

Характер деформаций в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения (27 сентября 2003 г., $K = 17$, Горный Алтай) по данным анализа фокальных механизмов афтершоков

Е.В. Лескова, А.А. Еманов

Институт геофизики СО РАН, Новосибирск, 630090, Россия
Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, Новосибирск, 630090, Россия

В работе представлены результаты анализа каталога фокальных механизмов афтершоков Чуйского землетрясения (27.09.2003 г., Горный Алтай) по их пространственному распределению и по параметрам главных осей тензора напряжений. Показано, что наиболее характерным механизмом очагов афтершоков является правый сдвиг с некоторой вертикальной составляющей. Механизмы очагов взбросового и сбросового типов отмечены на окончаниях зоны активизации. Событиями взбросового типа также характеризуются окончания выделенных по данным DD-томографии элементов структуры афтершокового процесса. Выявлена преимущественная ориентация главных осей напряжения: субмеридиональная и субширотная для осей P и T соответственно.

Deformation pattern for the epicentral area of the Chuya earthquake (September 27, 2003, $K = 17$, Gorny Altai) according to analysis data for aftershock focal mechanisms

E.V. Leskova and A.A. Emanov

Institute of Geophysics SB RAS, Novosibirsk, 630090, Russia
Altai-Sayan Branch of Geophysical Survey SB RAS, Novosibirsk, 630090, Russia

The paper presents analysis results for the catalog of aftershock focal mechanisms of the Chuya earthquake (09.27.2003, Gorny Altai) according to their spatial distribution and parameters of principle axes of stress tensor. It is shown that the most typical focal mechanism of aftershocks is the right lateral strike-slip with a vertical component. Normal and reverse focal mechanisms are registered on ends of the activation zone. Reverse events are also typical for ends of aftershock structure elements revealed by DD-tomography. It is determined that principle axes of stress have mainly submeridian and sublatitudinal directions for the P and T axes, respectively.

1. Введение

Чуйско-Курайская зона (Горный Алтай) по количеству землетрясений ярко высвечивается в структуре Алтае-Саянской горной области как район с быстропротекающим сейсмотектоническим процессом [1]. Но ввиду того, что крупные землетрясения с энергетическими классами $K \geq 13$ в этой зоне за период инструментальных наблюдений до Чуйского землетрясения (1963–2003 гг.) не наблюдались, фокальные механизмы для данной зоны были мало изучены.

Афтершоки Чуйского землетрясения регистрировались плотной сетью станций Алтайского сейсмологического полигона и временными сетями с использованием автономных станций при эпицентральных наблюдениях. Таким образом, данные регистрации афтершо-

кового процесса позволяют применять современные методики определения и переопределения положения событий, что резко повышает точность пространственной привязки землетрясений. Использование дополнительных сетей сейсмических станций позволяет рассчитывать фокальные механизмы даже для мелких афтершоков.

Фокальные механизмы рассчитаны для 183 событий активизации. Полученный каталог включает в себя параметры механизмов очагов, как крупных событий, так и землетрясений малых энергий ($K = 4+17$).

В данной работе делается попытка, используя данные о механизмах очагов землетрясений, определить локальные характеристики напряженного состояния для зоны, охваченной афтершоками Чуйского землетря-

сения. Общий анализ представляется по фокальным механизмам крупных афтершоков (с энергетическим классом более 10.5). Детальный анализ строится на основе всего полученного каталога, т.е. по данным о механизмах очагов 183 событий афтершоковой серии с большим разбросом по энергетическим характеристикам.

2. Расчет механизмов очагов афтершоков Чуйского землетрясения

Для расчетов механизмов очагов афтершоков использовались гипоцентральные решения, а также азимуты и углы выхода луча из очага для каждого наблюдения, рассчитанные в рамках слоистой скоростной модели [2]. Скорости S-волн рассчитывались, используя соотношение $V_S/V_P = 1.74$.

Фокальные механизмы строились с использованием пакета программ FPFIT [3] по знакам первых вступлений. При построении фокального механизма программой FPFIT сравнивается наблюдаемая полярность на каждой станции, участвующей в определении механизма очага, с рассчитанной полярностью для каждой модели источника из набора. Далее рассчитывается минимум функции расхождения, который и определяет положение нодальных плоскостей. Решение приводится в виде параметров плоскостей (угол простирания, падения и подвижки) и главных осей напряжения (азимут и угол погружения).

Для каждого события в расчетах участвовало от 8 до 34 наблюдений полярности первых вступлений на станциях Алтае-Саянской региональной сейсмической

сети, Алтайского сейсмологического полигона, временных сейсмологических сетей Геофизической службы СО РАН в зоне Чуйского землетрясения. В некоторых случаях дополнительно использовались волновые формы Байкальской региональной сейсмологической сети, Сейсмологической сети Казахстана, станций сети IRIS.

Для анализа отбирались только те события, для которых имеется однозначное определение плоскости разрыва.

Таким образом, был получен каталог фокальных механизмов 183 событий активизации Чуйского землетрясения, который помимо гипоцентральных решений включает в себя параметры, характеризующие положение нодальных плоскостей и главных осей напряжений.

Особенностью данного каталога является то, что фокальные механизмы рассчитаны в основном для афтершоков, зарегистрированных во время полевых экспериментов с временными станциями в зоне Чуйского землетрясения. Поэтому механизмы очагов получены для разных конфигураций сетей станций, в отдельные временные периоды и, что самое важное, для землетрясений разных энергий. Рассчитать механизмы очагов для всех событий, хотя бы больших энергий, пока не представляется возможным.

Погрешность в определении координат землетрясений составила 0.2 ± 2 км (в среднем — 0.7 км), глубины — в среднем порядка 2.5 км. Среднеквадратическая невязка по времени (невязка между наблюдавшимися временами на станциях и временами в рамках выбранной модели) варьируется в пределах от 0.02 до 0.2 с

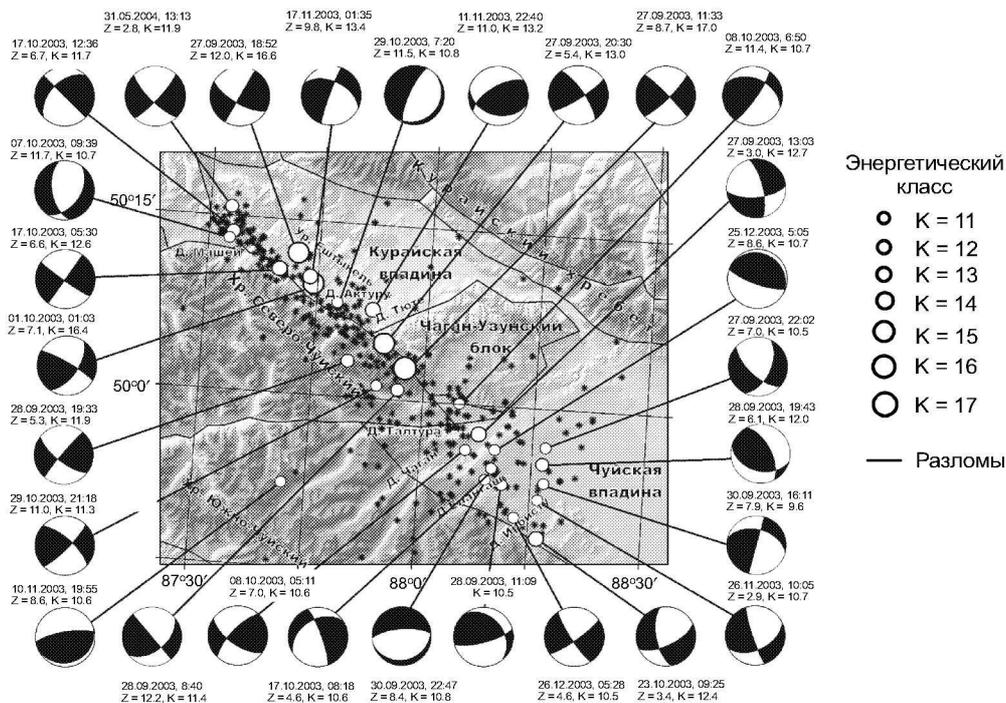


Рис. 1. Фокальные механизмы некоторых крупных событий активизации ($K > 10.5$)

(среднее значение — порядка 0.1 с). Максимальный разброс в определении положения нодальных плоскостей для отдельных событий составил по азимуту простирания, углу падения и углу подвижки соответственно 20°, 30°, 30° (средние значения этих параметров для всех событий — 7°, 11°, 11°).

3. Пространственное распределение механизмов очагов

Рассмотрим пространственное распределение механизмов очагов крупных афтершоков. На карту с рельефом, разломами (по Новикову И.С. [4]) и положением событий вынесены фокальные механизмы, построенные для отдельных крупных землетрясений с энергетическим классом 10.5 и более (рис. 1). Эпицентры афтершоков рассчитаны методом сейсмической томографии с двойными разностями [5]. События, для которых построены механизмы очагов, выделены белыми кружками в зависимости от энергетического класса K .

Основным механизмом очагов афтершоков Чуйского землетрясения, учитывая нанесенные разломы, является правый сдвиг. Изменение вида фокальных механизмов наблюдается на концах разломной зоны (особенно они разнообразны на юго-восточном окончании). Также

Таблица 2

Идентификация механизмов очагов землетрясений по углам погружения главных осей напряжения

| | Сдвиги | Взбросы | Сбросы |
|----------------|--------------|-----------------|-----------------|
| Ось сжатия | $< 45^\circ$ | $\leq 45^\circ$ | $\geq 45^\circ$ |
| Ось растяжения | $< 45^\circ$ | $\geq 45^\circ$ | $\leq 45^\circ$ |

обращает на себя внимание событие взбросового типа с $K = 13.2$, расположенное в районе долины Тюте, в зоне взаимодействия Чаган-Узунского блока с Курайской впадиной.

Для удобства восприятия и анализа разделим все каталожные события на основные типы механизмов смещений, происходящих при различных тектонических процессах, по углам погружения главных осей напряжения на сдвиги, взбросы и сбросы, минуя промежуточные типы (табл. 2).

Полученные в результате такого разделения типы механизмов очагов для афтершоков Чуйского землетрясения следующие: более половины событий в исследуемой активизации составляют сдвиги (52 % от общего числа событий), 35 % — взбросы, 13 % — сбросы. Таким образом, на общем уровне напряженное состояние

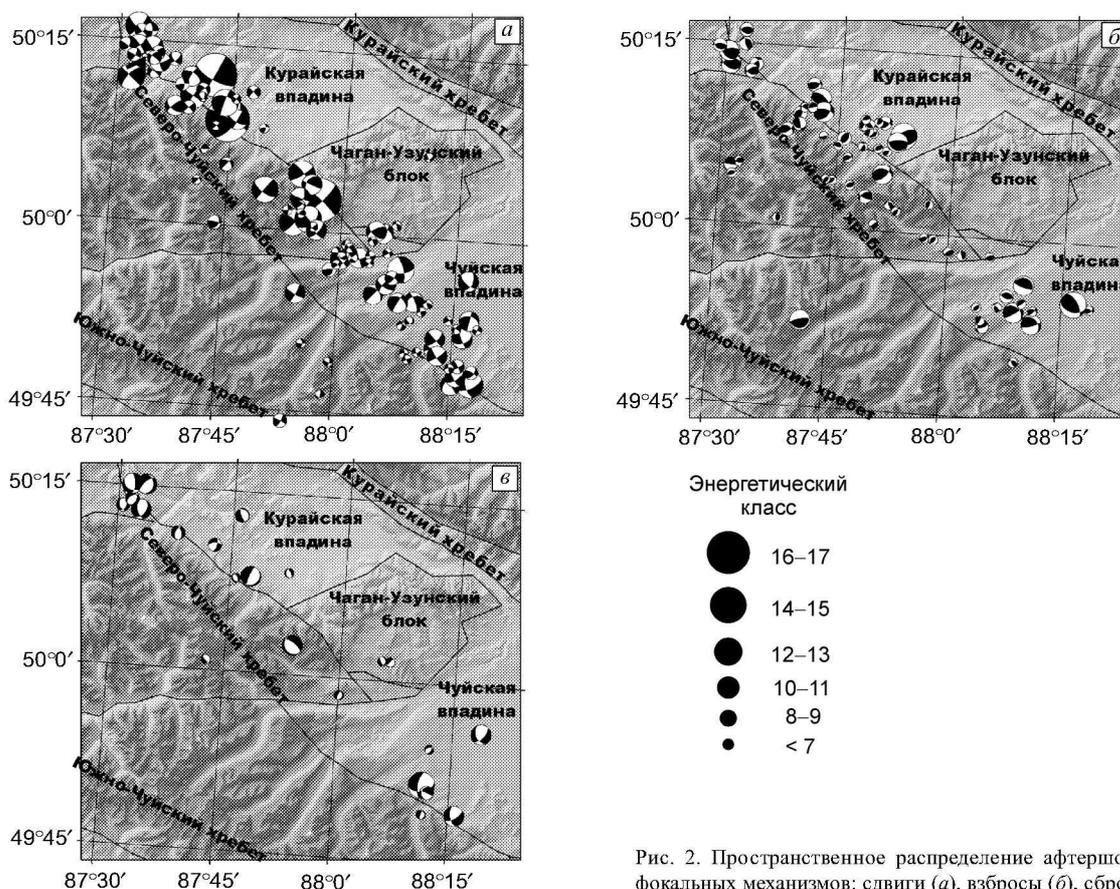


Рис. 2. Пространственное распределение афтершоков по типам фокальных механизмов: сдвиги (а), взбросы (б), сбросы (в)

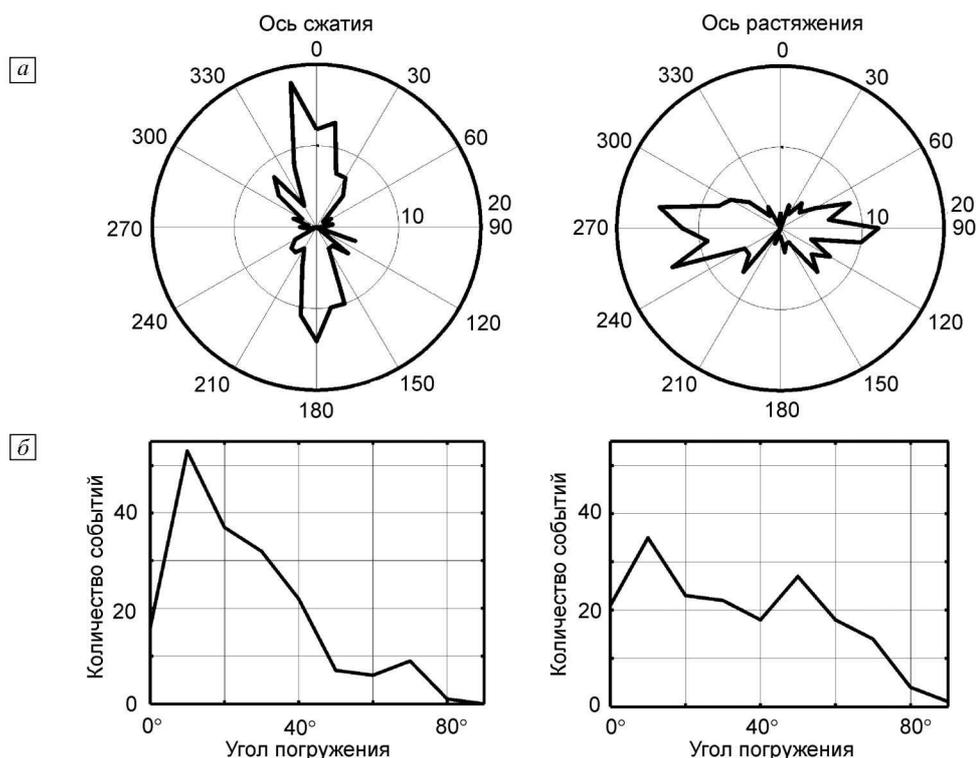


Рис. 3. Распределение параметров главных осей напряжения: азимутов осей (а), углов погружения осей (б)

зоны афтершоков можно обозначить как взбросо-сдвиговое с преобладанием механизмов очагов типа сдвига.

Рассмотрим пространственное распределение событий по типам фокальных механизмов отдельно. Для этого на карту с рельефом и разломами нанесем землетрясения в зависимости от вида механизма очага согласно предложенному разделению (рис. 2).

Сдвиги, как уже было отмечено по фокальным механизмам крупных афтершоков, характерны для всей зоны активизации, за исключением области сочленения Чаган-Узунского блока с Курайской впадиной (рис. 2, а). На этом участке, в основном, наблюдаются механизмы взбросового типа.

Интересно распределение взбросов (рис. 2, б) и сбросов (рис. 2, в) вдоль области активизации. Взбросовые и сбросовые фокальные механизмы определены для землетрясений, происшедших на концах активизированного участка, и связаны по всей вероятности со структурами оперения, характерными для окончаний сдвиговых зон. Обращает на себя внимание линия взбросов в урочище Ештыкель (рис. 1, 2), расположенная ортогонально к линии распространения афтершоков. Взбросовые подвижки в очагах афтершоков также отмечаются и для области взаимодействия Чаган-Узунского блока с Курайской впадиной со стороны Северо-Чуйского хребта. Такое положение событий взбросового типа можно связать с окончанием структур, выделенных по данным переопределения гипоцентров афтер-

шоков методом сейсмической томографии с двойными разностями [5].

Отмечается серия мелких событий взбросового типа непосредственно под Северо-Чуйским хребтом. Можно предположить, что в условиях сжатия, горные хребты, являясь менее консолидированными, чем впадины, испытывают поднятие, которое и отражается в механизмах очагов землетрясений малых энергий.

4. Распределение параметров главных осей напряжения

Анализ диаграмм распределения параметров главных осей напряжения (рис. 3) позволил выявить тенденцию в направлениях осей P и T . Основное направление для осей сжатия зоны активизации почти строго «север – юг» с небольшим преобладанием северо-северо-западной ориентации. Для растяжения соответственно «восток – запад» с наибольшим количеством событий на направлении 280° .

Для углов погружения (рис. 3, б) максимальное количество событий приходится на 10° для оси сжатия (ось близгоризонтальная), для оси растяжения отмечается 2 максимума: на 10° (близгоризонтальная ось) и 50° (в таком случае одна из нодальных плоскостей близгоризонтальна, другая — близвертикальна). На рис. 4 показано распределение углов погружения главных осей напряжения в зависимости от типа механизма очага. Таким образом, для оси сжатия максимум на 10° соответ-

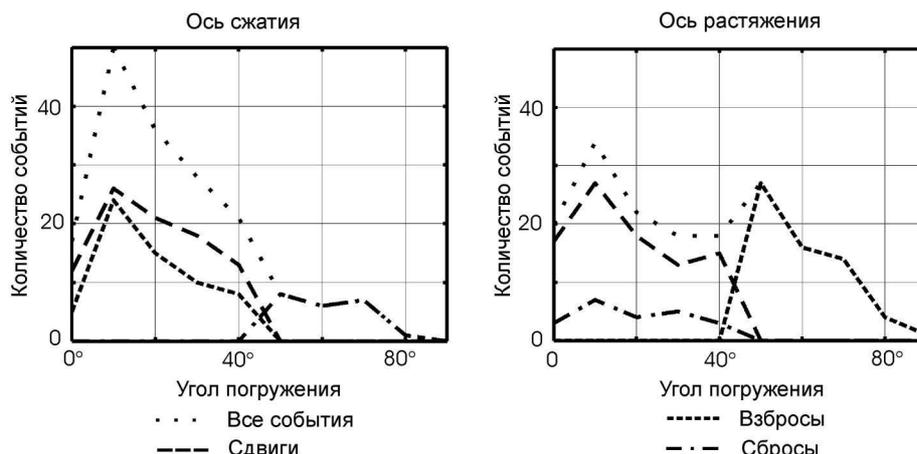


Рис. 4. Распределение углов погружения главных осей напряжения в зависимости от вида механизма очага

стует максимумам для сдвигов и взбросов. При чем для сдвигов также отмечается большое количество событий на 20 ± 30 градусов. Для оси растяжения основной максимум на 10° составляют события сдвигового типа, на 50° — надвиги. Землетрясения с механизмами очагов типа сбросов, ввиду малого их количества, вид графиков практически не изменяют.

5. Заключение

В качестве основных результатов выполнения данной работы по исследованию фокальных механизмов афтершоков Чуйского землетрясения можно выделить следующие.

Наиболее характерным механизмом очагов для афтершоков Чуйского землетрясения является сдвиг с некоторой вертикальной составляющей. Учитывая тектоническую обстановку района, это правый сдвиг. Правый сдвиг характерен как для большинства крупных афтершоков, так и для событий малых энергий.

Для окончаний зоны активизации характерны механизмы очагов взбросового и сбросового типа, которые можно связать со структурами оперения, характерными для окончаний сдвиговых зон.

Событиями взбросового типа характеризуются окончания выделенных по данным DD-томографии [5] элементов структуры афтершокового процесса.

Оси сжатия для большей части событий близгоризонтальны (максимальное количество событий приходится на 10°); для оси растяжения проявляются максимумы на 10° и 50° . В большинстве очагов афтершоков

преимущественная ориентация близгоризонтальных осей P и T — субмеридиональная и субширотная соответственно.

Работа выполнена при поддержке ОИГТМ СО РАН (проекты ВМТК №№ 1734, 1739), Президиума СО РАН (интеграционный проект № 73), Российского фонда фундаментальных исследований (проект 05-05-64439) и программы Президиума РАН № 13.

Литература

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В. Пространственно-временные особенности сейсмичности Алтае-Саянской складчатой зоны // Физ. мезомех. – 2005. – Т. 8. – № 1. – С. 49–64.
2. Еманов А.А., Лескова Е.В. Строение эпицентральной зоны Чуйского (Горный Алтай) землетрясения по данным метода сейсмической томографии с двойными разностями // Физ. мезомех. – 2006. – Т. 9. – № 1. – С. 45–50.
3. Reasenber, P. A., Cppenheimer D. FPFIT, FPPLLOT, and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions // U.S. Geol. Surv., 1985, Open-File Rep. 85-739. – 109 p.
4. Новиков И.С., Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Азатова А.Р., Высоцкий Е.М., Деев Е.В. Прогнозирование характера движений по новейшим разломам Алтая и соотношение прогнозов с перемещениями в ходе сейсмической активизации 2003 г., реконструируемым по фокальным механизмам землетрясений // Рельефообразующие процессы: теория, практика, методы исследований: Материалы XXII Пленума Геоморфологической комиссии РАН, Новосибирск, ИГ СО РАН, 20–24 сентября 2004 г. – Новосибирск: 2004. – С. 206–210.
5. Еманов А.А., Лескова Е.В. Структура афтершоковой последовательности Чуйского землетрясения по данным DD-томографии и фокальным механизмам // Шестая Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник научных материалов. – Пермь: Горный Институт УрО РАН, 2005. – С. 63–67.