

УДК 550.348 (235.211)

О. А. КУЧАЙ

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ АФТЕРШОКОВОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ОЧАГОВОЙ ОБЛАСТИ МАРКАНСУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Исследовано изменение компонент тензора деформаций по мере развития афтершокового процесса на примере повторных толчков (с $K \geq 12$) Маркансуйского землетрясения 1974 г. На разных этапах развития этого процесса показаны положения линий максимального укорочения и максимального удлинения объемов горных масс и величины коэффициента Лодэ — Надаи. Дана оценка вязкости горных пород в очаговой области.

Проведенные в последние годы массовые определения механизмов очагов землетрясений позволили поставить задачу исследования особенностей афтершокового деформирования очаговой области главного события. В частности был рассмотрен пример Маркансуйского землетрясения [1]. Дальнейшее развитие этого направления исследований позволило подойти к пониманию более тонких пространственно-временных особенностей афтершокового деформирования очаговой области этого же землетрясения.

1. Строение района и характеристика использованных данных. Маркансуйское землетрясение, одно из сильнейших землетрясений Средней Азии, произошло на территории Северного Памира вблизи Дарваз-Каракульского разлома 11.VIII 1974 г. ($\varphi=39,3^\circ$, $\lambda=73,3^\circ$; $M=7,3$) и породило мощную серию афтершоков. Афтершоковая область¹ этого землетрясения имела овальную форму и пересекала три различные структурные области: Южный Тянь-Шань, Северный Памир и расположенную между ними Таджикскую депрессию. Южный Тянь-Шань и Северный Памир сложены преимущественно палеозой-докембрийскими породами, которые в Таджикской депрессии перекрыты мощной (от 1 до 10 км) толщей мезозой-кайнозойских отложений. Южный Тянь-Шань отделяется от Таджикской депрессии Гиссаро-Кокпаальским широтным разломом, а северный Памир от Таджикской депрессии — Дарваз-Каракульским глубинным разломом также широтного простирания [2] (рис. 1).

Как показали исследования последних лет, тектонические подвижки по сместителю части Дарваз-Каракульского разлома, пересекающей афтершоковую область Маркансуйского землетрясения, в плейстоцене не происходили. Линия позднечетвертичной и современной активизации протягивается параллельно главному сместителю разлома примерно в 10 км севернее [3].

Механизм очага Маркансуйского землетрясения типично сдвиговый. Близгоризонтальная ось сжатия — субмеридиональная и расположена вкрест структур, близгоризонтальная ось растяжения — субширотная и ориентирована по простиранию структурных форм, промежуточная ось — близвертикальная. Одна из возможных плоскостей разрыва с крутым падением имеет северо-восточное простирание, другая, также крутопадающая, — северо-западное.

¹ Координаты Маркансуйского землетрясения и его афтершоков даны по определению ТИССС АН ТаджССР (отчет А. П. Каток «Сейсмичность и каталог землетрясений Таджикистана за 1974 г.»).

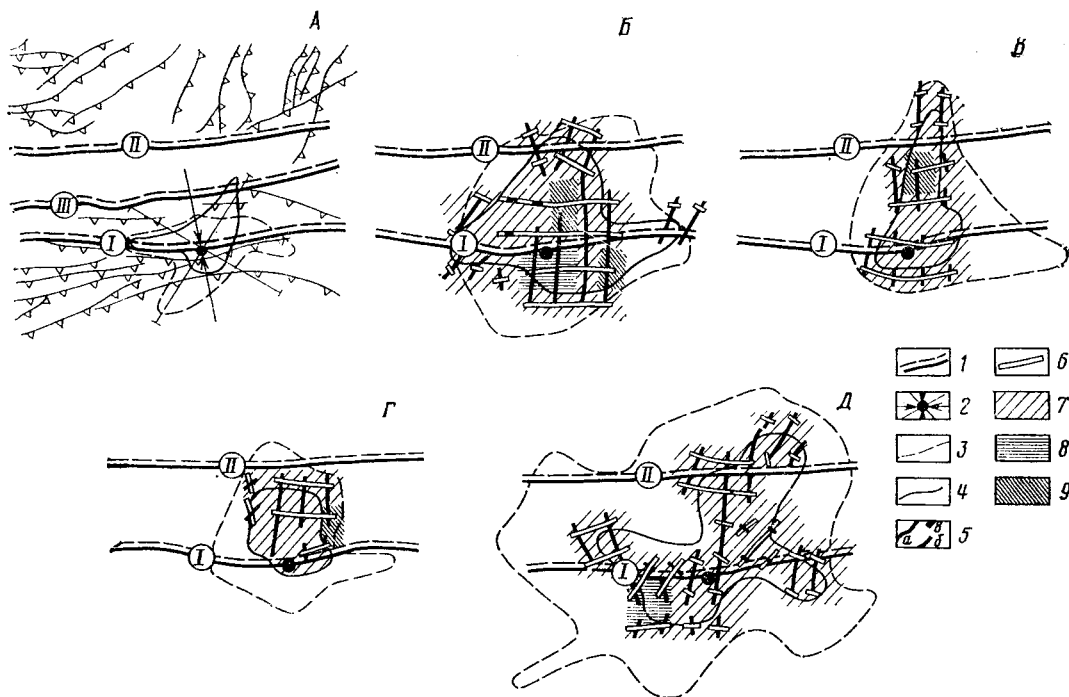


Рис. 1. Карта деформаций земной коры во время афтершоковой последовательности Маркансуйского землетрясения: А — за первые сутки, Б — за первую десятидневку, В — за вторую десятидневку, Г — за третью десятидневку, Д — с 12 сентября по конец 1975 г.; I — Дарваз-Каракульский разлом, II — Гиссаро-Кокшаальский разлом, III — северная ветвь Дарваз-Каракульского разлома; 1 — разломы второго и третьего порядков, 2 — эпицентр Маркансуйского землетрясения и простираение плоскостей разрывов, ориентация осей сжатия и растяжения в его очаге, 3, 4 — границы афтершоковых областей для землетрясений с $K=8-11$ и $12-15$, 5 — направление максимального укорочения за счет афтершоков (а — горизонтальное укорочение, б — укорочение под средними углами ($30-60^\circ$) к горизонту, в — близвертикальное укорочение), 6 — направление максимального удлинения; объемы земной коры с различным типом деформаций: 7 — сжатия ($0,2 \leq \mu_e \leq 1$), 8 — растяжения ($-1 \leq \mu_e \leq -0,2$), 9 — сдвига ($-0,2 \leq \mu_e \leq 0,2$)

Эпицентр главного события располагается вблизи основной зоны Дарваз-Каракульского разлома; тем не менее ни одна из двух возможных плоскостей разрыва в очаге не совпадает с его простираением и ни первая, ни вторая плоскость не пересекают северную зону четвертичной активизации Дарваз-Каракульского разлома [1] (рис. 1).

Всего с 11 августа 1974 г. до конца декабря 1975 г. в очаговой области произошло 95 афтершоков, энергетический класс которых $K \geq 12$. Из них удалось определить механизм 83 очагов (в частности, механизмы всех землетрясений 14–15-го классов). Для 12 повторных толчков ($K=12-13$), возникших в основном 11–13 августа, механизм очага не определяется. При определении механизмов очагов использовались годографы М. В. Кулагиной [4] для близких сейсмостанций ($\Delta < 10^\circ$) и годограф Джеффриса — Буллена для удаленных. После опубликования статьи [1] появилась возможность использовать знаки первых вступлений продольных волн, полученных с сейсмограмм сейсмических станций Института геологии и геофизики АН УзССР, Института сейсмологии АН УзССР и Института сейсмологии АН КиргССР. С учетом этих данных большинство ранних построений (59) осталось неизменным, механизмы 19 очагов претерпели частичное изменение и для пяти очагов впервые удалось построить механизм очага.

2. Методика. Компоненты тензора деформаций за счет остаточных явлений в очагах афтершоков рассчитывались простым суммированием вклада каждого афтершока с учетом его сейсмического момента в общую деформацию выделенного элементарного объема.

Для того чтобы учесть вклад афтершоков с неопределенными механизмами в общую деформацию элементарного объема, расчет проведем по

формуле [1]

$$\varepsilon_{ij} = \sum_{K=12}^{15} \frac{N_n(K)}{N_0(K)} \sum_{l=1}^{N_0(K)} \varepsilon_{ij}^{(l)}(K), \quad i, j=x, y, z, \quad (1)$$

где $N_n(K)$ — количество происшедших афтершоков класса K в ячейке осреднения, $N_0(K)$ — число определенных механизмов этого класса в этой же ячейке, $\varepsilon_{ij}^{(l)}(K)$ — компоненты тензора деформаций в l -м очаге, рассчитанные по известным формулам Ю. В. Ризниченко [5, 6]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx}^{(l)} &= \varepsilon (\sin^2 \varphi_T \sin^2 \alpha_T - \sin^2 \varphi_C \sin^2 \alpha_C), \\ \varepsilon_{yy}^{(l)} &= \varepsilon (\sin^2 \varphi_T \cos^2 \alpha_T - \sin^2 \varphi_C \cos^2 \alpha_C), \\ \varepsilon_{zz}^{(l)} &= \varepsilon (\cos^2 \varphi_T - \cos^2 \varphi_C), \end{aligned} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{xy}^{(l)} = 2\varepsilon (\sin^2 \varphi_T \sin \alpha_T \cos \alpha_T - \sin^2 \varphi_C \sin \alpha_C \cos \alpha_C),$$

$$\varepsilon_{yz}^{(l)} = 2\varepsilon (\sin \varphi_T \cos \alpha_T \cos \varphi_T - \sin \varphi_C \cos \alpha_C \cos \varphi_C),$$

$$\varepsilon_{xz}^{(l)} = 2\varepsilon (\sin \varphi_T \sin \alpha_T \cos \varphi_T - \sin \varphi_C \sin \alpha_C \cos \varphi_C),$$

где α_C, α_T — углы между горизонтальной проекцией соответственно оси сжатия и оси растяжения и меридианом, φ_C, φ_T — соответственно углы между направлением оси сжатия и оси растяжения с вертикалью,

$$\varepsilon = M_0 / 2\mu V, \quad (3)$$

где V — элементарная объемная область, μ — модуль упругости на сдвиг, принимаемый равным $3 \cdot 10^{11}$ дин/см², M_0 — сейсмический момент, определяемый по эмпирической корреляционной зависимости [7]: $M_0 = 11,842 + 0,889 K = 15,4 + 1,6M$.

Элементарные объемы, для которых находились значения тензора деформаций, имели размеры, равные $0,2^\circ$ по широте и долготе и 30 км по глубине (глубже 30 км афтершоки не зафиксированы). Для землетрясений 15-го класса размеры ячейки осреднения брались равными $0,3^\circ \times 0,3^\circ$. Расчеты компонентов тензора деформаций в географической системе координат и главных осей деформаций проводились методом скользящего окна с перекрытием $0,1^\circ$ по программе для ЭВМ ЕС-1033, любезно предоставленной О. В. Соболевой, Д. Г. Бибарсовой, З. И. Вахидовой [8].

3. Особенности афтершокового деформирования. Для изучения изменения компонентов деформаций по мере развития афтершокового процесса выделены 10-дневные периоды для следующих интервалов времени: первый период — с 11 по 21 августа, второй — с 22 августа по 1 сентября, третий — со 2 по 11 сентября, четвертый — все остальное время до 1 января 1976 г. включительно. Выделить 10-дневные периоды после 10 сентября не представляется возможным из-за малого числа данных в каждой следующей декаде.

Картини пространственно-временного распределения очагов афтершоков² свидетельствуют о том, что с течением времени площадь, занимаемая повторными толчками ($K=9-15$), изменялась: в первой декаде происходило ее расширение — за первую половину суток область афтершоков была несколько вытянута с запада на восток, а в конце десятидневки приобрела практически овальные очертания и достигла площади 3100 км². Во второй и третьей декадах произошло последовательное сокращение афтершоковой области соответственно до 1900 и 1600 км² (рис. 1).

Пространственно-временные особенности афтершоков с $K=12-15$ в общем подчинены тем же закономерностям, только площади, занимаемые

² Анализ эволюции геометрии афтершоковой области проведен на более обширном материале, включающем очаги землетрясений с $K \geq 9$.

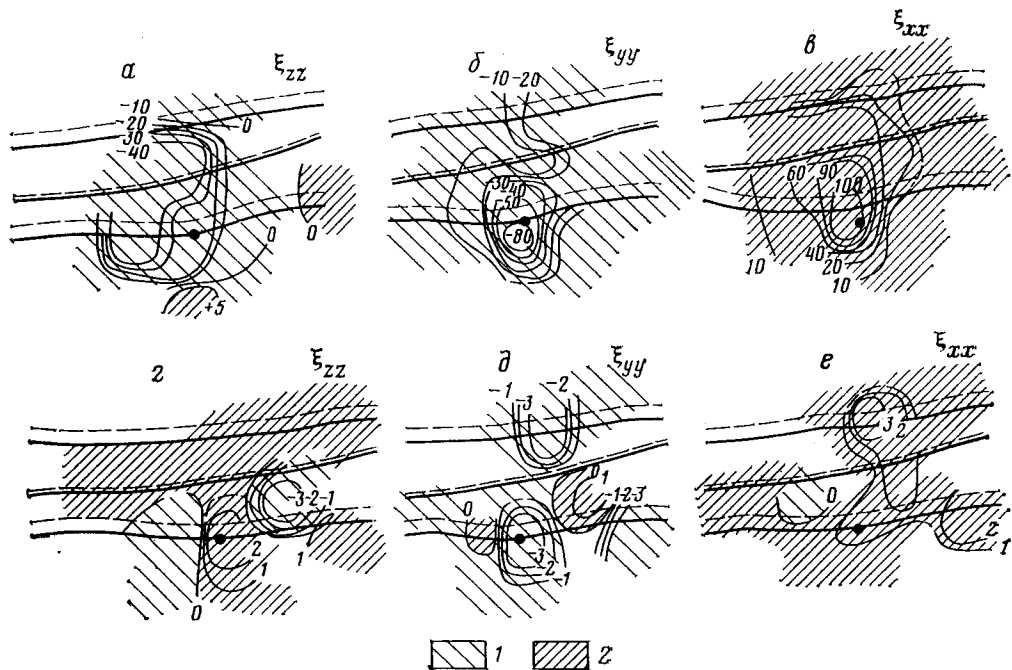


Рис. 2. Карта изолиний деформаций, накопившихся при афтершоковом процессе (в ед. 10^{-8}) в течение первой десятидневки (а, б, в) после главного события и накопленных с 12 сентября (1 мес после основного события) до конца 1975 г. (г, д, е). 1 — области деформаций укорочения, 2 — области деформаций удлинения, черный кружок — эпицентр Маркансуйского землетрясения. Обозначения разломов те же, что и на рис. 1

ими, примерно в 3–5 раз меньше: для первой декады 1200 км^2 , для второй 430 км^2 и для третьей 300 км^2 (рис. 1).

Детальный анализ расположения повторных толчков (с $K=9-15$) за каждый месяц показывает, что площади, занимаемые афтершоками, практически близки по своим значениям, за исключением трех начальных месяцев, в течение которых области, занятые афтершоковой деятельностью, значительно превосходили последующие площади и составляли 3500 , а затем 2800 км^2 . Через 4 мес площадь уменьшилась до 1200 км^2 . Примерно такое помесячное значение площади сохранялось до конца 1975 г. Сама же площадь ежемесячной афтершоковой переработки с течением времени мигрировала вокруг эпицентра основного толчка, поэтому общая суммарная площадь афтершоковой деятельности достигла 7600 км^2 (площадь, на которой возникли землетрясения с $K \geq 12$, составила 1700 км^2).

В течение рассматриваемых интервалов времени наблюдались существенные изменения как в особенностях деформирования очаговой области, так и в энергетическом спектре возникающих землетрясений. В частности, наиболее сильные ($K=14-15$) землетрясения произошли только в первые две декады. Что касается деформаций земной коры, то для первых двух декад характерны значительные отрицательные значения ϵ_{zz} (деформации вертикального укорочения), достигающие непосредственно в очаговой области величин $46 \cdot 10^{-8}$ в первой декаде и $26,3 \cdot 10^{-8}$ во второй (рис. 2). При этом максимум величин деформаций в первой декаде находится к западу и северо-западу от эпицентра главного события. В первые две декады величины широтной и меридиональной компонент деформаций по модулю были существенно больше, чем вертикальной (рис. 2). Среди значений меридиональной компоненты деформаций ϵ_{yy} преобладают высокие ($55 \cdot 10^{-8} - 89 \cdot 10^{-8}$) отрицательные значения, в широтной ϵ_{xx} — только положительные с наибольшими величинами $81 \cdot 10^{-8} - 112 \cdot 10^{-8}$. В обеих декадах облако максимальных значений деформаций окружает эпицентр землетрясения (рис. 2).

Если при рассмотрении компонент тензора деформаций исключить величины деформаций 15-класса, то картина в центре очаговой области

будет несколько отличаться от описанной выше. Так, в первой декаде наибольшие значения в основном присущи компоненте ϵ_{yy} , а не ϵ_{xx} , которая увеличивается за счет 15-го класса. Как с учетом землетрясений с $K=15$, так и без учета во второй декаде преобладают удлинения объемов земной коры в широтном направлении.

Поле сдвиговых деформаций ϵ_{xy} , ϵ_{yz} , ϵ_{zx} в первых двух декадах имеет сложный характер: области с положительными значениями деформаций чередуются с областями, в которых деформации имеют отрицательные величины. В первой декаде преобладают отрицательные значения компонент ϵ_{xy} , ϵ_{yz} , ϵ_{zx} , располагающиеся вблизи эпицентра. Области с положительными значениями малы как по величинам, так и по занимаемой площади. Максимальные отрицательные значения сдвиговых деформаций тяготеют к северо-западу очаговой области в компоненте ϵ_{xy} , к юго-западу в компоненте ϵ_{zx} и к центральной части в компоненте ϵ_{yz} . Во второй декаде также преобладают отрицательные значения деформаций, причем наибольшие по модулю наблюдаются южнее Дарваз-Каракульского разлома в компоненте ϵ_{xy} и почти по всей очаговой зоне с максимумом севернее эпицентра в компоненту ϵ_{yz} . Компонента ϵ_{zx} характеризуется в основном положительными значениями в южной части области и на один-два порядка меньшими по абсолютной величине отрицательными значениями — в северной части.

В третьей декаде, для которой характерно значительное сокращение области афтершоков и уменьшение энергии землетрясений, значения деформаций также претерпевают существенные изменения. Прежде всего вертикальное укорочение в первых двух декадах сменяется удлинением объемов земной коры вдоль вертикальной оси. Значения деформаций становятся меньше по величине и область афтершокового деформирования сохраняется к северу от эпицентра главного события.

Широтная и меридиональная компоненты деформаций в рассматриваемый временной интервал имеют тот же знак, но сами их величины значительно уменьшаются, что может свидетельствовать о перестройке афтершокового процесса в это время.

Через месяц после Маркансуйского землетрясения на протяжении почти полутора лет в очаговой области сохраняется низкий уровень деформаций. За период с 10 сентября 1974 г. по декабрь 1975 г. они были как минимум на порядок меньше, чем в третьей декаде. Кроме того, вдоль вертикали продолжали преобладать деформации удлинения, появившиеся в третьей декаде. Знак деформаций вдоль других направлений остался неизменным (рис. 2).

Сдвиговые деформации трех компонент ϵ_{xy} , ϵ_{yz} , ϵ_{zx} так же, как и в первых декадах, принимают и положительные и отрицательные значения.

Рассмотрим еще один параметр, характеризующий тип деформирования вещества, — коэффициент Лоде — Надаи. Этот коэффициент рассматривался в ряде сейсмологических работ [9, 10], он выражается через главные значения тензора деформаций:

$$\mu_e = 2(\epsilon_2 - \epsilon_3) / (\epsilon_1 - \epsilon_3) - 1.$$

При $\mu_e = 0$ происходит деформация чистого сдвига.

Коэффициент Лоде — Надаи рассчитывался для тех же интервалов времени, что и компоненты деформаций. В первый временной интервал на большей части зоны афтершоков коэффициент μ_e принимает значения, близкие к нулю, и только непосредственно в районе главного события коэффициент Лоде — Надаи значительно отличен от нуля, принимая как положительные ($\mu_e = 0,36 - 0,6$), так и отрицательные ($\mu_e = -0,5$) значения. В остальные периоды также преобладает деформация простого сдвига (рис. 1).

При такой общей стабильности значений коэффициента Лоде — Надаи интересно проследить азимутальное распределение осей главных деформаций объемов земной коры.

Первый период наблюдений характеризуется преимущественно субме-

ридионально ориентированным максимальным укорочением и субширотным удлинением в близгоризонтальной плоскости, при этом ε_2 субвертикальна непосредственно в очаговой области землетрясения (рис. 1). В периферийных частях оси максимального укорочения субгоризонтальны и ориентированы в северо-восточных румбах, а оси удлинения простираются с северо-запада на юго-восток. Однако если на востоке и западе на флангах оси максимального удлинения круто падают на юго-восток, то к северу от эпицентра они субгоризонтальны, а вертикальное положение занимает промежуточная ось деформаций ε_2 . И только на очень небольшом участке к северо-западу от эпицентра оси максимального укорочения близвертикальны, удлинения горизонтальны и широтно ориентированы, промежуточные оси субмеридиональны.

Во второй десятидневке ориентировка главных осей удлинения в зоне эпицентра продолжает оставаться горизонтальной и субширотной и лишь на севере при субширотной ориентировке оси удлинения происходит ее наклон к горизонту под углом $30-60^\circ$. В то же время близгоризонтальные меридиональные ориентировки осей укорочения, господствующие в первые 10 дней, сохраняются и в этой второй декаде, но на востоке преобладающими становятся оси укорочения с наклонами под средними ($30-60^\circ$) углами к горизонту.

В третьей декаде область с наибольшими значениями деформаций смещается к северу от эпицентра и здесь отмечаются незначительные изменения в ориентировке главных осей тензора деформаций, причем азимутальная ориентировка осей удлинения и укорочения остается прежней, а меняются лишь углы осей укорочения с дневной поверхностью на северо-востоке района (рис. 1).

В четвертый период азимутальная ориентация осей максимальных удлинений и укорочений в разных частях очаговой области становится хаотичной. При этом меняются не только углы осей с горизонтальной плоскостью, но и значительно изменяется их простирание.

4. Обсуждение результатов. В [1] было показано, что в очаге Маркансуйского землетрясения произошел сдвиг по плоскостям северо-западного и северо-восточного простирания длиной 50—60 км. Как следует из имеющихся геологических данных, обе возможные плоскости разрыва главного события не согласуются с простиранием основных геологических структур этой области и пересекают главный сместитель Дарваз-Каракульского разлома, не простираясь севернее зоны современной тектонической активизации этого разлома (рис. 1).

Судя по механизму главного события, в очаговой области Маркансуйского землетрясения произошло субмеридиональное укорочение и субширотное удлинение объема земной коры. Афтершоки, происшедшие в первую десятидневку, повторили тип деформирования земной коры главного события на большей части эпицентральной зоны. Затем деформирование земной коры афтершоками становится все менее схожим с главным событием и в конце концов в четвертом периоде поле деформаций становится хаотичным, полностью несогласованным с деформацией в очаге Маркансуйского землетрясения. Эти данные свидетельствуют о том, что механизм афтершокового процесса не может быть понят при простом сопоставлении на качественном уровне лишь подвижек в очагах главного события и его афтершоках.

Как показано выше, в первые 20 суток после основного события в условиях горизонтального сжатия произошли значительные деформации укорочения по вертикали. В конкретной структурной обстановке силой, способной вызвать такие деформации, является сила тяжести. Поскольку она постоянна, то можно полагать, что в момент землетрясения в очаговой области произошли процессы, понизившие прочностные свойства горных пород и сделавшие возможными указанные деформации. (Наиболее вероятным представляется, что при массовом разрывообразовании в очаговой области при главном землетрясении произошло уменьшение эффективной вязкости горных пород.) Конфигурация зоны афтершокового деформирования позволяет полагать, что разрывообразованием были охва-

чены значительные объемы земной коры. Попытаемся оценить вязкость горных масс, разупрочненных разрывообразованием в очаге.

Скорости деформаций и напряжений для вязкодеформированных тел, как известно, связываются с помощью уравнения

$$\sigma_z = \sigma_{cp} + 2\eta(\dot{\epsilon}_z - \dot{\epsilon}_{cp}). \quad (4)$$

Если допустить, что в процессе афтершоковых явлений деформирование результирующего объема происходит только под действием силы тяжести, то

$$\sigma_x = \sigma_y = -\nu\sigma_z, \quad \epsilon_x = \epsilon_y = -\nu\dot{\epsilon}_z,$$

где ν — коэффициент Пуассона.

В этом случае

$$\sigma_{cp} = (\sigma_z + \sigma_x + \sigma_y)/3 = \sigma_z(1-2\nu)/3, \quad (5)$$

$$\dot{\epsilon}_{cp} = \dot{\epsilon}_z(1-2\nu)/3. \quad (6)$$

Подставляя (5) и (6) в (4), имеем

$$\sigma_z = 2\eta\dot{\epsilon}_z. \quad (7)$$

Литостатическое давление на глубине h равно

$$\sigma_z = -\rho gh, \quad (8)$$

где ρ — плотность горных пород, которую полагаем постоянной, g — ускорение свободного падения, h — глубина.

Подставляя (8) в (7), имеем

$$\eta = -\rho gh/2\dot{\epsilon}_z. \quad (9)$$

Экспериментальные данные о механизмах очагов землетрясений позволяют получить оценки некоторых средних скоростей деформаций в объеме земной коры мощностью H :

$$\dot{\epsilon}_z^* = -\frac{1}{H} \int_0^H \dot{\epsilon}_z dh. \quad (10)$$

Подставляя в (9) значения из (10) и интегрируя, получаем

$$\eta = \rho g H / 4\dot{\epsilon}_z^*. \quad (11)$$

Земная кора очаговой области Маркансуйского землетрясения за 20 дней испытала среднюю деформацию укорочения вдоль оси, равную 10^{-6} . Стало быть, средняя скорость деформаций земной коры $\dot{\epsilon}_z^* = 4,1 \cdot 10^{-13} \text{ с}^{-1}$.

Мощность сейсмически активного слоя нами принята $3 \cdot 10^6$ см, средняя плотность горных пород $\rho = 2,5 \text{ г/см}^3$, $g = 10^3 \text{ см/с}$. В этом случае эффективная вязкость в очаговой зоне $\eta = 10^{21-22}$ П. Несмотря на то что оценки хорошо согласуются с определениями эффективной вязкости горных масс, разупрочненных трещинами и разрывами [11], реальные величины вязкости разупрочненной землетрясениями очаговой области, по-видимому, еще меньше. Связано это с тем, что землетрясения происходят под действием касательного напряжения $\tau_{\max} = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$. В том случае, когда наблюдается вертикальное укорочение $\epsilon_{zz} < 0$, имеем $\sigma_{\text{вер}} = \sigma_{\max} = \rho hg$. Хотя неизвестны горизонтальное напряжение и разность $\sigma_{\text{вер}} - \sigma_{\text{гор}}$, можно полагать, что вертикальное и горизонтальное напряжения близки по величине. Действительно, через две десятидневки τ_{\max} меняет знак, о чем свидетельствует факт выжимания горных масс вверх. Из этого следует, что $\sigma_{\text{гор}}$ превысило ρhg . Если разность $\sigma_{\text{вер}} - \sigma_{\text{гор}}$ может сменить знак, то, очевидно, $\sigma_{\text{вер}}$ и $\sigma_{\text{гор}}$ не очень отличаются друг от друга. Поэтому полученные выше оценки эффективной вязкости очаговой области после землетрясения являются предельно возможными. Поскольку вязкость горных масс Таджикской депрессии определялась в 10^{23-24} П, то можно утверждать, что при землетрясении в очаговой области за счет

разуплотнения горных масс происходит падение вязкости не меньше чем на 1—2 порядка.

Заключение. Пример Маркансуйского землетрясения и его афтершоков свидетельствует о сложности процессов, происходящих в очаговой области сильного землетрясения, и о необходимости перехода от прямого сопоставления направлений смещений в очагах главных землетрясений и их афтершоков к исследованию деформаций, возникших в земной коре в результате этих событий.

Как свидетельствуют изложенные в этой работе результаты, в очаговой области Маркансуйского землетрясения произошло массовое разрывообразование, сопровождавшееся падением эффективной вязкости горных пород не менее чем на 1—2 порядка.

Развитие самого афтершокового процесса претерпевает изменение как в пространстве, так и во времени. Что касается величин деформаций, то наибольшие из них приходятся на первые дни афтершокового деформирования ($\varepsilon_{zz} = -46 \cdot 10^{-8}$, $\varepsilon_{yy} = -89 \cdot 10^{-8}$, $\varepsilon_{xx} = -112 \cdot 10^{-8}$), затем наблюдается постепенное уменьшение деформаций.

Для первых 10 дней характерно увеличение размера афтершоковой области при общем наследовании типа деформирования в очаге главного события: в это время в очаговой области происходят субмеридиональные укорочения и субширотные удлинения.

В следующие две десятидневки область афтершоков уменьшается, стягиваясь к эпицентру главного события. При этом во второй десятидневке укорочения и удлинения объемов горных масс происходят в том же направлении, что и в начальный период, и лишь в третьей декаде появляется некоторая хаотичность в ориентировке главных осей деформаций. Эта хаотичность увеличивается в последующие 16 месяцев.

Территория, охваченная афтершоковой деятельностью, за весь период составила 7600 км². В пределах этой области каждый месяц пространственно сгруппированные афтершоки возникали на площади около 1200 км² и эти площади мигрировали вокруг эпицентра главного события. В течение всего срока наблюдений преобладали значения коэффициента Лодэ — Надаи, близкие к нулю.

В заключение автор выражает признательность К. И. Кузнецовой, О. В. Соболевой, Н. Д. Жалковскому, Б. П. Сибирякову за ценные замечания и полезные дискуссии.

Литература

1. Кучай О. А. Пространственные закономерности афтершокового деформирования очаговой области сильного землетрясения. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1982, № 10, с. 62—67.
2. Губин И. Е. Закономерности сейсмических проявлений на территории Таджикистана. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 463 с.
3. Грифонов В. Г. Позднечетвертичный тектогенез. М.: Наука, 1983. 224 с.
4. Кулагина М. В., Лукк А. А., Кулагин В. К. Блоковое строение земной коры Таджикистана. — В кн.: Поиски предвестников землетрясений на прогностических полигонах. М.: Наука, 1974, с. 70—84.
5. Ризниченко Ю. В. Расчет скоростей деформаций при сейсмическом течении горных масс. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1977, № 10, с. 34—47.
6. Ризниченко Ю. В., Джигладзе Э. А. Скорости вертикальных движений при сейсмическом течении горных масс. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1976, № 1.
7. Ризниченко Ю. В. Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент. — В кн.: Исследования по физике землетрясений. М.: Наука, 1976, с. 9—27.
8. Соболева О. В., Бибарсова Д. Г., Вахидова З. М. Расчет параметров сеймотектонической деформации. — Рукопись деп. в ВИНТИ, 1976, № 5402—81 Деп.
9. Юнга С. Л. Тектоническая деформация сейсмоактивных областей по данным о механизмах и магнитудах землетрясений. Рукопись деп. в ВИНТИ, 1976, № 2041—76, 32 с.
10. Ризниченко Ю. В., Соболева О. В., Кучай О. А., Михайлова Р. С., Васильева О. Н. Сеймотектоническая деформация земной коры юга Средней Азии. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1982, № 10, с. 90—104.
11. Кучай В. К., Певнев А. К., Гусева Т. В. О характере современных тектонических движений в зоне Вахшского надвига. — Докл. АН СССР, 1978, т. 240, № 3.

Академия наук СССР
Сибирское отделение
Институт геологии
и геофизики

Поступила в редакцию
8.VIII.1984