

Наблюдения временными сетями

Айгулакское землетрясение 13.09.2019 г. с $M=4.7$ и его афтершоки в структуре сейсмичности Чуйско-Курайской зоны Горного Алтая

¹А.Ф. Еманов, ^{1,2}А.А. Еманов, ^{1,2}А.В. Фатеев, ¹Е.В. Шевкунова, ¹Е.А. Гладышев, ¹И.А. Антонов

¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск; ²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Алтайский сейсмологический полигон [1, 2], созданный в 2002 г. еще до Чуйского землетрясения 2003 г., является, во-первых, участком Горного Алтая с более плотной сетью стационарных сейсмологических станций и, во-вторых, районом ежегодного разворачивания сети временных станций в этом районе.

Чуйско-Курайская зона Горного Алтая имеет ярко выраженное блоковое строение, и для нее характерна сложная структура разломов, протягивающаяся из Монгольского Алтая [3–5]. Уже по результатам первых исследований была обнаружена существенная зависимость структуры афтершоков Чуйского землетрясения от блокового строения [6–9]. Наличие относительно небольших и контрастных по рельефу и геологическому строению блоков в Горном Алтае является важным аспектом в сейсмологических исследованиях на Алтайском сейсмологическом полигоне. Сейсмогеологические исследования деформаций поверхности после Чуйского землетрясения [4, 10–12] совместно с детальными наблюдениями за афтершоками [2, 6, 7, 13, 14] дали надежную информацию для понимания сеймотектонических процессов в Горном Алтае.

Афтершоковые процессы крупных землетрясений Алтае-Саянской горной области длятся годы, а иногда и десятилетия [15]. Эпицентральная область Чуйского землетрясения сейсмически активна и по сей день [16], но в структуре сейсмичности после периода стабильности наступил период изменения сейсмического режима с признаками сейсмической активизации смежных геологических структур [8].

В экспериментальных работах 2019 г. одной из главных задач являлось получение высокоточной информации о процессах изменения в сейсмичности Горного Алтая. Какие тектонические структуры будут испытывать процесс сейсмической активизации? Как сейсмичность одних структур Алтая связана с сейсмичностью других? На решение этих вопросов нацелены детальные исследования, позволяющие получить высокоточные данные временными сетями станций. Чуйское землетрясение оказало влияние на сейсмический режим всего региона, и изменение сейсмичности во времени и пространстве представляет основной интерес.

Для повышения точности изучения процесса изменений в сейсмичности Горного Алтая в летне-осенний период 2019 г. были развернуты временные сети: с площадной расстановкой станций, которые регистрируют колебания от 1 Гц и выше (табл. III.4), и с профильной расстановкой широкополосных станций (табл. III.5).

Таблица III.4. Сведения о сейсмических станциях временной локальной сети АСФ ФИЦ ЕГС РАН на Алтайском сейсмологическом полигоне в 2019 г.

Код станции	Координаты и высота над уровнем моря			Оборудование		Период работы в 2019 г.	
	φ, °N	λ, °E	h, м	сейсмометр	регистратор	начало	конец
АКОЛ	49.900	87.968	2325	СК-1П	Байкал АС-75	10.06	11.09
СС02	50.181	87.838	1622	СК-1П	Байкал АС-75	11.06	01.10
СС08	50.366	87.251	1127	СМЕ-4111	Байкал АС-75	05.06	28.09
СН02	50.084	89.271	2221	СК-1П	Байкал АС-75	07.06	16.09
СН05	50.779	86.457	795	СК-1П	Байкал АС-75	05.06	10.09

Код станции	Координаты и высота над уровнем моря			Оборудование		Период работы в 2019 г.	
	φ, °N	λ, °E	h, м	сейсмометр	регистратор	начало	конец
CH06	50.427	87.556	1920	СК-1П	Байкал АС-75	12.06	28.09
M23	50.318	87.725	2210	СК-1П	Байкал АС-75	06.06	12.09
RKUR	50.281	87.949	1803	СМЕ-6211	Байкал 8.1	10.06	05.09
TYTO	50.120	87.922	1762	СМЕ-4111	Байкал АС-75	11.06	05.10

Таблица III.5. Сведения о сейсмических станциях широкополосного сейсмического профиля АСФ ФИЦ ЕГС РАН в 2019 г.

Код станции	Координаты и высота над уровнем моря			Оборудование		Период работы в 2019 г.	
	φ, °N	λ, °E	h, м	сейсмометр	регистратор	начало	конец
CHP02	49.740	88.648	2092	Guralp CMG-6T	Байкал 8.2	07.06	16.09
CHP04	50.407	88.385	1532	Guralp CMG-6T	Байкал 8.2	08.06	13.09
CHP07	51.140	87.719	505	Guralp CMG-6T	Байкал 8.2	09.06	14.09

На рис. III.18 представлена карта сети временных и стационарных станций в Горном Алтае. Сеть временных станций размещена таким образом, что позволяет выстроить более плотную систему наблюдений непосредственно в Чуйско-Курайской зоне при достаточно хорошем окружении этого района стационарными станциями.

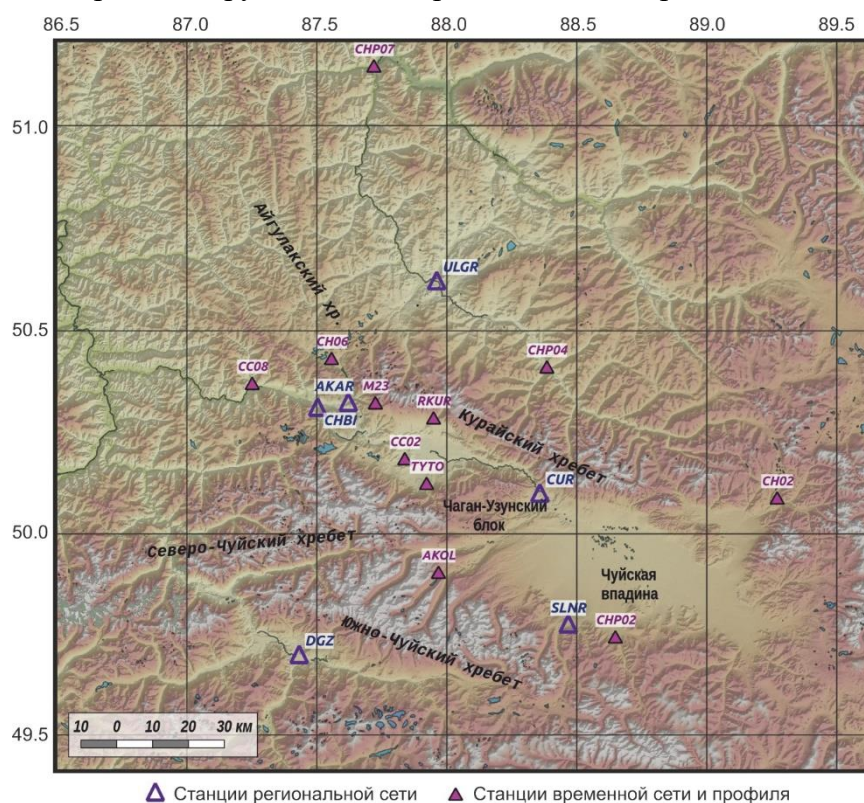


Рис. III.18. Сеть временных станций на Алтайском сейсмологическом полигоне в 2019 г.

По данным сводной обработки, в электронный вариант каталога в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая за период работы временных станций (05.06.–05.10.2019 г.) внесены параметры 1987 землетрясений в энергетическом диапазоне $0.1 \leq M \leq 4.7$ ($-0.6 \leq ML \leq 5.5$) [17]. В печатный вариант каталога включены параметры 38 событий с $2.5 \leq M \leq 2.9$ [18], т.к. землетрясения с $M \geq 3.0$ опубликованы в печатном варианте основного каталога Алтае-Саянского региона [19]. Карта эпицентров землетрясений, зарегистрированных временной сетью станций, представлена на рис. III.19.

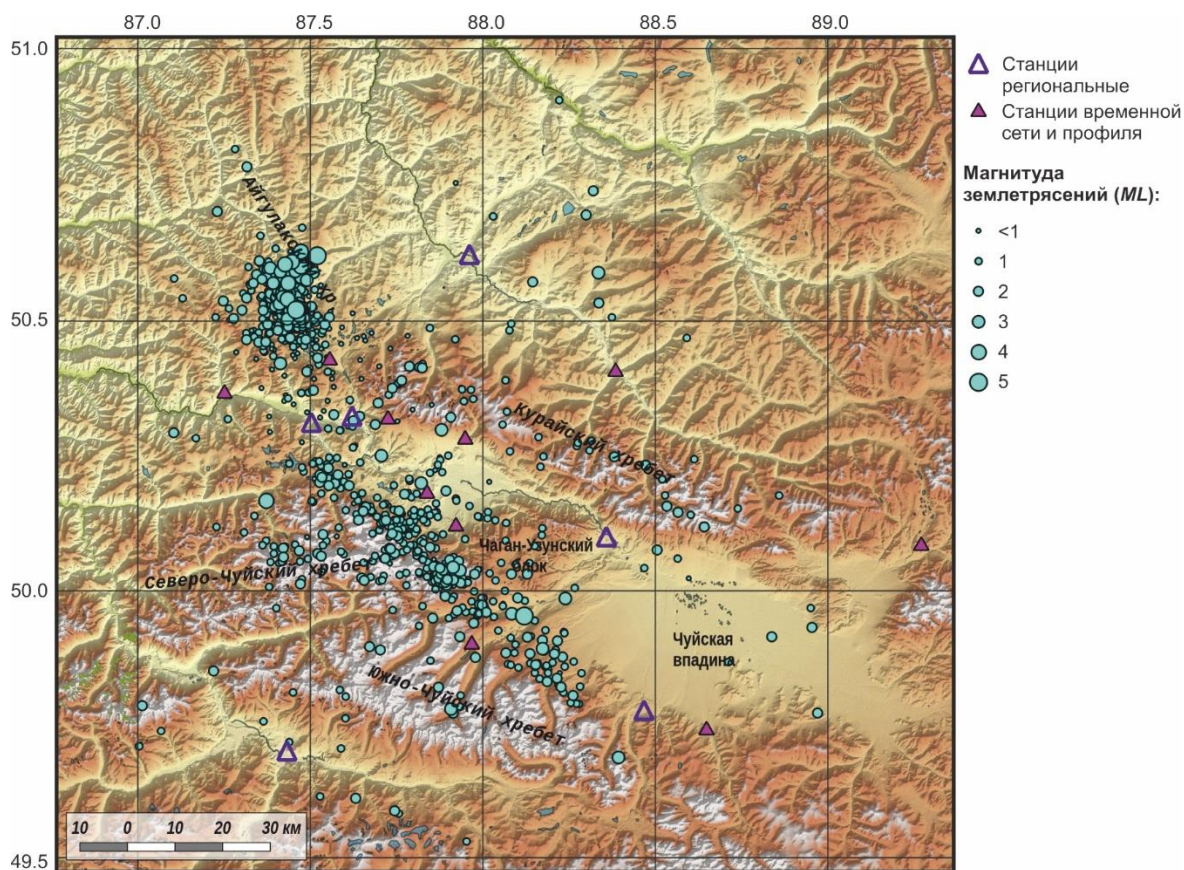


Рис. III.19. Карта эпицентров землетрясений Чуйско-Курайской зоны за период работы временной сети станций (с 05.06. по 05.10.2019 г.)

Пространственные изменения сейсмичности в Чуйско-Курайской зоне, которые стали прослеживаться в 2015–2016 гг. и усилились в 2018 г., в полной мере проявились в районе Айгулакского хребта в 2019 году. Здесь произошли друг за другом два крупных землетрясения 13 сентября в 04^h08^m с $M=4.7$ ($ML=5.5$) и в 04^h29^m с $M=4.4$ ($ML=5.2$), за которыми последовал мощный афтершоковый процесс. В течение последующего времени до конца 2019 г. было зафиксировано около 2.5 тыс. землетрясений в этой зоне, в том числе пять землетрясений в диапазоне $4 \leq ML < 5$.

Наряду с новой зоной сейсмической активности продолжается афтершоковый процесс в зоне Чуйского землетрясения. Здесь произошло около полутора тысяч землетрясений. Максимальное по энергии землетрясение с $M=4.2$ ($ML=4.9$) здесь было зафиксировано 14 июня в 15^h16^m. На рис. III.20 представлена карта землетрясений в Чуйско-Курайской зоне за весь 2019 год.

Отмеченные особенности сейсмического режима за год становятся еще более выраженными. Табл. III.6 содержит данные о количестве зарегистрированных землетрясений за 2019 год. Количество землетрясений в Айгулакском хребте по сравнению с предыдущим годом увеличилось на порядок (табл. III.7). Основное количество землетрясений зарегистрировано после Айгулакского землетрясения в виде афтершокового процесса.

Таблица III.6. Распределение по магнитудам землетрясений Чуйско-Курайской зоны и зоны Айгулакского хребта в 2019 г.

Магнитуда ML	-0.5	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	Всего
Количество землетрясений	31	862	867	1205	761	240	87	20	9	3	5	2	1	4093

Таблица III.7. Распределение по магнитудам землетрясений зоны Айгулакского хребта в 2019 г.

Магнитуда M_L	-0.5	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	Всего
Количество землетрясений	28	784	634	513	388	132	63	13	5	2	4	1	1	2568

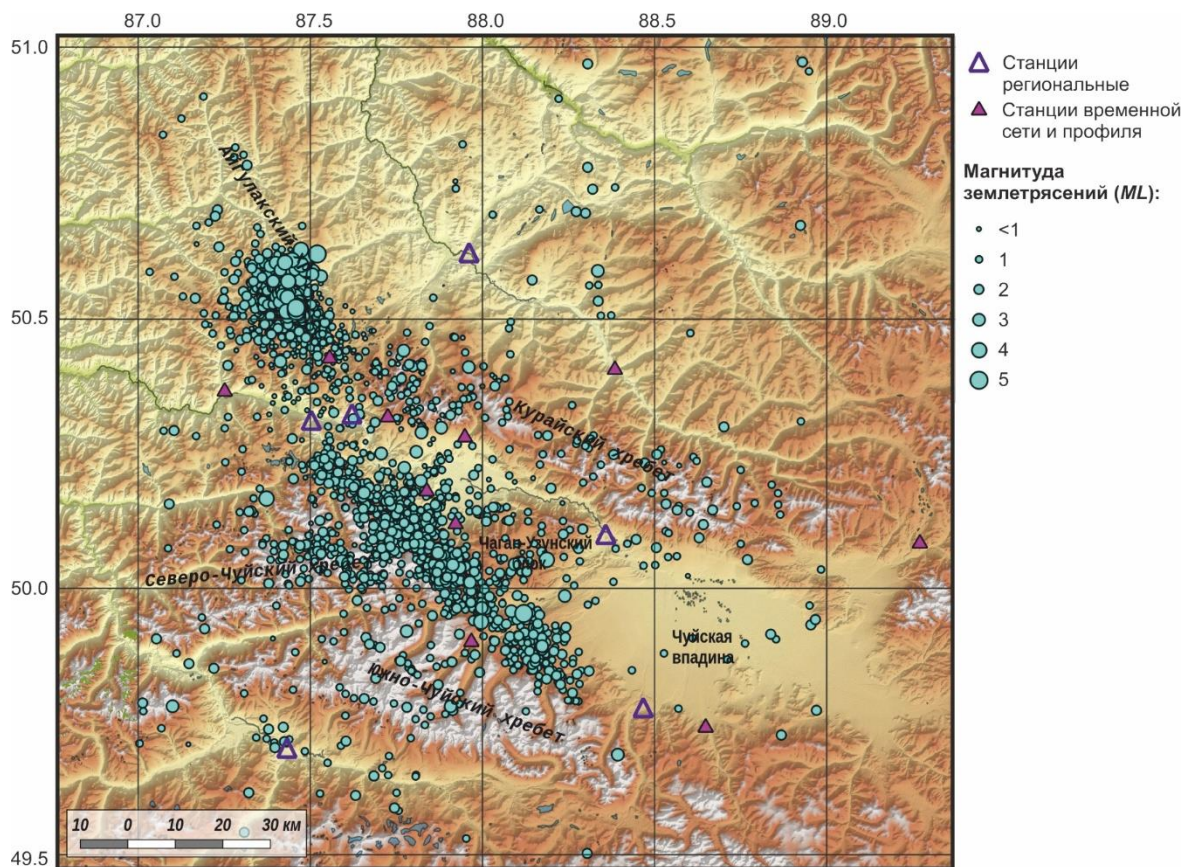


Рис. III.20. Карта землетрясений Чуйско-Курайской зоны в 2019 г.

На рис. III.21 приведен общий график повторяемости для Чуйско-Курайской зоны и Айгулакского хребта и отдельно для зоны Айгулакского хребта.

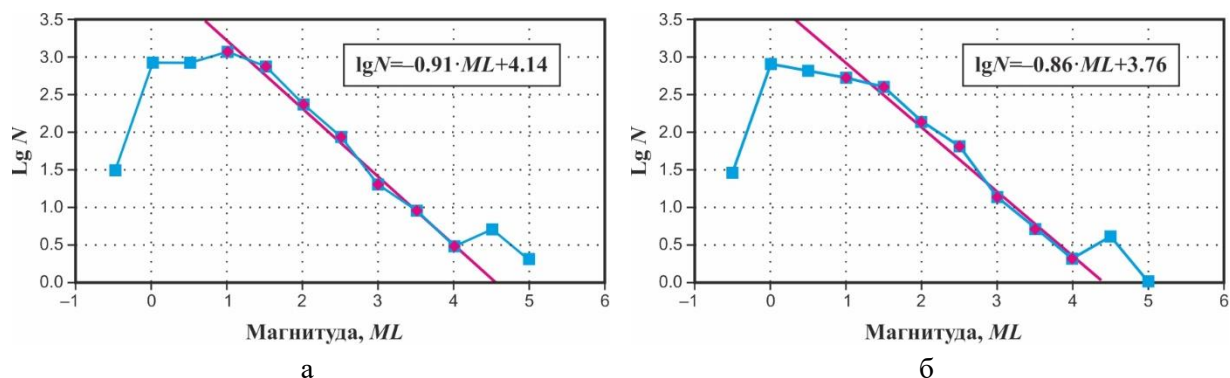


Рис. III.21. Графики повторяемости землетрясений: а – Чуйско-Курайской зоны и зоны Айгулакского хребта; б – зоны Айгулакского хребта

Можно отметить небольшие отличия в повторяемости землетрясений для локального участка Айгулакского хребта относительно повторяемости землетрясений для всей Чуйско-Курайской зоны.

На рис. III.22 представлен вертикальный срез сейсмического процесса в Чуйско-Курайской зоне в 2019 г. (0 км по оси расстояния соответствует положению эпицентра Чуйского землетрясения 2003 г.). Афтершоки Айгулакского землетрясения плотным почти вертикальным столбом шириной около 20 км заполняют интервал глубин почти от дневной поверхности до 17 км, а редкие землетрясения достигают глубины 20 км. Отмечается искривление с глубиной активизированной Айгулакским землетрясением разломной зоны. До глубины 5 км наклон в юго-восточном направлении, а на больших глубинах в северо-западном направлении. Разрез показывает существенное превосходство по плотности в единице объема афтершоков Айгулакского землетрясения над плотностью афтершоков Чуйского землетрясения на 2019 год.

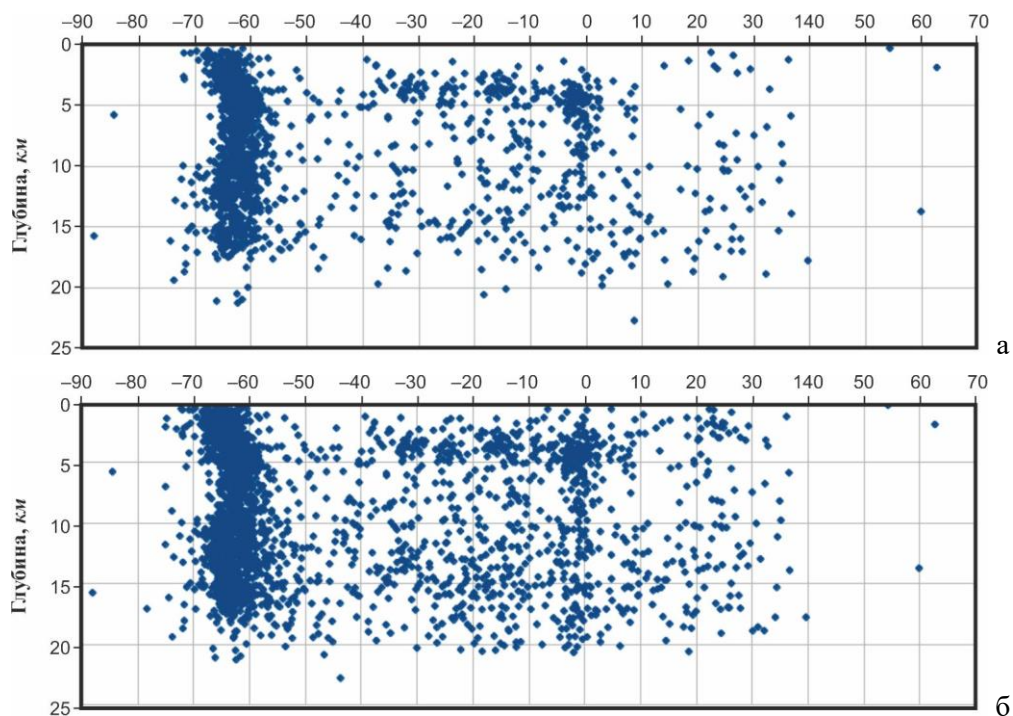


Рис. III.22. Проекция очагов землетрясений на вертикальную плоскость, ориентированную вдоль афтершокового процесса Чуйского землетрясения: а – за период работы временной сети с 5 июня по 5 октября 2019 г.; б – за весь 2019 г.

Результаты

С использованием временной сети станций, дополнившей сеть стационарных станций Алтайского сейсмологического полигона (период совместной работы с 05.06. по 05.10.2019 г.), получены высокоточные данные об Айгулакском землетрясении 13.09.2019 г. в 04^h08^m с $M=4.7$ ($ML=5.5$) и его сильнейшем афтершоке 13.09.2019 г. в 04^h29^m с $M=4.4$ ($ML=5.2$), а также о сформировавшемся афтершоковом процессе.

Афтершоковая область Чуйского землетрясения в 2019 г. продолжает быть активной, но существенно уступает активности афтершоковой области Айгулакского землетрясения. Афтершоки Айгулакского землетрясения по площади заполняют круг диаметром ~20 км с глубинами событий до 20 км.

Литература

1. 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 / Отв. ред. С.И. Шерман. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2003. – С. 324–326.

2. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Фатеев А.В. Результаты детального сейсмического мониторинга. Наблюдения временными сетями. Алтайский сейсмологический полигон // Землетрясения России в 2014 году. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 94–98.
3. Молнар П., Курушин Р.А., Кочетков В.М., Демьянович М.Г., Борисов В.А., Ващиллов Ю.Я. Деформация и разрывообразование при сильных землетрясениях в Монголо-Сибирском регионе // Глубинное строение и геодинамика Монголо-Сибирского региона. – Новосибирск: Наука, 1995. – С. 5–55.
4. 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: данные об их морфологии и кинематике // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 11. – С. 1139–1149.
5. Рогожин Е.А., Платонова С.Г. Очаговые зоны сильных землетрясений Горного Алтая в голоцене. – М.: ОИФЗ РАН, 2002. – 130 с.
6. Арефьев С.С., Аптекман Ж.Я., Быкова В.В., Матвеев И.В., Михин А.Г., Молотков С.Г., Плетнев К.Г., Погребченко В.В. Очаг и афтершоки Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 года // Физика Земли. – 2006. – № 2. – С. 85–96.
7. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Фатеев А.В., Филина А.Г. Чуйское землетрясение 27 сентября 2003 г. с $M_S=7.3$, $K_p=17$ (Горный Алтай) // Землетрясения Северной Евразии в 2003 году. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 326–343.
8. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Фатеев А.В. Об изменении сейсмического режима в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 1963–2016 гг. // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 2, № 3. – С. 41–45.
9. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. Сейсмотектонические особенности активизированной объемной структуры разломов: результаты исследования строения верхнекоревой очаговой области континентального Чуйского землетрясения $M_S=7.3$, произошедшего 27 сентября 2003 г. в Горном Алтае (Россия) // Геотектоника. – 2021. – № 1. (в печати).
10. Лунина О.В., Гладков А.С., Новиков И.С., Агатова А.Р., Высоцкий Е.М., Еманов А.А. Сейсмогенные деформации и поля напряжений в разломной зоне Чуйского землетрясения 2003г., $M_S=7.5$ (Горный Алтай) // Геотектоника. – 2006. – № 3. – С. 52–69.
11. Рогожин Е.А., Овсянченко А.Н., Мараханов А.В., Ушанова Е.А. Тектоническая позиция и геологические проявления Алтайского землетрясения // Геотектоника. – 2007. – № 2. – С. 3–22.
12. Dorbath C., van der Woerd J., Arefiev S.S., Rogozhin E.A., Aptekman J.Y. Geological and seismological field observations in the epicentral region of the 27 September 2003 M_w 7.2 Gorny Altai earthquake (Russia) // Bulletin of the Seismological Society of America. – December 2008. – Vol. 98, N 6. – P. 2849–2865. doi:10.1785/120080166
13. Nissen E., Emmerson B., Funning G.J., Mistrukov A., Parsons B., Robinson D.P., Rogozhin E., Wright T.J. Combining InSAR and seismology to study the 2003 Siberian Altai earthquakes - dextral strike-slip and anticlockwise rotations in the Northern India-Eurasia collision zone // Geophysical Journal International. – 2007. – Vol. 169. – P. 216–232.
14. Barbot S., Hamiel Ya., Fialk Yu. Space geodetic investigation of the coseismic and postseismic deformation due to the 2003 M_w 7.2 Altai earthquake: Implications for the local lithospheric rheology // Journal of Geophysical Research. – 2008. – Vol. 113, B03403. doi:10.1029/2007JB005063
15. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Рудаков А.Д. Общее и индивидуальное в развитии афтершоковых процессов крупнейших землетрясений Алтае-Саянской горной области // Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9, № 1. – С. 33–43.
16. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В. Результаты детального сейсмического мониторинга. Чуйско-Курайская зона Горного Алтая // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 117–120.
17. Part_IV-2019. 16_Kuzbass_2019.xls // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – Приложение на CD-ROM.
18. Подкорытова В.Г. (отв. сост.); Денисенко Г.А., Еманов А.А., Манушина О.А., Подлипская Л.А., Шаталова А.О., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Чуйско-Курайская зона Горного Алтая // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 180.
19. Подкорытова В.Г. (отв. сост.); Денисенко Г.А., Еманов А.А., Манушина О.А., Подлипская Л.А., Шаталова А.О., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Алтай и Саяны // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 144–146.