

УДК 550.311

## ДЕФОРМАЦИЯ ОДНООСНОГО УДЛИНЕНИЯ И АНОМАЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗЕМНОЙ КОРЕ ТАДЖИКСКОЙ ДЕПРЕССИИ

© 2010 г. В.И. Шевченко, И.П. Добровольский, А.А. Лукк

*Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, г. Москва, Россия*

Рассмотрено сейсмотектоническое деформирование (СТД) одноосного удлинения в верхней части земной коры на территории Гармского геодинамического полигона в Таджикистане, которое удалось проследить при интерпретации как совокупностей, так и одиночных фокальных механизмов землетрясений с неквадрантным распределением знаков первых вступлений упругих волн. Скорее всего, обстановка такого типа связана с активным увеличением объема пород, происходящим, по-видимому, в результате привноса дополнительного минерального материала. Подобное деформирование приурочено также к некоторым современным вулканам.

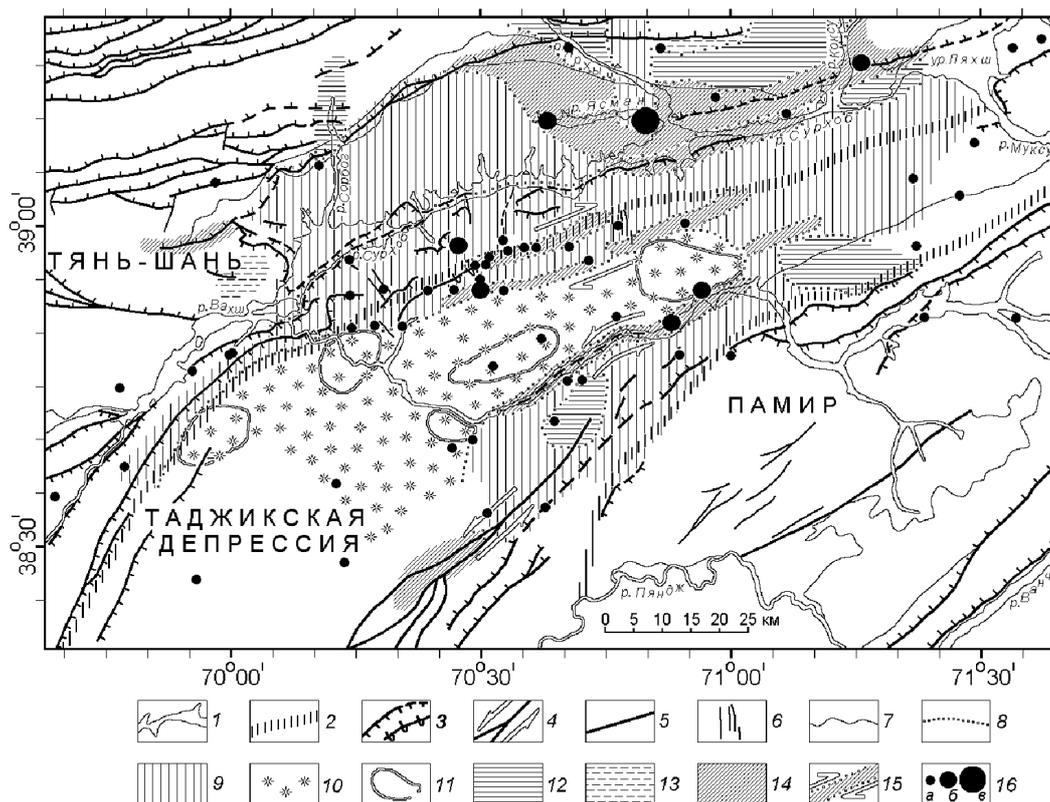
**Ключевые слова:** сейсмотектоническое деформирование, СТД, одноосное удлинение, распор, увеличение объема горной породы, аномальные фокальные механизмы.

### Деформации одноосного удлинения в приосевой части Таджикской депрессии

Таджикская депрессия и смежные части Тянь-Шаня и Памира находятся в обстановке субгоризонтального сжатия, ориентированного вкрест основного простирания тектонической структуры региона. Обычно это сжатие связывается со сближением Евразийской и Индийской плит. На территории Гармского полигона на небольших выборках-ячейках (размеры основания ячеек преимущественно  $\sim 3.5 \times 3$  км) по совокупностям фокальных механизмов землетрясений был детально изучен характер сейсмотектонического деформирования (СТД) верхней части (12 км) земной коры региона [Лукк, Леонова, Шевченко, 2005, 2008].

Установлено, что наиболее широко распространены два типа СТД – обстановка одноосного субгоризонтального сжатия и надвиговая (рис. 1), при которых главные оси сжатия тензора СТД устойчиво ориентированы вкрест простирания Таджикской депрессии в направлении ССЗ–ЮЮВ. Однако в приосевой части депрессии зафиксирована “мешанина” разных типов СТД – одноосного сжатия, надвигового, сдвигового, одноосного растяжения (удлинения). Для СТД этой части депрессии характерна общая неустойчивость ориентировок главных осей деформирования (за исключением одноосного удлинения). Эта картина уже сама по себе свидетельствует о том, что в приосевой части депрессии отсутствует (или, по крайней мере, не играет той первостепенной роли, которая ему приписывается) единое направленное субгоризонтальное сжатие, обычно связываемое со сближением смежных литосферных плит. Наблюдаемую картину СТД только сближением плит объяснить невозможно.

Особое внимание привлекает обстановка СТД субгоризонтального одноосного удлинения, зафиксированная в многочисленных выборках-ячейках в приосевой части депрессии, в области “мешанины”, где эти ячейки образуют нескольких полей, имеющих в плане приблизительно овальную форму (рис. 1) [Лукк, Леонова, Шевченко, 2008].

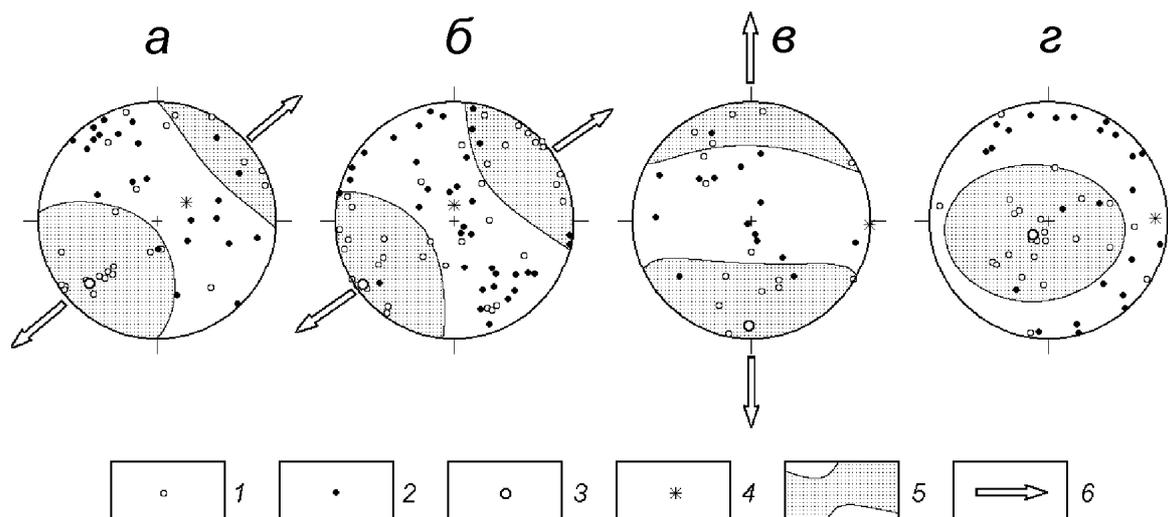


**Рис. 1.** Обстановки СТД в верхнем этаже земной коры Гармского полигона в Таджикистане (из [Лукк, Леонова, Шевченко, 2008])

1 – аллювиальные отложения основных речных долин; 2 – границы Таджикской депрессии; 3 – надвиги и Петровский ретронадвиг; 4 – Дарвазский сдвиг; 5 – крупные разрывные дислокации неясной природы; 6 – второстепенные разрывные дислокации; 7 – нормальные (стратиграфические) границы; 8 – контуры территорий с СТД разного типа; 9–13 – территории с разными преобладающими типами СТД: одноосного близгоризонтального укорочения и надвигового (9), “мешанина” СТД разных типов (10), одноосного близгоризонтального удлинения в пределах поля “мешанины” (11), одноосного близгоризонтального удлинения вне поля “мешанины” (12), сбросового (13), сдвигового (14); 15 – линейные зоны упорядоченных сдвиговых деформаций; 16 – эпицентры сильнейших из известных за последние приблизительно 100 лет землетрясений на территории полигона с магнитудами  $M = 4.7-5.4$  (а),  $5.5-6.7$  (б),  $7.5$  (в – Хатитское разрушительное землетрясение 1949 г.)

На крыльях депрессии такое СТД практически отсутствует. Здесь СТД одноосного удлинения характеризуется упорядоченностью ориентировки индивидуальных осей удлинения фокальных механизмов землетрясений ( $t$ ). Вследствие этого главная ось удлинения тензора СТД ( $T$ ) ориентирована в общем субгоризонтально и вдоль простирания депрессии (рис. 2, а, б). Встречаются единичные ячейки с иной ориентировкой оси одноосного удлинения (рис. 2, в, г). При этом индивидуальные оси сжатия фокальных механизмов ( $p$ ) характеризуются выраженной неустойчивостью своих ориентировок и более или менее равномерным их распределением по наклонам нормально к оси удлинения  $T$  в пределах соответствующих выборок.

На первый взгляд, объяснение СТД одноосного удлинения, изображенного на рис. 2, а, б, продольным растяжением материала земной коры, ориентированным субгоризонтально по простиранию Таджикской депрессии, представляется очевидным. Но оно не может быть принято по ряду причин.



**Рис. 2.** Примеры стереограмм СТД одноосного удлинения (в проекции на верхнюю полусферу) в земной коре в приосевой части Таджикской депрессии (из [Лукк, Леонова, Шевченко, 2008])

1 – точки выхода на верхнюю полусферу стереографической проекции индивидуальных осей удлинения  $t$  фокальных механизмов землетрясений; 2 – то же для индивидуальных осей сжатия  $p$ ; 3 – то же для главной оси удлинения  $T$  тензора СТД с устойчивой ориентацией в пространстве; 4 – то же для промежуточной оси  $B$ ; 5 – область удлинения на стереографической проекции тензора СТД; 6 – некоторые направления одноосного удлинения

Такое растяжение, проявляющееся в совокупностях землетрясений, характеризующихся приведенными стереограммами, должно было бы проявиться также и в образовании других тектонических дислокаций. Имеются в виду сбросы, грабены, раздвиги, отрывы с плоскостями, ориентированными вкрест оси растяжения, которые, как известно, свойственны обстановке субгоризонтального растяжения. Кроме того, рассматриваемое растяжение должно было бы привести к образованию трансензионных сдвигов, ориентированных диагонально к простиранию, и к землетрясениям с механизмами соответствующей ориентировки. Таких дислокаций, как и очагов землетрясений с соответствующими механизмами в рассматриваемой части Таджикской депрессии нет. Это приводит к выводу, что субгоризонтальное растяжение по простиранию Таджикской депрессии не имеет места.

Поэтому упоминавшиеся выше данные об обстановке субгоризонтального сжатия, ориентированного вкрест простирания депрессии, которое обычно связывается со сближением Евразийской и Индийской литосферных плит, казалось бы, делают более правдоподобным предположение не о растяжении вдоль простирания депрессии, а о сжатии последней сближающимися плитами вкрест ее простирания. Как следствие этого возникает предположение о выдавливании (нагнетании) материала по простиранию депрессии. По-видимому, в этом направлении выдавливаемый материал встречает меньшее сопротивление и, следовательно, по нему должно происходить удлинение материала (но не растяжение, не “растягивание”).

Однако реально наблюдаемое в ячейках с СТД одноосного удлинения рассеивание индивидуальных осей сжатия  $p$  фокальных механизмов, нормальных к оси субгоризонтального удлинения  $T$  (см. рис. 2, а–г), свидетельствует об отсутствии в этих ячейках направленного, упорядоченного субгоризонтального сжатия, которое должно было бы с неизбежностью возникнуть при сближении литосферных плит. Вид СТД здесь скорее приближается к гидростатическому (точнее, к литостатическому), для которого отсутствие направленного сжатия является определяющей характеристикой. Такое

напряженное состояние одноосного удлинения (но не растяжения!) может быть получено двумя разными способами.

Во-первых, оно может быть вызвано внешним всесторонним сдавливанием, симметричным относительно оси  $T$ . Модель такой ситуации – тубик с пастой, равномерно обжимаемый с боковых сторон, что приводит к истечению содержимого из его открытой горловины. Вероятно, СТД такого одноосного субгоризонтального удлинения можно было бы получить в рамках этой модели за счет действия литостатической нагрузки вышележащих пород, т.е. всесторонним относительно оси  $T$  сдавливанием материала, способного к оттоку (к удлинению) в направлении, близком к простиранию Таджикской депрессии. Радиусы, характеризующие поперечное сечение тюбика, при сдавливании одновременно укорачиваются. Но при этом останется непонятным, почему такая обстановка распространена в приосевой части депрессии, но полностью отсутствует на ее северном крыле, где под водораздельной частью хребта Петра Первого литостатическая нагрузка должна быть наибольшей. То же самое можно сказать о южном крыле депрессии в водораздельной части Дарвазского хребта, где обстановка одноосного субгоризонтального удлинения распространена незначительно. На обоих крыльях господствует (или преобладает) субгоризонтальное, ориентированное вкрест их простирания сжатие. Все это не позволяет принять предлагаемое объяснение.

Таким образом, известные нам внешние воздействия на деформируемые объемы горных пород – сближение смежных литосферных плит и литостатическая нагрузка – не могут объяснить появление СТД рассматриваемого типа в Таджикской депрессии, и нам в поисках объяснения приходится обратиться к внутренним источникам деформирования.

Проведенный ранее совместный анализ геологических, сейсмологических и геодезических материалов показал, что, по-видимому, помимо плейтктонических процессов существует самостоятельный автономный процесс тектогенеза. По нашему мнению, этот автономный процесс связан с активным увеличением объема, с объемным распором слоистых пород земной коры, происходящим, вероятно, за счет привноса дополнительного минерального вещества восходящими потоками глубинных флюидов [Гусева и др., 1993; Добровольский и др., 2006; Лукк и др., 2004, 2005, 2008; Прилепин и др., 2005; Шевченко, 1984, 1999, 2005а, 2005б; Шевченко и др., 2006, 2007]. Чешуйчатые надвиги, основной тип тектонических дислокаций подвижных поясов и сооружений (в том числе и Таджикской депрессии), характеризуются дивергентной, “осебежной” кинематикой. Геодезические измерения выявляют соответствующее современное реальное увеличение ширины средиземноморской части Альпийско-Индонезийского подвижного пояса и некоторых сооружений. Области растяжения, которые могли бы компенсировать это увеличение ширины, отсутствуют. В то же время, сейсмологические исследования свидетельствуют, что в той же части подвижного пояса преобладает напряженное состояние общего субгоризонтального сжатия, направленного вкрест его простирания. В целом, эти данные указывают на активное увеличение объема слоистых пород пояса.

Поэтому в качестве второго возможного объяснения рассматриваемого СТД одноосного удлинения в Таджикской депрессии приходится допустить активное увеличение объема горных пород, в результате чего возникает напряженное состояние, которое можно назвать состоянием объемного распора. Модель – тубик, в котором объем пасты увеличивается; в природе это происходит предположительно по причине, которая названа выше. Соппротивление материала среды, вмещающей этот тубик, препятствует расширению пасты вкрест главной оси удлинения  $T$  или затрудняет его. В тубике в направлениях вкрест этой оси возникает напряженное состояние распора, неотличимое от напряженного состояния сжатия. Напряжения распора, действующие вкрест оси  $T$ , вос-

принимаются наблюдателем как напряжения сжатия  $p$ , хотя их природа принципиально отлична от напряжений сжатия, возникающих при приложении внешней нагрузки сдвливания к некоторому объему горных пород (как это происходит, например, при коллизии литосферных плит и/или при литостатической нагрузке). Материал пород, как и в предыдущем случае, выдавливается в том направлении (по оси  $T$ ), в котором это возможно, поскольку, по-видимому, выдавливание встречает там меньшее сопротивление. При этом радиусы, которые характеризуют поперечное сечение тубика и вдоль которых ориентированы индивидуальные оси распора  $p$ , одновременно испытывают не укорочение, как в предыдущем случае, а некоторое (возможно, только потенциальное) удлинение.

Нам не известны другие объяснения сейсмотектонического деформирования рассматриваемого типа, которые учитывали бы перечисленные выше обстоятельства.

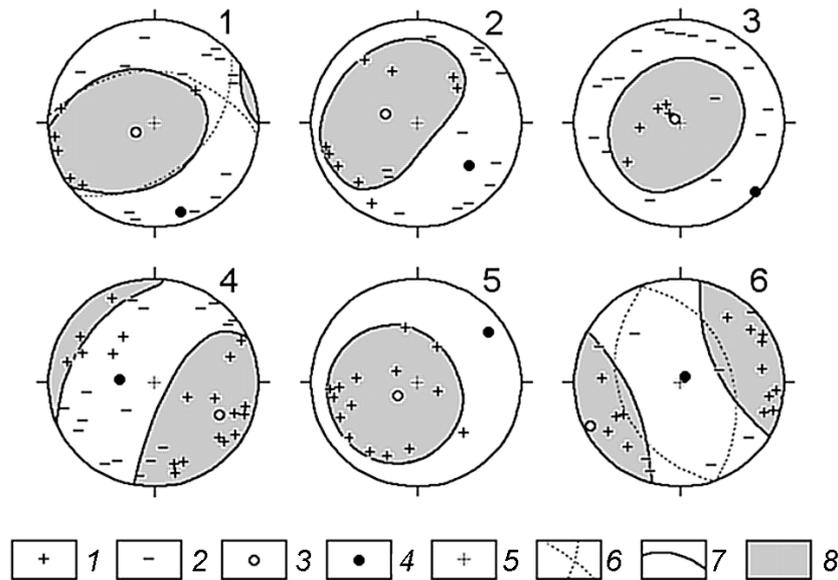
### Деформация одноосного удлинения в одиночных очагах землетрясений

Деформацию одноосного удлинения в Таджикской депрессии иногда удается проследить и при интерпретации не групп, как это было сделано выше, а одиночных фокальных механизмов землетрясений. В подавляющем большинстве случаев движение в очагах при землетрясениях осуществляется в виде скольжения по одной из двух возможных плоскостей разрыва (совокупности именно таких землетрясений рассматривались выше). Сам очаг в таком случае моделируется двойным диполем без момента, а движение в нем осуществляется сдвигом (сколом) по одной из двух альтернативных взаимно ортогональных (нодальных) плоскостей. При таком очаге знаки первых вступлений упругих волн растяжения положительны, а волн сжатия отрицательны. Их распределение на поверхности фокальной сферы, окружающей очаг землетрясения, является квадрантным, разделенным двумя взаимно ортогональными нодальными плоскостями. Оказалось, что в пределах Таджикской депрессии встречаются также землетрясения с механизмами очагов, для которых распределение знаков первых вступлений упругих колебаний на поверхности фокальной сферы заметно отличается от квадрантного, соответствующего проскальзыванию по одной из двух альтернативных плоскостей разрыва при "обычном" землетрясении [Лукк, Юнга, Леонова, 1976; Лукк, Юнга, 1980].

В первой из названных работ было показано, что для фокальных механизмов с неквадрантным распределением знаков первых вступлений на поверхности фокальной сферы уравнение нодальной поверхности может быть представлено в виде эллиптического конуса. Максимальный и минимальный углы раствора конуса могут быть выражены через коэффициент Лодэ–Надаи ( $\mu_M$ ), величина которого меняется от  $-1$  (одноосное удлинение) до  $+1$  (одноосное сжатие). Коэффициент Лодэ–Надаи приобретает особо важное значение при интерпретации рассматриваемых фокальных механизмов, поскольку дает более полное представление о деформационном процессе в очаге землетрясения. Число таких фокальных механизмов предположительно не превышает первых процентов от общего числа землетрясений с установленным механизмом очага [Лукк, Юнга, Леонова, 1976; Лукк, Юнга, 1980]. Вместе с тем, известны трудности наблюдения знаков первых вступлений в центральной части фокальной полусферы (в области крутых углов наклона сейсмического луча к горизонту), возникающие вследствие неоптимального расположения наблюдательной сети станций относительно мест сосредоточения большинства очагов землетрясений в малодоступной гористой центральной части Гармского района. В первую очередь, это касается землетрясений, очаги которых лежат на глубинах, много меньших, чем расстояние от них до станций наблюдений. Поэтому, возможно, что число механизмов очагов с неквадрантным рас-

пределением знаков вступлений упругих волн на поверхности фокальной сферы все же больше, чем единицы процентов.

Примеры механизмов подобного типа приведены в [Лукк, Юнга, Леонова, 1976; Лукк, Юнга, 1980]. Нами из этих работ заимствованы интересующие нас механизмы с заметной составляющей одноосного удлинения (рис. 3, таблица). Здесь уместно заметить, что при интерпретации механизмов с неквадрантным распределением знаков первых вступлений, представленной в [Лукк, Юнга, 1980], в основном, использовались сейсмические события 1975–1979 гг. В этот период в рамках советско-американского эксперимента в высокосейсмичной высокогорной части Гармского района работали временные сейсмические станции с телеметрической передачей информации.



**Рис. 3.** Примеры фокальных механизмов с неквадрантным распределением знаков, интерпретируемые как проявление сложной подвижки при деформации одноосного удлинения (из [Лукк, Юнга, 1980])

1 – первое вступление волны растяжения (удлинения); 2 – первое вступление волны сжатия (укорочения); 3 – главная ось растяжения (удлинения) фокального механизма; 4 – главная ось сжатия (укорочения) фокального механизма; 5 – центр проекции верхней фокальной полушеры; 6 – следы нодальных плоскостей при квадрантном распределении знаков; 7 – следы поверхностей эллиптического конуса при неквадрантном распределении знаков; 8 – область деформации удлинения

Параметры используемых землетрясений с неквадрантным распределением знаков первых вступлений на поверхности фокальной сферы

№	Дата	Время час:мин	Координаты гипоцентра			Маг- ниту- да <i>M</i>	Ось сжатия <i>P</i>		Ось растяже- ния <i>T</i>		$\mu_M$
			с. ш.	в. д.	<i>h</i> , км		<i>Azm</i>	$\alpha$	<i>Azm</i>	$\alpha$	
1	16.04.1966 г.	00:37	38°58'	70°48'	5	3	150	88	252	22	-0.13
2	16.04.1966 г.	15:50	38°57'	70°32'	5	4	139	70	296	30	-0.13
3	05.09.1974 г.	02:38	38°53'	70°35'	8	2	135	89	315	01	-0.50
4	22.09.1975 г.	14:40	38°57'	70°30'	6	2	265	26	113	66	-0.20
5	13.02.1976 г.	06:53	38°53'	70°29'	7	2	068	70	248	20	-1.00
6	02.09.1976 г.	05:23	38°57'	70°22'	6	2	066	01	246	89	-1.00

При интерпретации помимо знаков первых вступлений поперечных волн были использованы знаки первых вступлений волн поперечных – было выполнено преобразование последних в знаки первых вступлений продольных волн в ортогональном направлении от сейсмического луча “очаг–сейсмическая станция”. Это не просто увеличивало статистику знаков первых вступлений на поверхности фокальной сферы, но и как бы увеличивало число сейсмических станций. В ряде случаев такой прием отчасти позволил решить проблему неоптимального расположения сети наблюдательных долговременных стационарных станций относительно очагов землетрясений.

Существуют два возможных способа кинематической интерпретации землетрясений с аналогичными характеристиками. Первый основан на предположении о сложной форме разрыва, по которому происходит смещение в очаге землетрясения. Реальное смещение может происходить одновременно по двум или нескольким близко расположенным плоскостям с различной ориентацией или по какой-нибудь криволинейной поверхности (сложный сдвиг). Интерпретация неквадрантного распределения знаков первых вступлений такой сложной подвижкой в очаге более соответствует указанному распределению знаков первых вступлений на фокальной сфере, чем интерпретация простой подвижкой по плоской поверхности, что и продемонстрировано на рис. 3. Необходимо отметить, что существование таких разрывов в рассматриваемых случаях только предполагалось.

Второй способ базируется на том, что аналогичное распределение знаков первых вступлений на поверхности фокальной сферы можно получить с помощью модельного источника в виде суперпозиции центра расширения и обычного чистого сдвига [Лукк, Юнга, 1980].

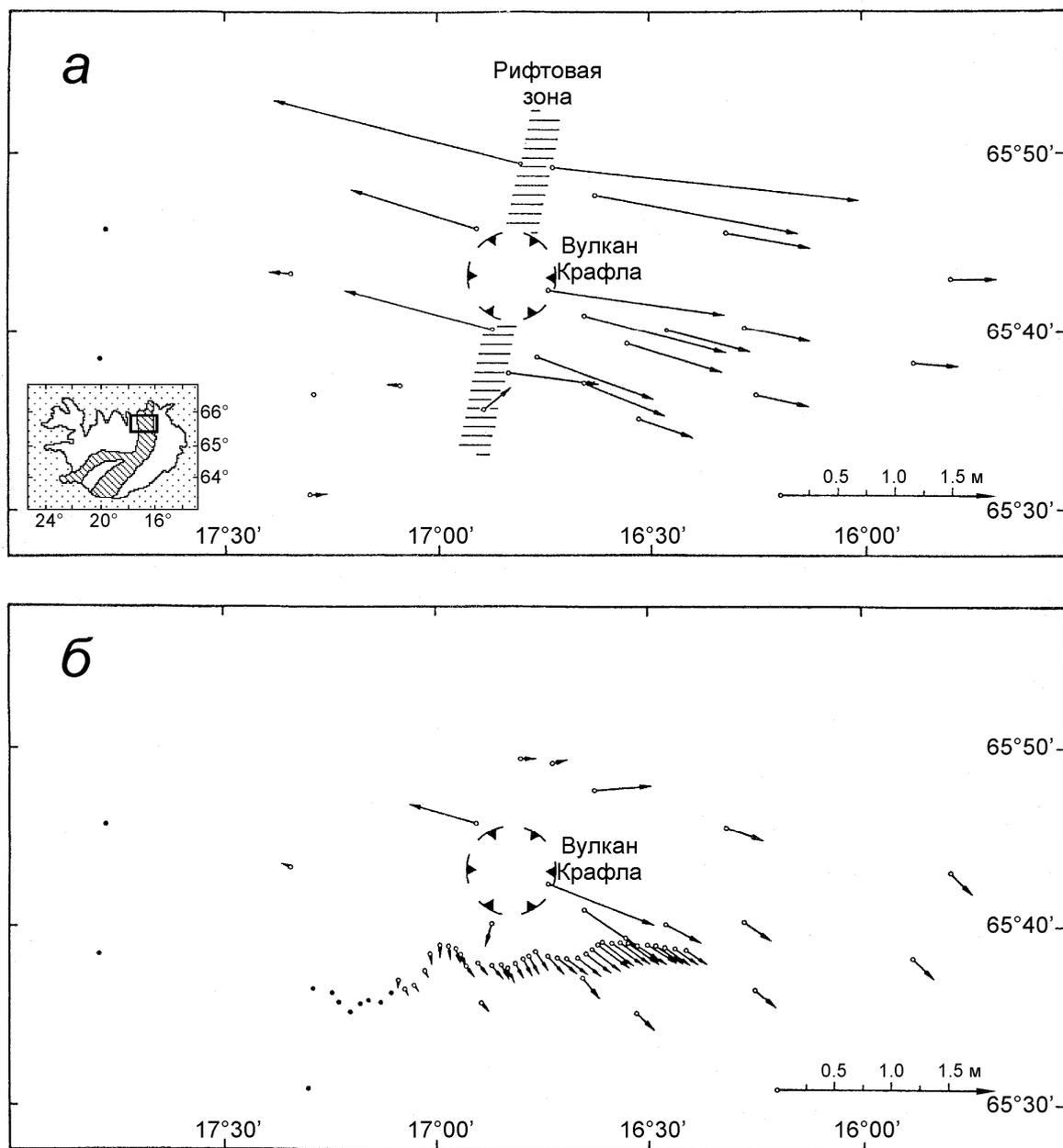
Привлечение механизма расширения к интерпретации шаровой части очага может быть физически обосновано явлением дилатансии (разуплотнения). Дилатансия, как известно, в принципе может возникать при взаимном перемещении блоков горной породы по разрыву, т.е. в такой модели есть место для увеличения объема, которое мы привлекаем при объяснении возникновения в приосевой части Таджикской депрессии областей деформации одноосного удлинения.

В перечисленных выше публикациях предпочтительным считался первый способ кинематической интерпретации землетрясений.

### **“Аномальные” механизмы землетрясений в некоторых вулканических областях**

Природной моделью, в которой реализуется механизм, почти идентичный рассмотренному выше механизму объемного распора (тюбик), является вулкан центрального типа, в подводящий субвертикальный канал которого под давлением нагнетается магматический расплав. Расплав оказывает на стенки канала распирающее давление, ориентированное субгоризонтально по направлению от его оси. Расплав перемещается по каналу вверх, к дневной поверхности, и единственным препятствием при этом перемещении является его собственный вес. Таким образом, в вулкане реализуется модель тюбика с открытой горловиной, в котором увеличивается объем пасты.

Подобный процесс может быть прослежен на территории Исландии, где располагаются несколько активных вулканов центрального типа, приуроченных к осевому рифту сейсмоактивного Срединно-Атлантического хребта. Скопления эпицентров землетрясений территориально совпадают с вулканами, в то время как дислокации, связанные с рифтингом, в этом районе асейсмичны [Einarsson, 1991]. Записи землетрясений были успешно использованы для отслеживания перемещений, притока и оттока магмы в вулканических аппаратах. Представляется очевидным, что распирающее давление расплава на стенки подводящего канала приводит (может привести) к некоторому



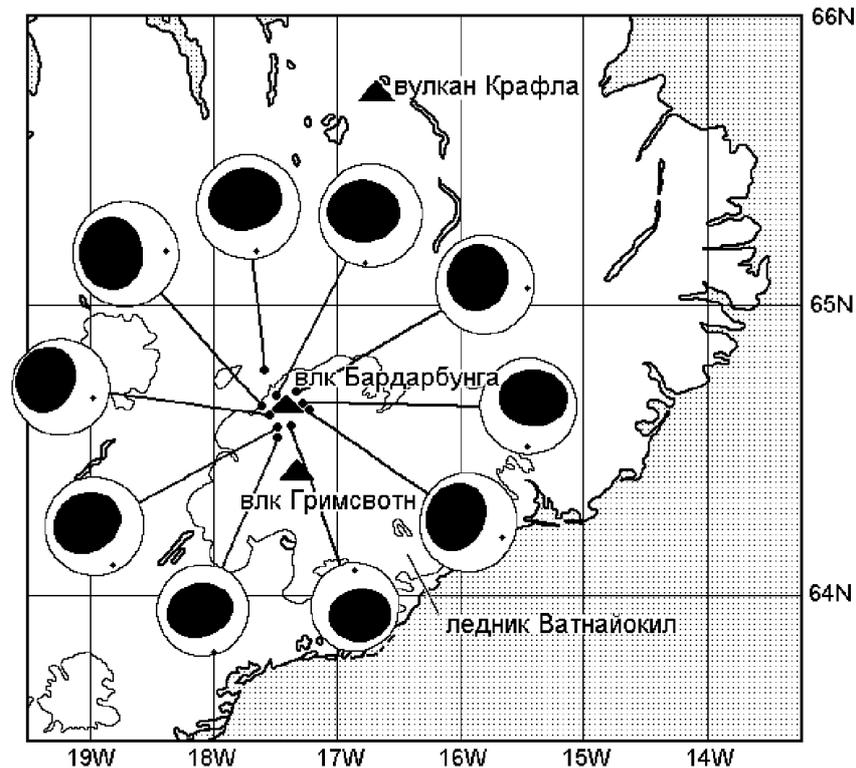
**Рис. 4.** Результаты геодезических измерений в северной части Исландии (на врезке – расположение района работ) (из [Wendt et al., 1985])

*а* – смещения геодезических пунктов за 1977–1980 гг. Залитые кружки – опорные пункты, принимаемые за неподвижные; кружки без заливки – прочие пункты (подвижные). Ориентация векторов смещений основана на предположении, что два крайних восточных пункта смещаются только к востоку. *б* – смещения за 1980–1982 гг. Пункты, показанные залитыми кружками, не изменили заметно своего положения. По отношению к ним показаны смещения прочих пунктов (кружки без заливки)

увеличению его диаметра, т.е. к радиальному (направленному от оси) деформированию прилегающих частей земной коры.

Для Исландии в целом характерно раздвиговое смещение ее западной и восточной частей, происходящее в широтном направлении вследствие раскрытия осевого рифта Срединно-Атлантического хребта (рис. 4, *а*). Но для геодезических пунктов, расположенных рядом с вулканом Крафла, в отдельные периоды времени были зафиксированы радиальные смещения, направленные в разные стороны от оси вулкана (рис. 4, *б*).

На небольшом расстоянии от вулкана Крафла расположен однотипный вулкан Бардарбунга, к которому приурочены многочисленные очаги землетрясений. Эти очаги имеют “аномальные” механизмы с неквадрантным распределением знаков первых вступлений на поверхности фокальной сферы [Ekstrom, 1994; Nettles, Ekstrom, 1998] (рис. 5). В отличие от устойчивой ориентации главной оси растяжения, ориентация главных осей сжатия заметно варьирует от одного события к другому. Соответствующий тип деформации по совокупности этих механизмов оказывается близким к прослеженному в Таджикской депрессии (см. рис. 2, 3).



**Рис. 5.** СМТ решения для 10 землетрясений (Гарвардский каталог), очаги которых располагаются около вулкана Бардарбунга в Исландии (из [Nettles, Ekstrom, 1998]). Механизмы очагов землетрясений характеризуются вертикальными осями  $T$  (зачерненные поля стереограмм) и горизонтальными осями сжатия (точки на белых полях стереограмм)

Приведенные данные мы рассматриваем в качестве прямого подтверждения предложенной нами интерпретации деформирования одноосного удлинения как результата активного увеличения объема пород земной коры и обусловленного этим увеличением механизма объемного распора. Отметим, что в вулкане магматический расплав поступает в локализованный подводящий канал, а в Таджикской депрессии дополнительный минеральный материал привносится, по-видимому, в растворенном виде восходящими флюидами, поступающими в слоистые породы большей части депрессии в виде рассеянного потока. Кроме того, подводящий канал вулкана субвертикален, а в приосевой части Таджикской депрессии удлинение происходит, в основном, в субгоризонтальном направлении.

Необходимо отметить также, что авторы статей [Ekstrom, 1994; Nettles, Ekstrom, 1998] предпочитают объяснять “аномальный” механизм очагов обсуждаемых землетрясений смещениями блоков земной коры по плоскости приуроченного к вулкану разрыва, который имеет сложную кольцевую форму.

К несколько иному выводу приходят исследователи, которые изучали подобные “аномальные” землетрясения, связанные с островом Тори Шима, расположенным недалеко от Японии в тыльной части Идзу-Бонинской островной дуги [Ekstrom, 1994; Kanamori et al., 1993]. Известно, что для многих близлежащих островов типичны подводные вулканические извержения. В качестве возможного объяснения наблюдаемого неквадратного распределения знаков вступлений (или волновых форм) на поверхности фокальной сферы при субвертикальной ориентации устойчивой главной оси растяжения предлагается суперпозиция обычной сдвиговой подвижки и инъекции смеси магмы и перегретой воды. Само землетрясение предположительно объясняется резким латеральным растеканием магмоводяной смеси, внедрившейся в толщу слоистых пород. В этом случае в качестве аргумента в пользу реального существования объемной составляющей в очаге “аномального” землетрясения авторы названных публикаций приводят данные по волнам Лява и Релея. Первые почти полностью отсутствуют на сейсмических записях, что указывает на отсутствие смещений по сколовым поверхностям; вторые распространяются радиально во всех направлениях и имеют примерно одинаковые амплитуды и фазы в различных азимутах. Подобные характеристики поверхностных волн невозможны для очага с квадратным распределением знаков вступлений на поверхности фокальной сферы.

### Заключение

Тектоническая структура Таджикской депрессии не является исключительной для земного шара. Аналогичные по многим параметрам образования разного масштаба хорошо известны в целом ряде регионов [Шевченко, Добровольский, Лукк, 2009]. Следовательно, изложенное в статье дает основания полагать, что активное увеличение объема горных пород широко распространено и играет существенную роль в тектогенезе подвижных поясов и сооружений. Так же широко распространены землетрясения, в той или иной степени связанные с объемными эффектами, что отмечалось (или предполагалось) некоторыми исследователями [Evison, 1967].

Судя по имеющимся материалам, автономные процессы тектогенеза, связанные с активным увеличением объема горных пород, действуют одновременно и параллельно с механизмами плейттектонической концепции [Прилепин, Шевченко, 2005; Шевченко, Лукк, Прилепин, 2006, 2007].

### Литература

- Гусева Т.В., Лукк А.А., Трапезников Ю.А., Шевченко В.И. Геодинамика территории Гармского полигона (Таджикистан) по результатам светодальномерных наблюдений // Геотектоника. 1993. № 3. С.47–54.
- Добровольский И.П., Шевченко В.И. К вопросу о природе напряжений и деформаций субгоризонтального сжатия в подвижном поясе // Физика Земли. 2006. № 2. С.46–49.
- Лукк А.А., Шевченко В.И. Роль локальных процессов тектогенеза в деформировании слоистых пород Таджикской депрессии // Физика Земли. 2004. № 11. С.5–25.
- Лукк А.А., Юнга С.Л. Детальное исследование сейсмоструктурной деформации хребта Петра Первого // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1980. № 4. С.39–50.
- Лукк А.А., Леонова В.Г., Шевченко В.И. Сейсмоструктурная характеристика Дарвазской зоны разломов на Памире // Физика Земли. 2005. № 9. С.21–35.
- Лукк А.А., Леонова В.Г., Шевченко В.И. Сейсмоструктурная характеристика северного крыла и осевой части Таджикской депрессии (Гармский геодинамический полигон) // Физика Земли. 2008. № 12. С.24–64.

- Лукк А.А., Юнга С.Л., Леонова В.Г. Общий вид нодальной поверхности при коровых землетрясениях // Сб. Советско-американских работ по прогнозу землетрясений / Под ред. акад. М.А. Садовского. Т.1, № 2. Душанбе; Москва: Дониш, 1976. С.60–72.
- Прилепин М.Т., Шевченко В.И. Геодинамика Средиземноморья по данным GPS // Геотектоника. 2005. № 6. С.19–31.
- Шевченко В.И. Происхождение структур горизонтального сжатия в складчатом сооружении (на примере Большого Кавказа). М.: Наука, 1984. 160 с.
- Шевченко В.И. О возможной роли некоторых процессов литогенеза в формировании тектонических дислокаций субгоризонтального сжатия // Бюл. МОИП, отд. геол. 1999. Вып. 3. С.14–25.
- Шевченко В.И. Альпийско-Гималайский подвижный пояс: плейттектоническая и геосинклинальная концепции // Тектоника коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых: Материалы XXXVIII Тектонического совещания. Т. 2. М.: ГЕОС, 2005а. С.358–361.
- Шевченко В.И. Средиземноморье – Кавказ: плейттектоническая и геосинклинальная концепции // Бюл. МОИП, отд. геол. 2005б. Вып. 4. С.21–29.
- Шевченко В.И., Добровольский И.П., Лукк А.А. Деформация одноосного удлинения в литосфере и ее геодинамическая интерпретация. // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. М.: ИФЗ РАН, 2009.Т.1. С. 421–432.
- Шевченко В.И., Лукк А.А., Прилепин М.Т. Суматранское землетрясение 26.12.2004 г. – проявление неплейттектонического процесса в литосфере // Физика Земли. 2006. № 12. С.55–76.
- Шевченко В.И., Лукк А.А., Прилепин М.Т. Автономная и плейттектоническая геодинамика Альпийско-Гималайского подвижного пояса // Фундаментальные проблемы геотектоники. М-лы XI Тектонического совещания. Т. 2. М.: ГЕОС, 2007. С.359–362.
- Einarsson P. Earthquakes and present-day tectonism in Iceland // Tectonophysics. 1991. V. 189, N 1/4. P.261–279.
- Ekstrom G. Anomalous earthquakes on volcano ring-fault structures // Earth Planet. Sci. Lett. 1994. V. 128, N 3-4. P.707–712.
- Evison F.F. On the occurrence of volume change at the earthquake source // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1967. V. 57, N 1. P.9–25.
- Kanamori H., Ekstrom G., Dziewonski A., Barker J.S., Sipkin S.A. Seismic radiation by magma injection: an anomalous seismic event near Tori Shima, Japan // J. Geophys. Res. 1993. V. 98, N B4. P.6511–6522.
- Nettles M., Ekstrom G. 1998. Faulting mechanism of anomalous earthquakes near Bardarbunga Volcano, Iceland // J. Geophys. Res. V. 103, N B8. P.17973–17983.
- Wendt K., Moller D., Ritter B. 1985. Geodetic measurements of surface deformations during the present rifting episode in NE Iceland // J. Geophys. Res. V. 90, N B12. P.10163–10172.

#### *Сведения об авторах*

**ШЕВЧЕНКО Владимир Иванович** – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10. Тел.: 254-90-35. E-mail: shevch@ifz.ru

**ДОБРОВОЛЬСКИЙ Игорь Петрович** – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10. Тел.: 254-53-16.

**ЛУКК Альберт Артурович** – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10. Тел.: 254-90-35. E-mail: lukk@ifz.ru

# SEISMOTECTONIC DEFORMATION OF THE UNIAXIAL ELONGATION AND ANOMALOUS MECHANISMS OF EARTHQUAKES IN THE EARTH'S CRUST OF TAJIK DEPRESSION

V.I. Shevchenko, I.P. Dobrovolsky, A.A. Lukk

*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**Abstract.** Seismotectonic deformation of the uniaxial elongation in the upper part of the Earth's crust in the Garm geodynamic test area (Tajikistan) is considered. Such deformation is revealed here during interpretation both of clusters and of single focal mechanisms of earthquakes with nonquadrantal (non-double-couple) distribution of the first accession of the elastic waves. This situation is likely connected with active increase of rock volume presumably as a result of the inflow of additional mineral material. This type of deformation occurs also in some modern volcanic areas.

**Keywords:** seismotectonic deformation, uniaxial elongation, out-ward pressure, increase of volume of rocks, anomalous focal mechanisms.