

**СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА
ЧУЙСКОГО (Горный Алтай) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ**

А.А. Еманов, Е.В. Лескова

*Институт геофизики СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия
Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия*

Представлены результаты переобработки данных регистрации афтершокового процесса Чуйского землетрясения 27 сентября 2003 г. ($M_s = 7,3$) с использованием методов, не входящих в стандартную обработку. На первом шаге в расчет положений гипоцентров землетрясений введена скоростная модель. Затем дополнительно применен метод двойных разностей. Для отдельных афтершоков построены фокальные механизмы. Положения событий, полученные в результате переобработки данных, выстраиваются в некоторые линейные структуры. По линии главного разлома фокальные механизмы указывают на горизонтальные смещения, тогда как на концах зоны сейсмической активизации происходит смена механизмов и существенной становится вертикальная составляющая сдвига. Обнаружено, что линейная область афтершоков заканчивается с обоих концов системой разветвляющихся опережающих разломов.

Афтершоковый процесс, гипоцентр, двойные разности, фокальный механизм, линейная структура, Чуйское землетрясение.

**STRUCTURE OF THE AFTERSHOCK PROCESS
OF THE CHUYA (Gorny Altai) EARTHQUAKE**

A.A. Emanov and E.V. Leskova

We report reprocessed aftershock data from the $M_s = 7.3$ Chuya earthquake of 27 September 2003. The new approach we suggest implies location of hypocenters using a tomography-based velocity model followed by double-difference relocation. After relocation, the diffuse pattern of catalog aftershocks became a sharp image of seismicity with horizontal lineations of events. Fault plane solutions obtained for large aftershocks indicate horizontal strike-slip motion on the main fault line along the North Chuya Ridge and a vertical slip component on the ends of the aftershock zone. The linear aftershock zone shows up as a system of splaying faults.

Aftershock process, hypocenter, double difference, earthquake mechanism, linear structure, Chuya earthquake

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа посвящена переобработке данных регистрации Чуйского землетрясения и его афтершоков с использованием алгоритмов, не входящих в обязательную обработку при составлении каталога сейсмических событий. Исследованию афтершокового процесса Чуйского землетрясения посвящен ряд работ [1, 2], и при этом еще нет детальных сведений обо всем процессе. В рамках этой работы с помощью некоторых современных подходов мы уточняем данные, которые были представлены в работе [1]. Алгоритмы построения эпицентров землетрясений, применяющиеся в Алтае-Саянском регионе до настоящего времени, были рассчитаны на редкую сеть региональных наблюдений. С появлением более плотной сети станций Алтайского сейсмологического полигона [3] стало возможным применять методики, позволяющие получать более точные решения при локальных полигонных наблюдениях. В этой статье для обработки сейсмологических данных Алтая мы пытаемся применять новые методы, которые позволяют детально рассмотреть пространственную структуру афтершокового процесса Чуйского землетрясения.

Повысить точность построения положений гипоцентров можно, улучшив заложенную в алгоритмы скоростную модель земной коры. Именно благодаря скоростной модели мы можем вычислять время пробега волн и расстояние от очага до сейсмической станции. При этом несоответствие скоростной модели реальной среде вносит, пожалуй, самую большую ошибку в вычисления координат сейсмических событий. Для уточнения положения гипоцентров землетрясений мы используем два подхода. В первую очередь, мы вводим улучшенную по данным сейсмической томографии, скоростную модель. Это позво-

ляет получить более точные абсолютные решения. Затем мы используем метод двойных разностей, который не очень чувствителен к параметрам модели. Этот метод дает достаточно точное относительное решение, которое мы привязываем, сравнивая с уже имеющимся абсолютным.

В рамках данной работы мы выполнили гипоцентральные решения с использованием скоростной модели, полученной по данным сейсмической томографии; и для некоторых землетрясений, прежде всего для крупнейших событий этой активизации, построили фокальные механизмы.

ГИПОЦЕНТРАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОСЛОЙНОЙ СКОРОСТНОЙ МОДЕЛИ

В стандартной обработке землетрясений в региональном центре, ориентированной на разреженную сеть сейсмических станций, вычисляются только положения эпицентров с фиксированной глубиной 15 км. Расчет делается с простой скоростной моделью с постоянными скоростями $V_p = 6,1$ км/с, $V_s = 3,5$ км/с в земной коре, и $V_{Pn} = 8,1$ км/с, $V_{Sn} = 4,6$ км/с в мантии. При разреженной сети на больших расстояниях такой модели вполне достаточно, тогда как для локального участка Алтайского сейсмологического полигона можно использовать более точную модель, предполагая, что она не меняется на территории полигона.

Мы представляем гипоцентральные решения, которые были сделаны по программе HYPOINVERSE-2000 [4] с использованием скоростной модели, полученной по данным сейсмической томографии [5]. Такая методика применяется впервые для определения гипоцентров в Алтае-Саянском регионе. В табл. 1 показана скоростная модель для продольных волн. Для поперечных волн скоростную модель получали, используя отношение $V_p/V_s = 1,74$. Поскольку почти все станции, участвовавшие в обработке, были выставлены на выходах коренных пород, в первом слое модели берется скорость кристаллического фундамента и не принимается во внимание скорость в осадочном слое. Модель построена до границы Мохоровичича, а на границе (55 км) указана скорость головной волны. Таким образом, мы строим модель, которая учитывает головную волну, но не учитывает волны, проходящие через мантию.

Заметим, что и для P - и для S -волн мы использовали только первые вступления, интерпретация того, является ли волна прямой или рефрагированной (головной), зависит от скоростной модели. У методики, которая используется в стандартной обработке, в этом смысле есть некоторое преимущество: она использует как прямые, так и головные волны. Это преимущество проявляется при редкой региональной сети станций, где для сейсмического события большинство станций находится на расстоянии, на котором появляется головная волна. Однако в условиях Алтайского сейсмологического полигона и плотной сети станций эпицентральных наблюдений оно не существенно.

В алгоритме использованной программы HYPOINVERSE-2000 [4] заложена достаточно „умная“ система взвешивания. При расчетах сначала вычисляется грубое приближение решения с использованием всех данных и фиксированной глубины, затем оно начинает итеративно уточняться. При достижении точного эпицентрального решения глубина освобождается и начинается её определение. В процессе вычислений на заданной итерации включается фильтрация и взвешивание данных по двум параметрам: по невязке и расстоянию. При взвешивании по невязке из расчетов удаляются наблюдения, на которых разность наблюдаемого и теоретического (вычисленного с помощью модели) времени пробега превышает некоторую величину, обычно 0,16 с, а остальным данным присваивается вес в зависимости от невязки. Взвешивание зачастую уточняет решение, отбрасывая некачественные данные. Но при этом возможна такая ситуация, когда одно плохое наблюдение может стянуть расчет к неверному результату, поэтому

Таблица 1. Скоростная модель для продольных волн

Номер слоя	Глубина, км	V_p , км/с
1	0—3	6,0
2	3—6	6,25
3	6—9	6,3
4	9—15	6,35
5	15—20	6,4
6	20—30	6,55
7	30—40	6,75
8	40—55	6,75
9	>55	8,1

необходимо контролировать качество решения. При взвешивании по расстоянию на определенной итерации удаляются из вычислений наблюдения на станциях, находящихся дальше определенного расстояния от эпицентра, а остальные данные взвешиваются. В качестве отсекающего расстояния мы обычно использовали 50 км и только в некоторых случаях увеличивали его, чтобы захватить большее число станций. Такое взвешивание гарантирует, что на последних итерациях при определении положения гипоцентра будут использоваться только близкие станции, при этом далекие станции не смогут внести ошибку, обусловленную, в первую очередь, несоответствием модели на больших расстояниях от эпицентральной зоны.

На рис. 1 показана карта положений эпицентров Чуйского землетрясения, рассчитанных с помощью этого метода. На карте также представлены разломы, разделяющие блоки земной коры, по И.С. Новикову из работы [1]. В работе [1] и в

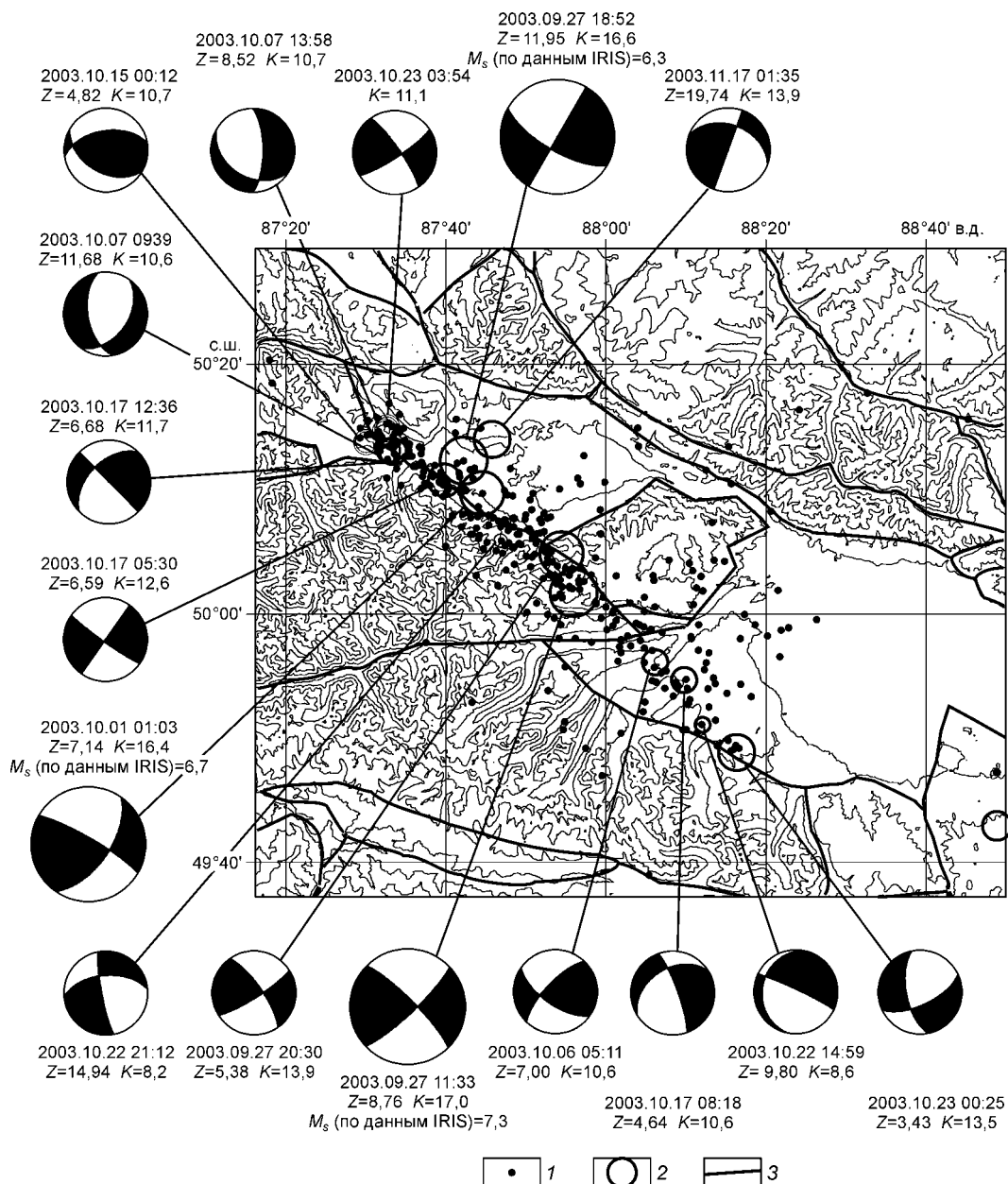


Рис. 1. Карта эпицентров афтершоков Чуйского землетрясения и фокальные механизмы.

Положение эпицентров определялось с использованием скоростной модели. 1 — эпицентры афтершоков; 2 — события, для которых построены фокальные механизмы (указаны год, месяц, число, часы: мин; Z — глубина, км, K — класс землетрясения); 3 — разломы.

данной статье приведены одни и те же данные, обработанные разными методами. Результаты, представленные на рис. 1 в данной статье, имеют отличия от аналогичной карты в работе [1] в сторону уточнения и детализации информации о структурных особенностях афтершокового процесса.

В целом наблюдается заметное смещение части эпицентров (см. рис. 1), но общие закономерности, отмеченные в работах [1, 6], подтверждаются. Как уже отмечено [1, 6] в развитии афтершокового процесса выделяются две фазы: первая связана с сейсмическим процессом вокруг Чаган-Узунского блока, она активно протекала в первые дни после главного толчка; вторая — это формирование линейной зоны афтершоков вдоль юго-западной границы Курайской и Чуйской впадин.

Представление о существовании двух фаз в развитии афтершокового процесса, уточняя детали подтверждает рис. 1. В результате переобработки заметно уточнены координаты наиболее крупных афтершоков. Два наиболее крупных афтершока Чуйского землетрясения обоснованно нашли своё место на границе Курайской впадины с Северо-Чуйским хребтом, как раз там, где наиболее интенсивно

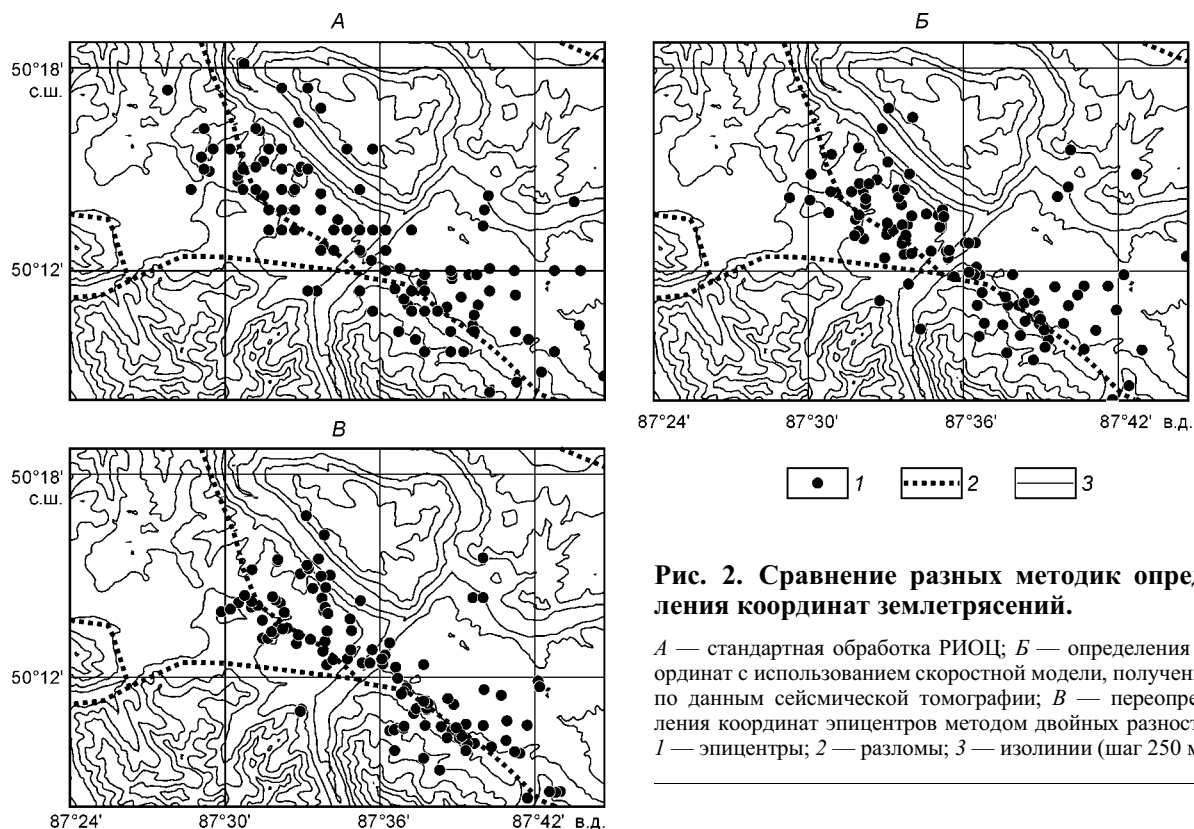


Рис. 2. Сравнение разных методик определения координат землетрясений.

A — стандартная обработка РИОЦ; *Б* — определения координат с использованием скоростной модели, полученной по данным сейсмической томографии; *В* — переопределения координат эпицентров методом двойных разностей. 1 — эпицентры; 2 — разломы; 3 — изолинии (шаг 250 м).

развивается вторая фаза афтершокового процесса. Одно из рассматриваемых событий относилось ранее к Южно-Чуйскому хребту [1], где оно выглядело одиноко вне слабой сейсмичности.

Если в работе [1] мы видели хаотическую линейную зону афтершоков, то мы получили линейную зону с наблюдающейся структурной организацией афтершоков (см. рис. 1). Северо-западное окончание области афтершоков приняло вид осложнённого оперениями расширения. В центральной части Курайской впадины часть афтершоков формируют ответвление, уходящее от линейной зоны внутрь впадины. В юго-западном углу Курайской впадины мы видим две параллельные друг другу искривлённые цепочки землетрясений. Весьма интересна картина на северо-западном фланге Чуйской впадины. Здесь граница впадины смещена относительно зоны афтершоков. Сейсмический процесс приурочен к впадине. Мы наблюдаем серию цепочек землетрясений, свидетельствующих о протекании процесса „разламывания“ северо-западного угла Чуйской впадины.

Для сравнения мы показали (рис. 2, *A*) положение эпицентров, которые определялись стандартной методикой, и (см. рис. 2, *Б*) положение эпицентров, полученных с использованием скоростной модели. Хорошо видно, как переопределенные события группируются в некоторую структуру, тогда как начальные определения представляют собой линейно вытянутое облако.

ПЕРЕОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИПОЦЕНТРАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ МЕТОДОМ ДВОЙНЫХ РАЗНОСТЕЙ

Мы выполнили переопределения положения афтершоков методом двойных разностей [7—9]. Идея этого метода состоит в предположении, что сейсмические волны от близко расположенных источников проходят до регистрирующей станции примерно по одному пути. Таким образом, разность времен пробега волны от двух близких событий обуславливается разностью положения гипоцентров этих событий. Используя большое количество совместных наблюдений пар землетрясений, метод двойных разностей переопределяет взаимное положение этих событий. При этом такой параметр, как время пробега волны от эпицентра до станции, который обычно вносит большую погрешность в решение из-за несоответствия модели, практически сокращается.

В вычислениях участвовали только те землетрясения, которые имеют достаточное количество совместных наблюдений с соседними событиями, т. е. не менее 8 совместных наблюдений у каждой пары событий, находящихся в пределах 10 км. Таким образом, переопределялось взаимное положение двухсот землетрясений. Из-за этого ограничения в обработку не попали афтершоки начала активизации, находящиеся вокруг Чаган-Узунского блока. Для переопределения использовались только данные каталога событий и времен вступлений, кросскорреляционные разности времен пробега сейсмических волн не использовались.

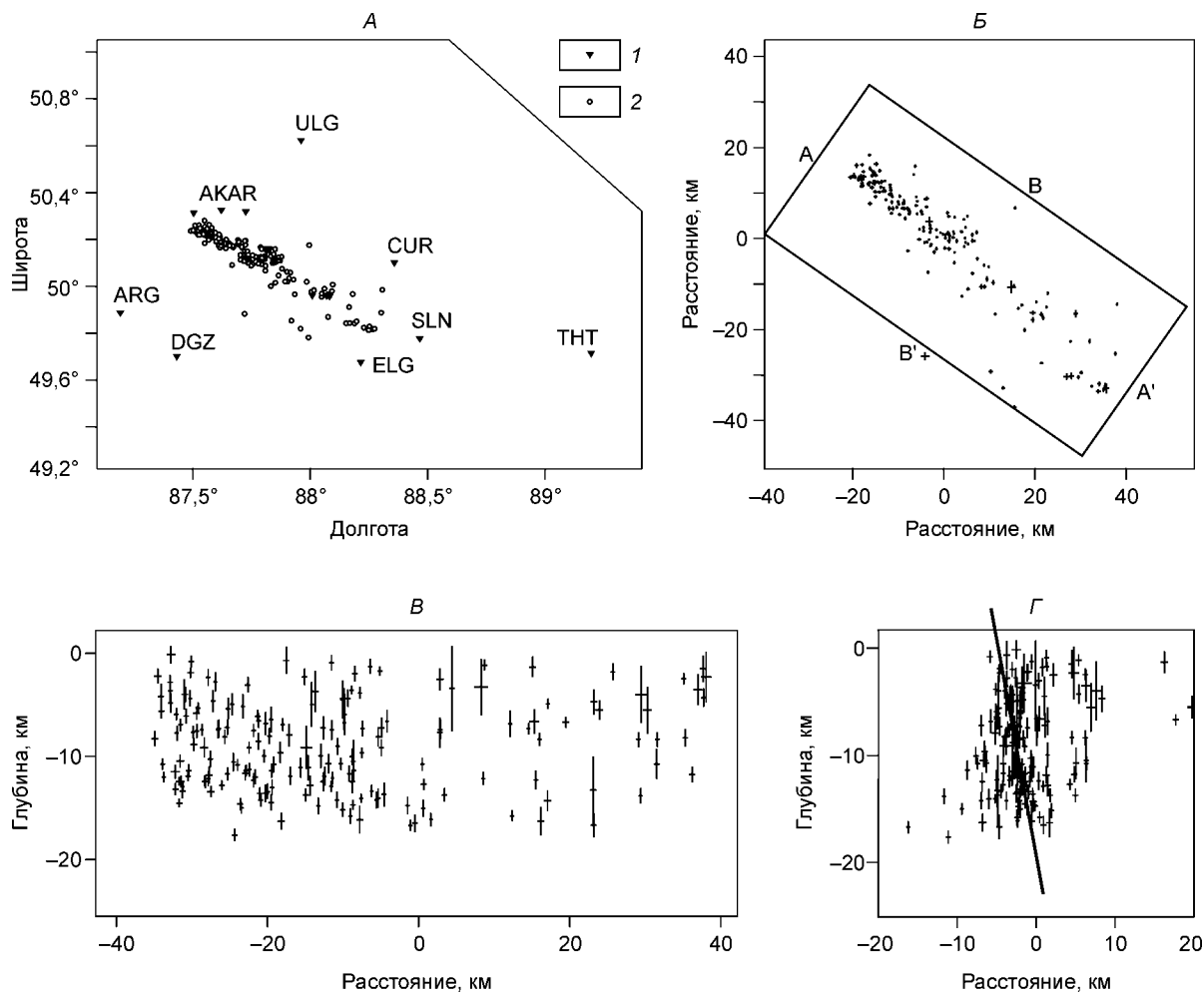


Рис. 3. Переопределения методом двойных разностей.

A — карта станций и эпицентров: 1 — станция и её код, 2 — эпицентры землетрясений. Переопределенные события: *B* — вид сверху, *B'* — вертикальная проекция *A—A'* (вид вдоль главного разлома); *Г* — вертикальная проекция *B—B'* (вид поперек главного разлома, линией показан возможный наклон). Крестиками показаны положения гипоцентров и ошибка определения.

На рис. 3 представлены переопределения методом двойных разностей: *A* — карта с ближайшими станциями, *B* — карта переопределения с горизонтальными погрешностями, *B* и *Г* — две горизонтальные проекции с погрешностями определений.

Метод двойных разностей дает очень точное относительное решение, т. е. после переопределения взаимные положения событий устанавливаются очень точно, тогда как весь переопределяемый кластер может сдвинуться в сторону. Для того чтобы сделать привязку, мы сравнили полученные данной методикой положения эпицентров с положениями, построенными HYPOINVERSE-2000 (с использованием скоростной модели). На рис. 2 представлены определения эпицентров на северо-западном фланге активизации, выполненные тремя разными методиками: стандартной методикой, методикой с использованием скоростной модели, полученной по данным сейсмической томографии, и методом двойных разностей. На этой иллюстрации видно, как начинают вырисовываться линейные структуры.

Итак, полученные методом двойных разностей положения эпицентров выстраиваются в систему линий (см. рис. 3), причем эта линейность согласуется с рельефом и геологическими представлениями. На другом масштабе (см. рис. 3, *A*) очень хорошо видна S-образная зона, которая огибает Северо-Чуйский хребет и загибается вдоль Чаган-Узунского блока.

Линейные структуры также хорошо видны и на вертикальных проекциях. Линии (см. рис. 3, *Г*), вдоль которых группируются переопределенные события, вероятно, являются плоскостями разломов, вдоль которых происходят подвижки.

Таблица 2. Параметры гипоцентральных решений и фокальных механизмов крупнейших событий активизации

Дата	Время, ч. мин.с	Широта	Долгота	Глубина, км	К	Число набл.	Плоскость 1			Плоскость 2			Ось сжатия (P)		Ось растяжения (T)	
							Прости- рание	Падение	Подвижка	Прости- рание	Падение	Подвижка	Азимут	Угол погружения	Азимут	Угол погружения
27.09.2003	11.33:24,08	50,027	87,932	8,76	17,0	27	315	80	170	47	80	10	181	0	271	14
27.09.2003	18.52:51,07	50,204	87,703	11,95	16,6	28	120	70	-180	30	90	-20	343	14	77	14
27.09.2003	20.30:25,40	50,080	87,906	5,38	13,0	16	325	75	170	58	80	15	191	4	282	18
01.10.2003	01.03:26,00	50,160	87,741	7,14	16,4	34	35	60	10	300	81	150	351	14	253	27
06.10.2003	05.11:26,14	49,935	88,102	7,00	10,6	15	125	65	160	224	72	26	353	5	86	31
07.10.2003	09.39:55,61	50,218	87,546	11,62	10,6	15	170	55	-120	35	45	-54	23	65	281	6
07.10.2003	13.58:55,51	50,249	87,543	8,52	10,7	17	0	70	-60	121	36	-144	308	55	68	19
15.10.2003	00.12:03,88	50,229	87,500	4,82	10,7	15	120	45	120	261	52	63	9	4	109	69
17.10.2003	05.30:21,42	50,178	87,663	6,59	12,6	20	125	85	-180	35	90	-5	350	4	80	4
17.10.2003	08.18:47,09	49,911	88,162	4,64	10,6	15	340	80	-130	238	41	-15	213	41	100	24
17.10.2003	12.36:23,49	50,216	87,555	6,68	11,7	17	315	90	-140	225	50	0	188	27	82	27
22.10.2003	14.59:11,59	49,851	88,201	9,80	8,6	12	295	85	-110	192	21	-14	184	46	43	37
22.10.2003	21.12:54,90	50,098	87,780	14,82	8,2	16	170	85	-40	264	50	-173	121	30	222	18
23.10.2003	00.25:46,35	49,814	88,271	3,43	13,5	19	65	65	-30	169	63	-152	26	38	117	1
23.10.2003	03.54:26,45	50,243	87,539	11,1	11,1	19	325	80	170	57	80	10	191	0	281	14
17.11.2003	01.35:47,15	50,232	87,762	19,74	13,9	24	20	90	50	290	40	180	143	33	257	33

Примечание. К — энергетический класс землетрясения.

При рассмотрении полученных положений гипоцентров следует учитывать, что представленная выборка не является полной и в дальнейшем последующая обработка проявит и другие детали протекания афтершокового процесса, которые не могут быть замечены сейчас. Тем не менее по полученным построениям можно сделать вывод о существовании наклона в активизированной разломной зоне в сторону от Курайской впадины под Северо-Чуйский хребет. Глубины гипоцентров не достигают 20 км и охватывают всю верхнюю часть земной коры. На вертикальной проекции А—А' можно отметить некоторое закономерное изменение глубин афтершоков. Северо-западному окончанию афтершоковой области соответствует плотное заполнение эпицентрами интервала глубин от единиц до 15 км.

ФОКАЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Фокальные механизмы были рассчитаны для наиболее крупных событий данной активизации. Гипоцентральные решения и углы выхода рассчитывались пакетом HYPOINVERSE-2000 [4] как описано выше. Затем построение фокальных механизмов выполнялось пакетом программ FPFIT [10] по знакам первых вступлений. Для каждого события в расчетах участвовали от 15 до 34 наблюдений полярности первых вступлений на станциях Алтае-Саянской сети, в некоторых случаях дополнительно использовались волновые формы станций IRIS и сейсмологической сети Монголии.

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 нодальную плоскость за решение плоскости разлома. Решение приводится в виде параметров плоскости разлома (угол простирания, падения и подвижки) и положения осей главных напряжений (азимут и угол наклона). В табл. 2 приведены эпицентральные решения и параметры фокальных механизмов.

Определение механизма главного толчка проводилось по 27 наблюдениям первых вступлений на различ-

Таблица 3. **Параметры фокального механизма главного толчка Чуйского землетрясения (по данным различных шельфов)**

Оси главных напряжений				Нодальные плоскости						Центр
<i>T</i>		<i>P</i>		NP1			NP2			
<i>P</i> 1	<i>Az</i>	<i>P</i> 1	<i>Az</i>	<i>Stk</i>	<i>Dp</i>	<i>Slip</i>	<i>Stk</i>	<i>Dp</i>	<i>Slip</i>	
14	271	0	181	47	80	10	315	80	170	АСФ ГС СО РАН
13	275	10	8	52	74	2	321	88	164	ИОЦ ГС РАН
10	262	18	356	38	70	-5	130	85	-160	NEIC
32	92	11	355	227	76	32	129	59	164	HARVARD

Примечание. *P*1 — угол погружения; *Az* — азимут; *Stk* — простираие; *Dp* — падение; *Slip* — подвижка; *T* — ось растяжения; *P* — ось сжатия. АСФ ГС СО РАН — Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН; ИОЦ ГС РАН — Информационно-обрабатывающий центр Геофизической службы РАН; NEIC — Национальный центр информации о землетрясениях Геологической службы США; HARVARD — Гарвардский центр (США).

ных станциях, ближайшая из которых находилась в 30 км от эпицентра. Три станции располагались в пределах 100 км от эпицентра. Погрешность положения плоскости разлома составила 3° для углов падения и подвижки, 5° для угла простираия. В табл. 3 приведены расчеты механизма главного толчка, полученные в разных центрах и различными методами [2]. Наше решение (АСФ ГС СО РАН) лучшим образом согласуется с решением ИОЦ ГС РАН. При этом следует отметить, что полученный нами расчет элементов механизма главного толчка строился большей частью по данным близких станций, тогда как все остальные были построены по данным удаленных, телесейсмических станций. Различие между этими результатами превышает точность наших измерений, мы считаем, что проведенное исследование уточняет данные, опубликованные в работе [2].

На рис. 1 представлены проекции нижних полусфер фокальных механизмов, построенных для отдельных событий. Для наглядности эпицентры этих землетрясений обозначены кружками в зависимости от энергетического класса, эпицентры других событий — точками. Фокальные механизмы выделены для главного толчка и двух крупнейших афтершоков. Для них помимо энергетического класса, посчитанного АСФ ГС СО РАН, приведены магнитуды по данным IRIS.

Видно, что по линии главного разлома вдоль Северо-Чуйского хребта фокальные механизмы показывают почти четко горизонтальный правосторонний сдвиг. Такой характер смещения для этого разлома подтверждается и геологическими данными. На обоих концах (юго-восточном и северо-западном) активизации механизмы изменяются и существенной становится вертикальная составляющая сдвига. Сбросовые и взбросовые фокальные механизмы свидетельствуют об ослаблении напряжений и проявлении мелкой блоковой структуры. На северо-западном окончании активизации отмеченные изменения механизмов, скорее всего, связаны со структурами оперяющих разломов типа конского хвоста, характерных для окончаний сдвиговых зон, это также подтверждается данными переопределения положений гипоцентров методом двойных разностей.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. На основе использования близких станций уточнены параметры плоскости разрыва для главного толчка Чуйского землетрясения.

2. По решениям фокальных механизмов для наиболее крупных афтершоков показано, что для линейной зоны афтершоков вдоль западной границы Чуйской и Курайской впадин характерным является горизонтальный сдвиг. По краям линейной зоны наблюдается смена механизма очага и значительной становится вертикальная составляющая сдвига.

3. Применение скоростной модели для определения координат гипоцентров и метода двойных разностей уточнило структуру афтершокового процесса. Землетрясения выстроились в систему линий, которая отражает особенности сеймотектонического процесса. Обнаружено формирование структуры оперяющих разломов типа конского хвоста в северо-западном окончании афтершоковой серии. Юго-восточное окончание афтершоковой области сформировалось как область „разламывания“ северо-западного окончания Чуйской впадины.

На основании результатов можно сделать следующие выводы.

Главное событие произошло между Северо-Чуйским хребтом и Чаган-Узунским блоком. В первый день после начала активизации сейсмичность группировалась вокруг Чаган-Узунского блока [6]. Можно предположить, что в это время происходил проворот этого блока, зажатого между Северо-Чуйским и Курайским хребтами. Проворачиваясь, Чаган-Узунский блок одним краем надвигается на Курайскую

впадину. На рис. 1 видно, что внутри Курайской впадины вдоль Чаган-Узунского блока образуется небольшая линейная структура.

В последующие дни наступает вторая фаза развития афтершокового процесса [1, 6]. В основном она приурочена к линейной зоне, уходящей от главного события в разные стороны: в одну — по границе Курайской впадины с Северо-Чуйским хребтом и в другую — отсекая северо-западный угол Чуйской впадины. Для центральной части линейной зоны, охватывающей границу Чаган-Узунского блока с Северо-Чуйским хребтом и большую часть области сочленения Курайской впадины с Северо-Чуйским хребтом, фокальные механизмы крупнейших афтершоков одинаковы и соответствуют горизонтальному сдвигу. На северо-западном окончании зоны сейсмической активизации проходит граница трех блоков; активизированный разлом между Курайской впадиной и Северо-Чуйским горным массивом изгибается на север. Здесь начинает проявляться уже мелкая блоковая структура, которая хорошо видна в серии линейных зон на рис. 2, В. Именно в этой зоне наблюдается изменение фокальных механизмов. Горизонтальный сдвиг вдоль магистральной зоны вырождается в серию расходящихся кулис с преимущественно вертикальными сдвигами.

На юго-восточном окончании линейной зоны афтершоков в Чуйской впадине также наблюдается смена чисто горизонтального сдвига на вертикальный.

Работа выполнена при поддержке ОИГГМ СО РАН (проекты ВМТК № 1734, № 1739), Президиума СО РАН (интеграционный проект № 73) и программы Президиума РАН № 13.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гольдин С.В., Селезнёв В.С., Еманов А.Ф. и др.** Чуйское землетрясение 2003 года ($M = 7,5$) // Вестник отделения наук о Земле РАН (Электронный научно-информационный журнал), 2003, № 1(21). URL: [hyperlink http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dggms/1-2003/screp-7.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dggms/1-2003/screp-7.pdf)
2. **Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Габсатарова И.П.** Параметры землетрясения 27 сентября 2003 года на Алтае по инструментальным данным // Там же, screp-6.pdf
3. **Еманов А.Ф., Колесников Ю.И., Селезнев В.С. и др.** Алтайский сейсмологический полигон: начальный этап становления и первые результаты // Проблемы сейсмологии III тысячелетия (Материалы междунар. геофиз. конф., г. Новосибирск, 15—19 сентября 2003 г.). Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2003, с. 138—144.
4. **Klein F.W.** User's Guide to HYPOINVERSE-2000, a Fortran Program to Solve for Earthquake Locations and Magnitudes // U.S. Geol. Surv., 2002, Open-File Rep. 02-171, version 1.0.
5. **Соловьев В.М., Селезнев В.С., Дучков А.Д., Лисейкин А.В.** Деформационно-прочностное районирование земной коры Алтае-Саянской складчатой области // Проблемы сейсмологии III тысячелетия (Материалы междунар. геофиз. конф., г. Новосибирск, 15—19 сентября 2003 г.). Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2003, с. 332—337.
6. **Гольдин С.В., Селезнёв В.С., Еманов А.Ф. и др.** Чуйское землетрясение и его афтершоки // Докл. РАН, 2004, т. 395, № 4, с. 534—537.
7. **Waldhauser F., and Ellsworth W.L.** A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the Hayward Fault, California // Bull. Seism. Soc. Amer., 2000, v. 90, p. 1353—1368.
8. **Waldhauser F., and Ellsworth W.L.** Fault structure and mechanics of the Hayward Fault, California, from double-difference earthquake locations // J. Geophys. Res., 2001, v. 107, № B3, ESE 3-1—3-15.
9. **Waldhauser F.** HypoDD: a computer program to compute double-difference hypocenter locations // U.S. Geol. Surv., 2001, Open-File Rep. 01-113, 25 p.
10. **Reasenberг P.A., and Oppenheimer D.** FPFIT, FPLOT, and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions // U.S. Geol. Surv., 1985, Open-File Rep. 85-739.

*Рекомендована к печати
2 февраля 2005 г. С.В. Гольдиным*

*Поступила в редакцию 29 июня 2004 г.,
после доработки — 23 декабря 2004 г.*