

## ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ ПО АФТЕРШОКОВЫМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯМ НА ТЯНЬ-ШАНЕ

### *Ольга Анатольевна Кучай*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-87-05, e-mail: KuchayOA@ipgg.sbras.ru

### *Мария Евгеньевна Козина*

Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, магистрант 1 курса, тел. (383)330-87-05, e-mail: kozinamaria@gmail.com

### *Зоя Арслановна Кальметьева*

Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, 720027, Киргизия, г. Бишкек, ул. Т. Фрунзе, 73/2, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, тел. (996)312-555-111, e-mail: caiag@caiag.kg

Восстановлены поля напряжений афтершоковых последовательностей трех сильных землетрясений Тянь-Шаня по данным механизмов очагов повторных событий. Ориентация осей максимального девиаторного сжатия и растяжения по афтершоковым последовательностям более высокого уровня энергий наследует ориентацию осей механизмов очагов главных событий. По афтершоковым процессам низкого магнитудного уровня отмечается меньшая упорядоченность в ориентации осей главных напряжений.

**Ключевые слова:** землетрясение, афтершок, напряжение, деформации, Тянь-Шань.

## STRESS FIELD AFTERSHOCK SEQUENCE OF THE TIEN SHAN

### *Olga A. Kuchai*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyg Prospect, Ph. D., Senior Researcher, tel. (383)330-87-05, e-mail: KuchayOA@ipgg.sbras.ru

### *Maria E. Kozina*

Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, 2 Pirogov St., 1 undergraduate course, tel. (383)330-87-05, e-mail: kozinamaria@gmail.com

### *Zoya A. Kalmetieva*

Central Asian Institute for Applied Geosciences, 720027, Kyrgyzstan, Bishkek, 73/2 T. Frunze St., Ph. D., Senior Researcher, tel. (996)312-555-111, e-mail: caiag@caiag.kg

Restored the stress field of aftershock sequences of three strong earthquakes Tien Shan according to focal mechanisms of repeated events. The orientation of the maximum deviatoric compression and tension on the aftershock sequences of a higher energy level inherits the orientation of the axes of focal mechanisms of the main events. By aftershocks of the magnitude of low level have lower order in the orientation of the main stress axes.

**Key words:** earthquake, aftershock, stress, deformations, Tianshan.

Памиро-Тянь-Шаньский регион – высокоактивная сейсмическая область внутриконтинентальных орогенов. Появление в последние годы дополнительных материалов по данным механизмов очагов землетрясений позволило восстановить поле напряжений как всего района в целом, так и эпицентральных областей сильных землетрясений [1, 2], используя метод Ю.Л. Ребецкого [3]. В настоящей работе анализируются особенности реконструкции ориентации главных осей напряжений, тип напряженного состояния (взаимосвязь между направлением вектора на зенит и ориентацией главных осей напряжений) и коэффициент Лодэ-Надаи ( $\mu_\sigma$ ). На начальном этапе каталог параметров механизмов очагов для Тянь-Шаня создавался под руководством С.Л. Юнги, далее дополнялся данными из сборников «Землетрясения в СССР» и «Землетрясения Евразии».

Реконструируемое нами поле напряжений Тянь-Шаня по сильным ( $4.6 < M < 7.4$ ) землетрясениям показывает, что ориентация осей максимальных девиаторных напряжений сжатия – близгоризонтальная и субмеридиональная. Положение осей максимальных девиаторных напряжений растяжения меняется от субширотного до СВ направления.

Для восстановления напряженного состояния земной коры по повторным событиям трех сильнейших землетрясений использовались механизмы 62 афтершоков Жаланаш-Тюпского 25 марта 1978г. ( $M_s=7.1$ ,  $\varphi=42.87^\circ$ ,  $\lambda=78.58^\circ$ , март 1978 г.–сентябрь 1978 г.), 132 Суусамырского 19 августа 1992 г. ( $M_s=7.4$ ,  $\varphi=42.07^\circ$ ,  $\lambda=73.63^\circ$ , август 1992 г.–декабрь 1997 г.) и 117 Нуринского землетрясений 5 октября 2008 г. ( $M_s=6.9$ ,  $\varphi=39.37^\circ$ ,  $\lambda=73.40^\circ$ , октябрь 2008 г.–июнь 2009 г.). Процент определенных механизмов афтершоков Жаланаш-Тюпского события с  $M = 4.4$  к общему количеству повторных толчков с этими же магнитудами, составляет 100 % и с  $M = 1.7 - 4.0 - 46$  %, Суусамырского с  $M=4.4-6.7 - 89$  %, с  $M=3.3 - 4.3 - 45$  %, с  $M=1.7-2.8 - 12$  %.

Прежде чем рассматривать напряженное состояние очаговой области по счет повторных толчков, проанализируем сейсмотектонические деформации (СТД) по методу Ю.В. Ризниченко [4], рассчитанные до возникновения вышеперечисленных сильных событий. Для этого исследуем область начала вспарывания очагов сильных событий в поле диагональных (широтных, меридиональных и вертикальных) компонент тензора СТД. Деформации, накопленные не менее чем за 40 лет до Нуринского землетрясения, показывают, что процесс разрывообразования начался в очаге в пределах условной границы, разделяющей положительные и отрицательные значения широтной, меридиональной и вертикальной компонент СТД. Во временной период, длящийся 14 лет до Жаланаш-Тюпского землетрясения, поля компонент СТД ( $E_{xx}$ ,  $E_{yy}$ ,  $E_{zz}$ ) достаточно однородные в области подготовки этого сильного события. Суусамырское землетрясение произошло в районе очень слабой сейсмичности.

Механизм очага Жаланаш-Тюпского землетрясения – сдвиго-надвиговый [5]. Нодальная плоскость западно-северо-западного простириания соответствует вытянутости изосейст бальности и распределению афтершоков вдоль этой плос-

кости. Направление подвижки по ней осуществляется в северо-северо-западном направлении. Субмеридиональная ось сжатия – близгоризонтальна, ось растяжения – близвертикальна. Реконструкция ориентации осей максимальных девиаторных напряжений по повторным толчкам с  $M > 3$  позволяет говорить о согласованности в азимутальной ориентации оси сжатия главного события и осей максимальных девиаторных напряжений повторных толчков. Значения коэффициента Лоде-Надаи  $\mu_\sigma$  изменяется от -0.6 до +0.8. Тип напряженного состояния соответствует сжатию со сдвигом (рис. 1). По более слабым афтершокам ( $M < 3$ ) к востоку от эпицентра ориентация осей сохраняется, в западной части афтершоковой области оси сжатия приобретают ССВ направление с погружением к северу, оси растяжения становятся близвертикальными. Значения коэффициента  $\mu_\sigma$  к западу от эпицентра – отрицательные, к востоку – положительные. Тип напряженного состояния – преимущественно сжатие (рис. 1).

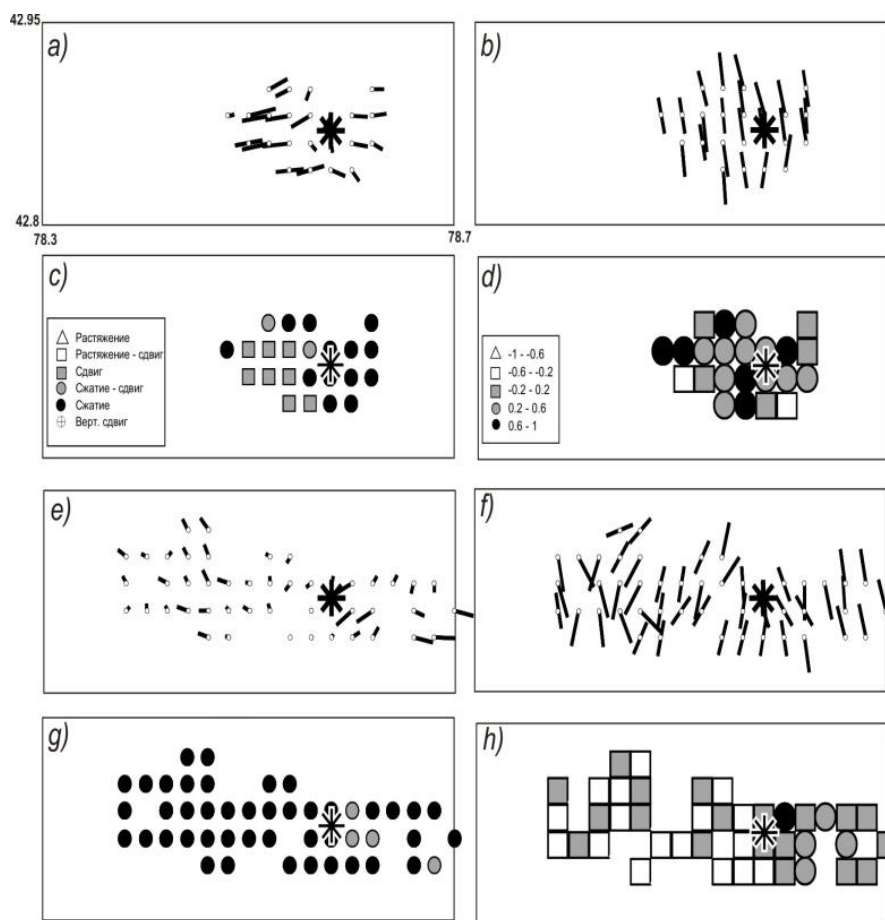


Рис. 1. Проекция на горизонтальную плоскость осей максимального девиаторного напряжения, восстановленные по данным механизмов афтершоков Жаланаш-Тюбского землетрясения ( $M \geq 3.0$  – a, b, c, d) и ( $M < 3.0$  – e, f, g, h), a, e – положение осей максимальных девиаторных напряжений растяжения, b, f – положение осей максимальных девиаторных напряжений сжатия. Направление погружения осей – из точки. Эти же точки являются центрами однородно деформирующихся доменов. Типы напряженного состояния – c, g, коэффициент Лоде-Надаи – h

Механизм очага Суусамырского землетрясения – надвиговый с небольшой сдвиговой составляющей. Смещение в очаге произошло в северо-северо-западном направлении. Обе возможные нодальные плоскости простираются субширотно, что подтверждается простираем двух участков разрыва, вышедших на поверхность [6]. Положение оси сжатия – субмеридиональное и близгоризонтальное, оси растяжения – близвертикальное. Поле напряжений реконструировалось для повторных толчков слабых ( $M=1.7-2.9$ ), умеренных ( $M=3.0-6,6$ ) и сильных событий. Оси максимальных девиаторных напряжений по механизмам афтершоков с  $M>3.0$  и  $M>4.5$  свидетельствуют о ССЗ сжатия и соответствуют азимуту оси Р механизма главного землетрясения. Ориентация осей максимальных девиаторных напряжений растяжения – субширотное с погружением к западу, на востоке от эпицентра главного толчка – к юго-западу. Преимущественные направления напряжений растяжения характеризуют региональное поле и согласуются с тектонической обстановкой в регионе. Коэффициент  $\mu_\sigma$  имеет пределы от  $-0.2$  до  $+0.4$ . Тип напряженного состояния близок к горизонтальному сжатию, но в отдельных участках земной коры наблюдается горизонтальное растяжение. По слабым афтершокам ориентация осей сжатия сохраняет направление, но на некоторых участках становится субширотной. Положение осей растяжения меняется от субширотного до СЗ направления (рис. 2).

Механизм очага Нуринского события – надвиговый, обе возможные плоскости разрыва близки к широтному простираению структур, близгоризонтальная ось сжатия имеет субмеридиональное положение, ось растяжения – близвертикальна. Оси сжатия сохраняют ориентацию и направление падения, проявленные в очаге главного события за счет слабых и умеренных повторных толчков. Восстановленные оси растяжения по сильным афтершокам сохраняют субширотную ориентацию, по слабым наблюдается близширотное, СЗ и СВ простираем. Коэффициент  $\mu_\sigma$  принимает значения от  $-0.4$  до  $+0.8$ . Тип напряженного состояния вблизи территории, оконтуривающей начало вспарывания в очаге, соответствует горизонтальному сжатию со сдвигом, для остальной области характерны вертикальный сдвиг и сжатие.

Таким образом, процесс начала разрывообразования в каждом из трех сильных землетрясений происходил в разных сеймотектонических условиях. В то же время в каждом из этих очагов наряду с надвиговой имеется и небольшая право-сдвиговая составляющая, т. е. направление распространения разрыва осуществляется к северо-северо-западу. В условиях меридионального сжатия Тянь-Шаня поля напряжений афтершоковых последовательностей по сильным повторным толчкам наследуют ориентацию осей механизмов очагов главных событий. Полученная ориентация осей максимального девиаторного сжатия и растяжения по очагам слабых афтершоков демонстрирует меньшую упорядоченность по мере уменьшения магнитуд сейсмических событий.

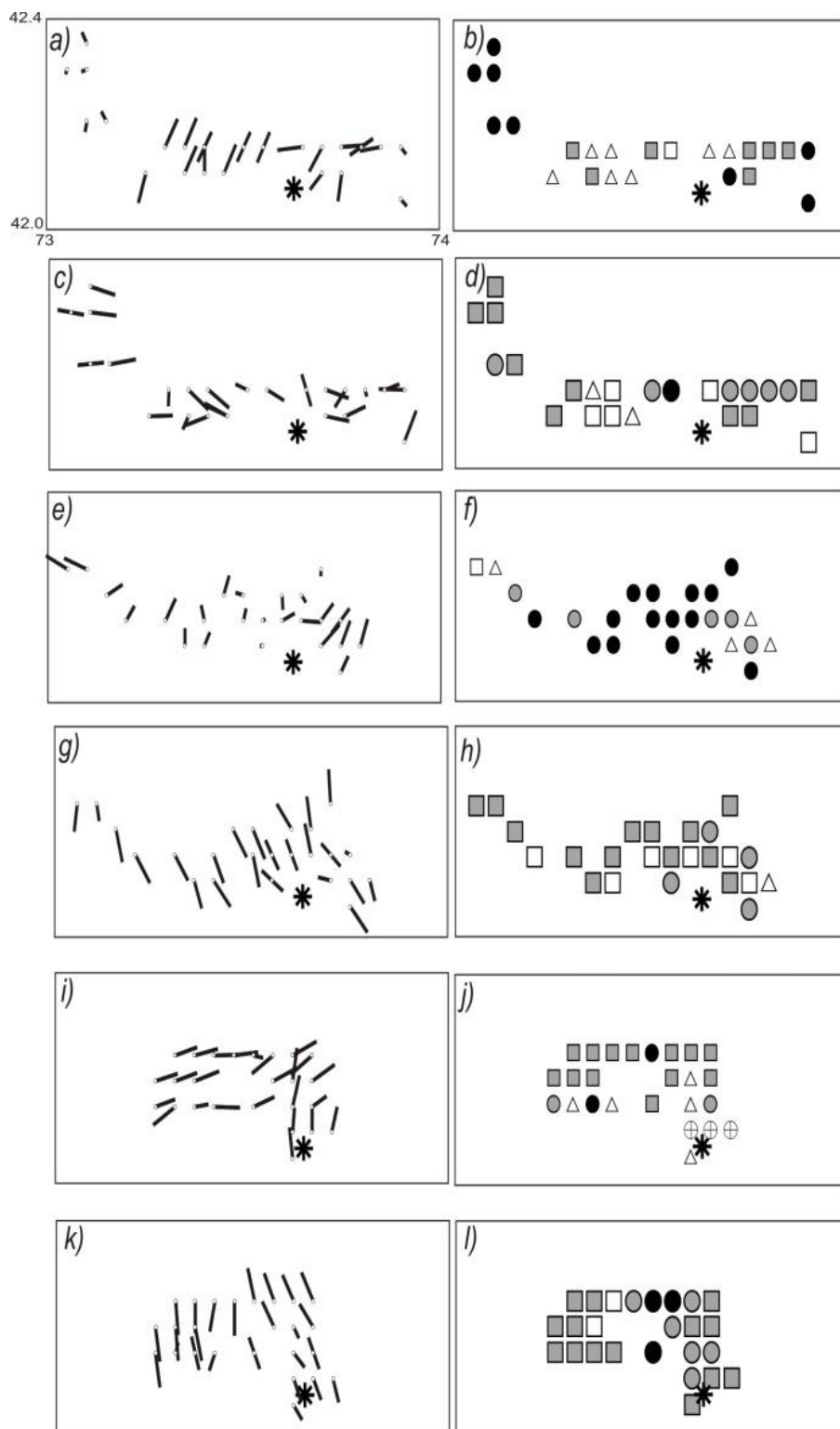


Рис. 2. Проекция на горизонтальную плоскость осей максимального девиаторного напряжения, восстановленные по данным механизмов афтершоков Суусамырского землетрясения ( $3.0 > M \geq 1.7$  – a,b,c,d), ( $4.5 > M \geq 3.0$  – e,f,g,h), ( $6.6 > M \geq 4.5$  – i,j,k,l), a, e, i – положение осей максимальных девиаторных напряжений растяжения, c, g, k, – положение осей максимальных девиаторных напряжений сжатия. Типы напряженного состояния – b, f, j и коэффициент Лоде-Надаи – d, h, l. Обозначения те же, что на рис. 1

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кучай О.А. Особенности поля напряжений афтершоковых процессов землетрясений Алтае-Саянской горной области // Геодинамика и тектонофизика. - 2012. - Т. 3, № 1. - С. 59–68. - URL: <http://www.crust.irk.ru/gt/index>
2. Лескова Е.В., Еманов А.А. Иерархические свойства поля тектонических напряжений в очаговой области Чуйского землетрясения 2003 года // Геология и геофизика. - 2013. - Т. 54, №1.
3. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных массивов. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. - 406 с.
4. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. - М.: Наука, 1985. - 408 с.
5. Жаланаш-Тюпское землетрясение 25 марта 1978 года. - Алма-Ата: Наука, 1981. - 136 с.
6. Богачкин Б.М., Плетнев К.Г., Рогожин Е.А. Суусамырское землетрясение 1992 г. // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии: материалы геологического и сейсмологического изучения в ближней зоне. Вып.1. - М.: ИФЗ РАН, 1993. - С. 143–147.

© О. А. Кучай, М. Е. Козина, З. А. Кальметьева, 2015