

## Наблюдения временными сетями

### Алтайский сейсмологический полигон

*А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, Е.В. Лескова, А.В. Фатеев*

Алтае-Саянский филиал ГС СО РАН, г. Новосибирск

Алтайский сейсмологический полигон был создан в 2002 г., когда вместо трех сейсмических станций в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая было создано 12 стационарных станций [1], а летом 2003 г. число станций было увеличено до 15 [2]. Чуйско-Курайская зона за период около полувековых наблюдений региональной сетью отличалась повышенным количеством слабых и полным отсутствием крупных землетрясений [3]. В период создания сети станций полигона задачи исследований были ориентированы на изучение закономерностей сейсмического процесса на уровне землетрясений малых энергий. Однако палеосейсмологические данные указывали на возможность крупных землетрясений в районе Алтайского сейсмологического полигона [4]. Формирование стационарной сети станций с первого же года дополнялось экспериментами с временными станциями, разворачиваемыми в Чуйско-Курайской зоне преимущественно в летний период [1, 3, 5–7]. Чуйское землетрясение, произошедшее 27 сентября 2003 г. в центре сети станций Алтайского полигона, и последовавший афтершоковый процесс на многие годы определили направленность исследований в этом районе. Следует отметить, что блоковая структура Чуйско-Курайской зоны изначально вызывала интерес для изучения сейсмического процесса в ней [3]. Чуйское землетрясение сильно активизировало сейсмический процесс в рассматриваемой блоковой структуре. При высокой активности за относительно короткое время (чуть больше десятилетия) удалось получить экспериментальный материал, имеющий большое значение для физики очага.

В начальный период экспериментальные работы с временными сетями станций выполнялись двумя коллективами [5, 8–10]. Дальнейшие исследования полностью выполнялись коллективом Алтае-Саянского филиала (АСФ) ГС СО РАН. Чуйское землетрясение кардинально изменило пространственно-временные особенности сейсмического режима территории. Сейсмическая активность Курайского хребта ослабла в значительной степени, а линейная область афтершоков прошла по ранее сейсмически малоактивным участкам зоны. В предыдущие годы решались следующие задачи: изучение скоростной модели афтершоковой области [11]; напряженное состояние земной коры по данным о механизмах очагов афтершоков [10, 12]; выполнено экспериментальное обоснование иерархической модели напряженного состояния и изучались ее свойства [13, 14]; изучены взаимосвязи тектонической структуры активизированной области с афтершоковым процессом [5, 15].

Сейсмическая активизация, вызванная Чуйским землетрясением, до настоящего времени не завершена, но в то же время детальный эксперимент позволяет наблюдать за пространственно-временными изменениями структуры сейсмичности Горного Алтая. Кроме пространственных изменений в афтершоковом процессе наблюдаются смежные активизации [1] вблизи от афтершокового процесса. В 2013 г. произошло Южно-Чуйское землетрясение с  $ML=6$ , сформировавшее свой афтершоковый процесс в одноименном хребте [16]. Еще более активна локальная зона в Айгулакском хребте. В последние годы именно эти активизации обеспечивают наибольшую суммарную сейсмическую энергию за год в Чуйско-Курайской зоне [16].

Целью исследования на Алтайском сейсмологическом полигоне стали закономерности сейсмического процесса блоковых структур в условиях сжатия. Прежде всего решаются задачи о релаксации напряженного состояния во времени после крупного землетрясения, изучается возникновение и развитие новых сейсмических активизаций, ведется мониторинг параметров сейсмического режима на локальном уровне, осуществляется исследование взаимосвязей фоновой сейсмичности с крупными землетрясениями, выполняется мониторинг скоростного строения. Временные сети станций позволяют ориентировать систему наблюдений на протекающий сейсмический процесс и поставленные задачи.

В 2014 г. были продолжены мониторинговые наблюдения с сетями временных сейсмических станций на Алтайском сейсмологическом полигоне в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая. Помимо станций стационарной сети в Алтае-Саянской горной области в 2014 г. на период с 12 августа по 23 октября дополнительно выставлялись 18 сейсмостанций, оборудованных короткопериодными (СК-1П) и широкополосными (фирмы GURALP и производства Центра молекулярной электроники) датчиками (табл. III.3).

**Таблица III.3. Сведения о сейсмических станциях временной локальной сети АСФ ГС СО РАН на Алтайском сейсмологическом полигоне в 2014 г.**

Код станции	Координаты и высота над уровнем моря			Оборудование		Период работы в 2014 г.	
	φ, °N	λ, °E	h, м	сейсмометр	регистратор	начало	конец
ADJT	50.173	88.074	1660	СК-1П	Байкал АС-75	18.08	14.10
AKOL	49.900	87.968	2327	СМГ-6Т	Байкал 8.1	14.08	18.10
ATRU	50.078	87.776	2163	СК-1П	Байкал АС-75	17.08	14.10
CB06	50.378	87.245	1142	СМЕ-4111	Байкал АС-75	12.08	16.10
CB08	50.225	87.640	1906	СМГ-6Т	Байкал 8.1	17.08	14.10
CB15	50.482	87.494	1814	СМЕ6211	Байкал 8.1	16.08	16.10
CC02	50.181	87.838	1622	СМГ-6Т	Байкал 8.1	17.08	14.10
CC03	49.995	88.062	2240	СМГ-6Т	Байкал 8.1	14.08	18.10
CC06	49.798	88.177	2400	СК-1П	Байкал АС-75	13.08	19.10
CC07	49.864	88.332	2103	СК-1П	Байкал АС-75	13.08	19.10
CF00	50.550	87.386	1884	СМГ-6Т	Байкал 8.1	16.08	17.10
CF01	50.517	87.351	2183	СМГ-6Т	Байкал 8.1	16.08	23.10
CF09	49.649	87.924	1997	СМЕ-4011	Байкал АС-75	13.08	19.10
CG01	49.999	87.963	2333	СМЕ-4111	Байкал АС-75	14.08	18.10
KZYZ	50.088	87.954	2045	СК-1П	Байкал АС-75	18.08	15.10
M23	50.318	87.725	2227	СК-1П	Байкал АС-75	12.08	15.10
RKUR	50.281	87.949	1803	СК-1П	Байкал АС-75	14.08	15.10
TYTO	50.120	87.922	1769	СМГ-6Т	Байкал 8.1	18.08	15.10

Обработка данных временной сети, так же как и региональной, проводилась в системе SeisComP3 [17]. За период 8 августа – 17 октября локальной сетью станций было зарегистрировано 3009 землетрясений в диапазоне магнитуд  $M_L$  от  $-0.9$  до  $3.7$ , распределение их количества в зависимости от магнитуды представлено в табл. III.4. График повторяемости по данным табл. III.4 представлен на рис. III.13.

**Таблица III.4. Количество зарегистрированных землетрясений в Чуйско-Курайской зоне в период работы временной сети в 2014 г. в зависимости от их магнитуды**

$M_L$	-1.0	-0.5	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	Всего
Число землетрясений	6	591	1203	461	529	164	41	9	3	2	3009

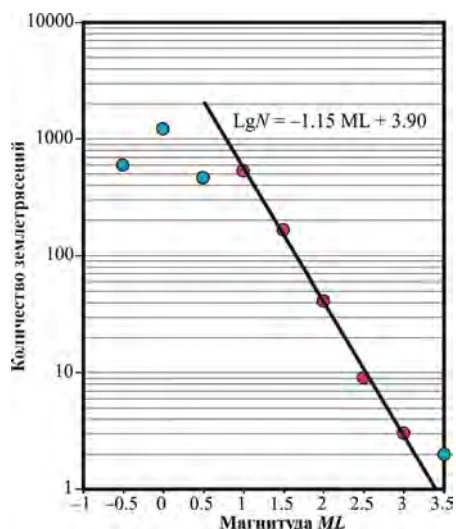


Рис. III.13. Кумулятивный график повторяемости землетрясений, зарегистрированных в Чуйско-Курайской зоне в период работы локальной сети станций в 2014 г.

На графике повторяемости видно, что регистрация событий за время работы локальной сети представительна с  $ML \geq 1$  (рис. III.13). Угол наклона графика повторяемости составляет  $|b|=1.1$ , что выше такого же показателя для региона в целом ( $|b_{\text{регион}}| \sim 0.8$ ).

Каталог сейсмических событий Чуйско-Курайской зоны за 2014 г. [18] содержит данные 223 землетрясений с  $ML=1.3-3.7$ . В печатном варианте каталога [19] показаны параметры 95 землетрясений с  $ML \geq 1.6$ .

Положение сейсмических станций и эпицентров землетрясений в Чуйско-Курайской зоне за период работы локальной сети представлено на рис. III.14.

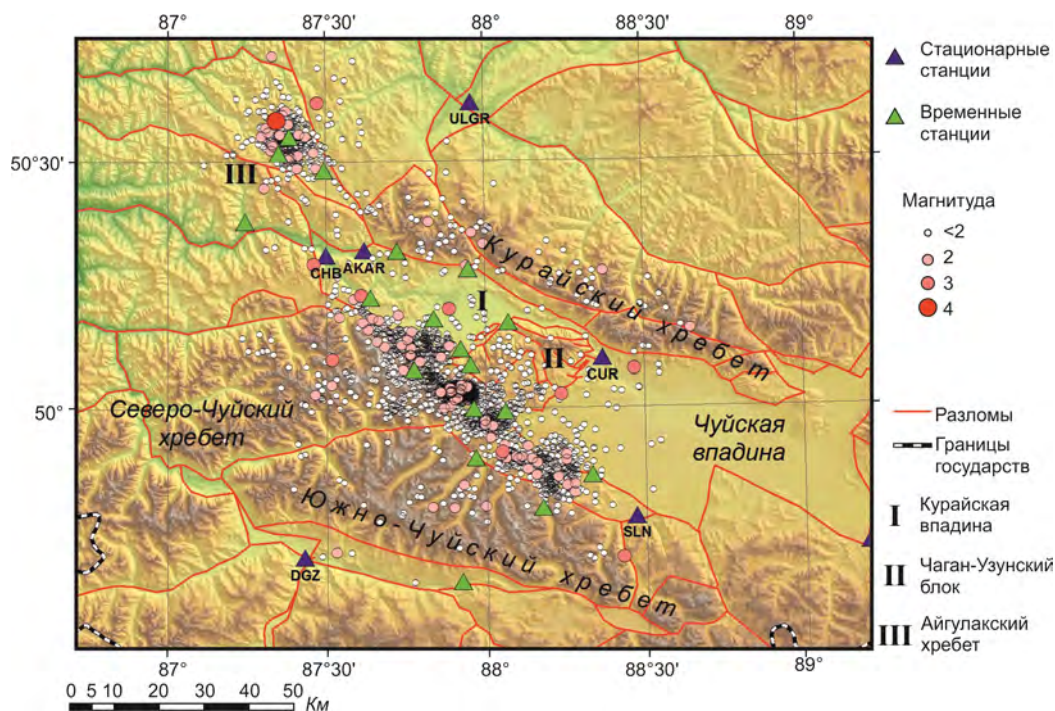
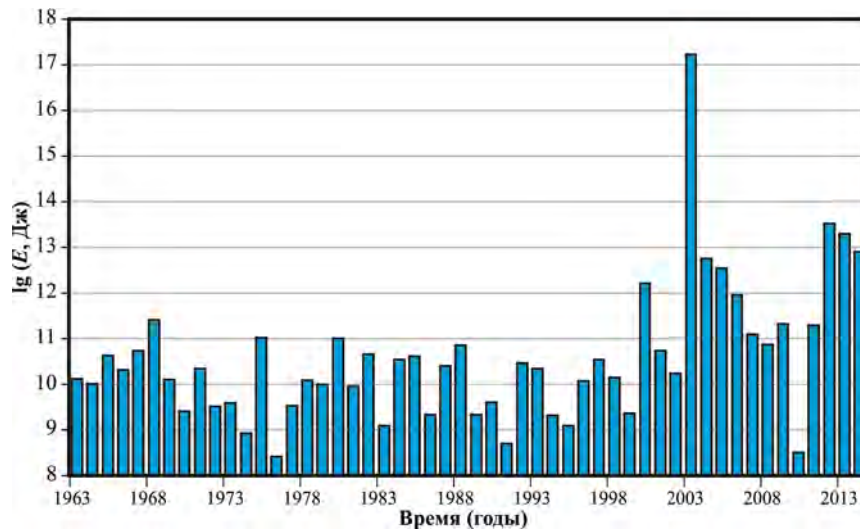


Рис. III.14. Сейсмические станции и эпицентры землетрясений в Чуйско-Курайской зоне в 2014 г.

Как можно видеть из рис. III.14, землетрясения охватывают в основном горные структуры: Северо-Чуйский, Южно-Чуйский и Айгулакский хребты, менее интенсивный сейсмический процесс отмечается в Курайском хребте и Чаган-Узунском блоке. Соответственно, временные сейсмические станции устанавливались таким образом, чтобы дополнять существующую сеть стационарных станций при наблюдении в районе активизированной области Чуйского землетрясения, а также несколько станций были вынесены в район активизации на Айгулакском хребте.

Самое сильное землетрясение за период работы временной сети зарегистрировано 27 сентября в  $13^{\text{h}}43^{\text{m}}$  с  $ML=3.7$ . Его эпицентр находился в Айгулакском хребте. Самое же сильное землетрясение в 2014 г. в рассматриваемой зоне имело магнитуду  $ML=5.7$  [17]. Таким образом, суммарная выделившаяся энергия в Чуйско-Курайской зоне в 2014 г. ниже, чем в предыдущие два года (2012–2013 гг.) и в 2003 г. (когда произошло Чуйское землетрясение [7]), но выше, чем в другие годы (рис. III.15).



**Рис. III.15. Диаграмма выделившейся сейсмической энергии в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая за период инструментальных наблюдений 1963–2014 гг.**

Сейсмический процесс в 2014 г. наиболее энергетически выражен в Айгулакском хребте. Данная активизация не является афтершоковым процессом Чуйского землетрясения. Этот сейсмический процесс интерпретируется нами как смежная активизация, возникшая в период релаксации напряженного состояния после Чуйского землетрясения. Следует отметить, что именно в этой зоне до Чуйского землетрясения возникала время от времени роевая сейсмичность. После Чуйского землетрясения в течение пяти лет Айгулакский хребет был практически асейсмичен, и по мере ослабления афтершокового процесса Чуйского землетрясения сейсмическая активность локальной области Айгулакского хребта стала доминирующей в сейсмическом процессе Чуйско-Курайской зоны.

Высокоточные данные по эпицентрии афтершоков позволяют видеть устойчивую во времени структурируемость процесса по элементам структуры выделенных ранее [5]. Фиксируется пространственное развитие сейсмической активности во внутренних областях Северо-Чуйского и Южно-Чуйского хребтов.

## Литература

1. Еманов А.А., Лескова Е.В., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Колесников Ю.И. Формирование смежных активизаций около эпицентральной области Чуйского землетрясения 27.09.2003 ( $M_s=7.3$ , Горный Алтай) // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 2, № 3. – С. 67–72.
2. Еманов А.Ф., Колесников Ю.И., Еманов А.А., Филина А.Г., Подкорытова В.Г., Фатеев А.В., Ярыгина М.А. Изучение землетрясений малых энергий на локальной сети Алтайского сейсмологического полигона. Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы // Труды Всероссийского совещания. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2003. – С. 324–326.
3. Еманов А.Ф., Колесников Ю.И., Селезнев В.С., Еманов А.А., Филина А.Г., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г., Болдырев М.А., Кабанник А.В., Корабельщиков Д.Г., Лескова Е.В., Янкайтис В.В., Ярыгина М.А. Алтайский сейсмологический полигон: начальный этап становления и первые результаты // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. Материалы Международной геофизической конференции. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – С. 138–144.

4. Рогожин Е.А., Платонова С.Г. Очаговые зоны сильных землетрясений Горного Алтая в голоцене. – М.: ОИФЗ РАН, 2002. – 130 с.
5. Еманов А.А., Лескова Е.В., Еманов А.Ф., Фатеев А.В. Элементы структуры и фазы развития афтершокового процесса Чуйского землетрясения // Физическая мезомеханика. – 2009. – Т. 12, № 1. – С. 29–36.
6. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Фатеев А.В., Сёмин А.Ю. Результаты детального сейсмического мониторинга локальных зон и объектов. Сейсмический мониторинг в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения (Алтай) // Землетрясения России в 2005 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 53–60.
7. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Фатеев А.В., Филина А.Г. Чуйское землетрясение 27 сентября 2003 года с  $MS=7.3$ ,  $K_p=17$  (Горный Алтай) // Землетрясения Северной Евразии в 2003 году. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 326–343.
8. Арефьев С.С., Аптекман Ж.Я., Быкова В.В., Матвеев И.В., Михин А.Г., Молотков С.Г., Плетнёв К.Г., Погребченко В.В. Очаги и афтершоки Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 года // Физика Земли. – 2006. – № 2. – С. 85–96.
9. Гольдин С.В., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Филина А.Г., Еманов А.А., Новиков И.С., Высоцкий Е.М., Фатеев А.В., Колесников Ю.И., Подкорытова В.Г., Лескова Е.В., Ярыгина М.А. Чуйское землетрясение и его афтершоки // Доклады Академии наук. – 2004. – Т. 395, № 4. – С. 534–536.
10. Омар Х.М., Арефьев С.С., Ребецкий Ю.Л. Механизмы афтершоков 2004–2005 гг. и напряженное состояние очаговой области Алтайского землетрясения 2003 года // Геофизические исследования. – 2012. – Т. 13, № 3. – С. 56–73.
11. Еманов А.А., Лескова Е.В. Особенности строения эпицентральной зоны Чуйского (Горный Алтай) землетрясения по данным сейсмической томографии с двойными разностями // Активный геофизический мониторинг литосферы Земли: Материалы Второго Международного симпозиума 12–16 сентября 2005 года. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – С. 45–50.
12. Лескова Е.В., Еманов А.А. Характер деформаций в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения (27 сентября 2003 г.,  $K=17$ , Горный Алтай) по данным анализа фокальных механизмов афтершоков // Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9, № 1. – С. 51–55.
13. 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. – С. 87–95.
14. Лескова Е.В., Еманов А.А. Некоторые свойства иерархической модели напряженного состояния эпицентральной области Чуйского землетрясения 2003 года // Физика Земли. – 2014. – № 3. – С. 92–102.
15. Новиков И.С., Еманов А.А., Лескова Е.В., Баталев В.Ю., Рыбин А.К., Баталева Е.А. Система новейших разрывных нарушений Юго-Восточного Алтая // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 11. – С. 1139–1149.
16. Еманов А.А., Лескова Е.В., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Колесников Ю.И. Результаты детального сейсмического мониторинга. Эпицентральная область Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. с  $M=7.3$ . Наблюдения 2012–2013 гг. // Землетрясения России в 2013 году. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 99–102.
17. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Подкорытова В.Г., Дураченко А.А., Корабельщиков Д.Г., Чурашев С.А., Гончаров В.Н., Фатеев А.В. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Алтай и Саяны // Землетрясения России в 2014 году. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 30–36.
18. Part\_IV-2014. 15\_Chui-Kurai-area\_2014.xls // Землетрясения России в 2014 году. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – Приложение на CD-ROM.
19. Лескова Е.В. (отв. сост.), Денисенко Г.А., Манушина О.А., Подлипская Л.А., Подкорытова В.Г., Шаталова А.О., Шевелёва С.С. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Чуйско-Курайская зона (Алтайский сейсмологический полигон) // Землетрясения России в 2014 году. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 167.