые надвиги Анжеро-Судженского района Кузнецкого бассейна), которым приписывалось доскладчатое происхождение с последующим вовлечением в складчатые дислокации, скорее всего возникли на последних стадиях развития синклиналий в их замковых частях и использовали для своего развития поверхности ослабления, присутствующие в складчатой толще, а вектор смещения по их сместителям должен быть ориентирован параллельно осям элементарных складок. Коноидальная форма сместителей встречается редко, главным образом у микроамплитудных разрывных смещений, развитых в некоторых алевролитах и связанных, по-видимому, с неравномерным уплотнением пород при диагенезе или с ростом конкреций. Относительно малоамплитудных разрывов, широко развитых в дислоцированных угленосных толщах, можно сформулировать простое правило: если сместитель имеет волнистую или зигзагообразную форму в плане и прямолинейен или слабо изогнут в поперечном разрезе, то вектор относительного смещения крыльев ориентирован скорее всего по линии падения-восстания сместителя или близко к ней, если же волнистость сместителя хорошо заметна в вертикальном сечении, а в плане разрыв близок к прямолинейному, это свидетельствует о преобладании сдвиговой (горизонтальной) составляющей смещения. Так, «странные» малоамплитудные разрывы с волнистыми сместителями, зафиксированные на зарисовках шахтных геологов по стенкам

штреков шахт «□ 6 Красная Звезда», «Глубокая» и др. в Донецко-Макеевском районе Донбасса, где, например, в кровле пласта разрыв выглядел как сброс, а в почве того же пласта - как взброс, и наоборот (рис. 3), оказались сдвигами, связанными с крупной зоной сдвиговых деформаций «Провиданс», развитой в висячем крыле Мушкетовского надвига. Морфология самой зоны «Провиданс» изучена недостаточно, однако известно, что она представлена множественными сместителями разнообразной ориентировки, преимущественно широтного простирания с преобладающим северным падением под углами, близкими к 45° , причем смещение по отдельным разрывам выглядит в одних случаях как взбросовое, в других - как сбросовое, из-за чего всю

зону именовали то «сбросом Провиданс», то «надвигом Провиданс», в зависимости от того, в какой части зоны проводились наблюдения. Наши собственные наблюдения показали, что смещение крыльев по упомянутым сместителям происходило в горизонтальном направлении, т.е. они представляют собой сдвиги без сбросовой или взбросовой составляющей. Наши наблюдения в различных угольных бассейнах показали также, что сдвиги и сбросо-, взбросо-сдвиги в дислоцированных угленосных толщах распространены гораздо более, чем принято считать, и что представление о сдвигах как разрывах с обязательной вертикальной ориентировкой сместителей неверно; для сдвигов вполне обычны углы падения сместителей порядка $60-70^\circ$ и даже $40-50^\circ$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белицкий А.А. Классификация тектонических разрывов и геометрические методы их изучения. М.: Госгеолиздат, 1952, 68 с.
2. Гзовский М.В., Черткова Е.И. Моделирование волнистости простирания тектонических разрывов // Изв. АН СССР, сер. Геол., №6, 1963, с.
3. Очеретенко И.А., Трошенко В.В. Стереографические проекции в структурной геологии. Л. Недра, 1978, 132 с.
4. Трофимов А.А. О формах тектонических разрывов угленосных отложений Караганды // Изв. Вуз. Геол. и разведка, 1964, № 9, с. 32—39. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Трошенко В.В. – Южный научный центр РАН, berdnikov@mmbi.krinc.ru

