



АФТЕРШОКОВЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СИЛЬНЕЙШИХ ВНУТРИПЛИТНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ФОНОВЫЕ СОБЫТИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

О.А. Кучай

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,
e-mail: KuchayOA@ipgg.sbras.ru*

В рамках анализируемого периода наблюдений (1971–2021 гг.) значения суммарной величины скалярного сейсмического момента, полученные по афтершокам сильнейших землетрясений ($M_w \geq 7.6$) Азии ($\varphi=20\text{--}50^\circ\text{с.ш.}$, $\lambda=60\text{--}105^\circ\text{в.д.}$), слабо коррелируются с суммарной величиной скалярного сейсмического момента фоновой сейсмичности в области главного землетрясения. Высокий уровень сейсмической активности проявляется в зонах крупных активных разломов и отражается в суммарной величине скалярного сейсмического момента афтершоковых последовательностей. Типы подвижек в очагах главных событий не влияют на степень афтершоковой активности (суммарные величины скалярного сейсмического момента) и возникают при разном фоновом уровне. В течение последних 50 лет вырос уровень магнитуд сильнейших землетрясений по сравнению с предшествующим пятидесятилетним периодом.

Фоновая сейсмичность, афтершоковые последовательности, скалярная величина сейсмического момента, сильнейшие землетрясения Азии, механизмы очагов землетрясений

BACKGROUND EARTHQUAKES AND AFTERSHOCK SEQUENCES OF THE STRONGEST INTRAPLATE EARTHQUAKES IN CENTRAL ASIA

O.A. Kuchay

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia,
e-mail: KuchayOA@ipgg.sbras.ru*

Within the analyzed observation period (1971–2021), the values of the total magnitude of the scalar seismic moment obtained from the aftershocks of the strongest earthquakes ($M_w \geq 7.6$) Asia ($\varphi=20\text{--}50^\circ\text{N}$, $\lambda=60\text{--}105^\circ\text{E}$), are weakly correlated with the total magnitude of the scalar seismic moment of background seismicity in the region of the main earthquake. A high level of seismic activity is manifested in the zones of large active faults and is reflected in the total magnitude of the scalar seismic moment of aftershock sequences. The types of movements in the foci of the main events do not affect the degree of aftershock activity (the total values of the scalar seismic moment) and occur at different background levels. Over the past 50 years, the magnitude of the strongest earthquakes has increased compared to the previous fifty-year period.

Background seismicity, aftershock sequences, scalar magnitude of the seismic moment, the strongest earthquakes in Asia, mechanisms of earthquake foci

ВВЕДЕНИЕ

Результаты анализа афтершоковых процессов опубликованы в большом количестве публикаций [Жалковский, Мучная, 1984; Татевосян, Аптекман, 2008; Радзиминович, Очковская, 2013; Лутиков и др,

2017; Родкин и др., 2020; Завьялов, Зотов, 2021; Тихоцкий и др., 2023], среди которых одни из наиболее подробных и полных исследований представлены в монографиях [Баранов, Шебалин, 2019а; Смирнов, Пономарёв, 2020] и в работах [Шебалин и др., 2018; Баранов, Шебалин, 2018, 2019б; Шебалин, Баранов, 2019].

В статье [Жалковский, Мучная, 1995] показано, что «при одинаковой величине главного толчка численность афтершоков в высокосейсмической зоне значительно выше, чем в зонах, характеризующихся низкой активностью». Полученные за последние годы каталоги сейсмических событий позволили увеличить сроки наблюдения за фоновой сейсмичностью. В связи с этим в данной работе сделана попытка оценить состояние зон сейсмически активной среды на основе анализа зарегистрированных фоновых и афтершоковых процессов в районе возникновения сильнейших внутриплитных землетрясений ($M_w \geq 7.6$) Центральной Азии. Для этого рассматриваются суммарные величины скалярного сейсмического момента фоновых событий в районах сильнейших землетрясений Азии и сопоставляются с суммарными скалярными значениями сейсмического момента афтершоковых последовательностей. Такой подход позволяет оценить, как связаны уровни фоновой сейсмичности и афтершоковых процессов.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Авторы работы [Смирнов, Пономарёв, 2020] отмечают, что выделение афтершоков в практическом отношении содержит в себе субъективный элемент, поскольку для того чтобы отнести то или иное землетрясение к афтершокам, необходимо задать размер временного и пространственного окна.

В данной работе были выбраны семь сильнейших землетрясений Центральной Азии в пределах территории с координатами $\varphi=20\text{--}50^\circ$ с.ш., $\lambda=60\text{--}105^\circ$ в.д. с $M_w \geq 7.6$ и глубиной 10–40 км из каталога геологической службы США [<https://earthquake.usgs.gov>], произошедших в период 1971–2021 гг. (рис. 1). Одновременно использовался каталог Международного Сейсмологического центра ISC [<http://www.isc.ac.uk>]. Были проведены сопоставления значений магнитуд сильных событий, размещенных в обоих каталогах. Информация о фокальных механизмах очагов главных событий и их глубинах бралась из каталога Global CMT catalog [www.globalcmt.org]. В этом же каталоге приводятся глубины землетрясений, полученные другим методом и отличающиеся на 3–15 км.

Афтершоковые последовательности и фоновые события для семи сильнейших землетрясений выбирались только по каталогу Международного Сейсмологического центра ISC [<http://www.isc.ac.uk>]. Выборка осуществлялась на площадке $3^\circ \times 3^\circ$ с $m_b(\text{isc}) \geq 4.5$, где в центре находился эпицентр основного землетрясения. Временной период каждой выборки соответствовал 1971–2021 гг. Аналогично авторам публикации [Баранов, Шебалин, 2019б] длительность серии повторных толчков была ограничена одним годом.

Для получения площади фоновых событий учитывалось положение окна ($3^\circ \times 3^\circ$) на географической карте. Из-за того, что использовались только сильные афтершоки ($m_b(\text{isc}) \geq 4.5$), их распределение было несколько разбросано по территории, и провести аппроксимацию районов афтершоков эллипсом или одним прямоугольником оказалось затруднительно. Трудоемкость вычисления площади афтершоков заключалась в том, что конфигурация областей была сложной и многообразной, поэтому области разбивались на прямоугольники и прямоугольные треугольники. Такой подход облегчил задачу расчета.

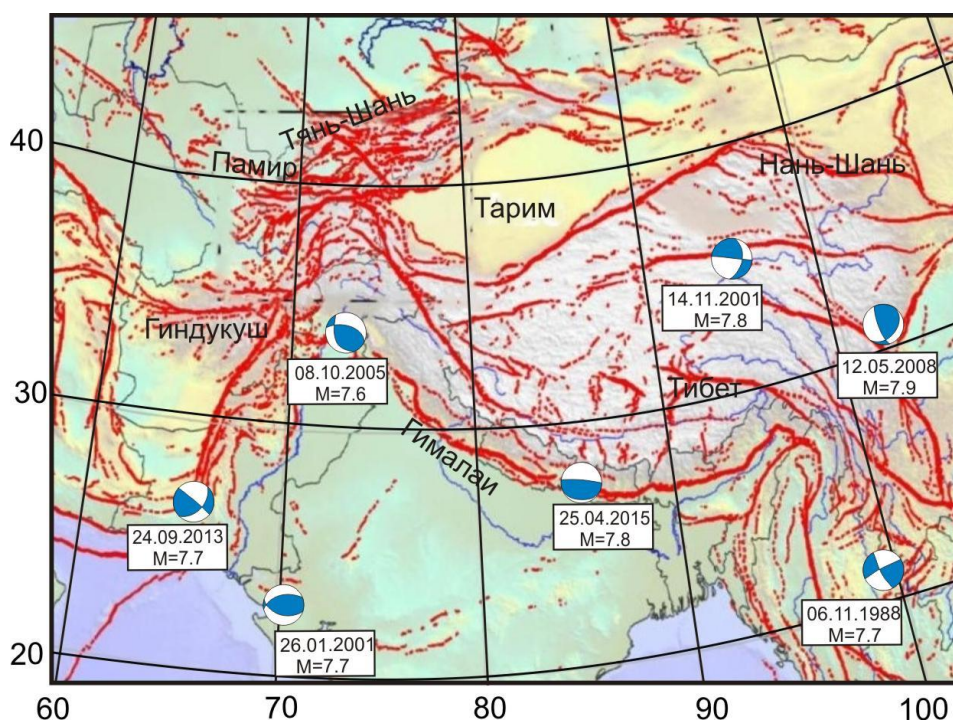


Рис. 1. Карта эпицентров сильнейших землетрясений Азии и решения их фокальных механизмов за период 1988–2015 гг. Голубым цветом на стереограммах закрашены области P -волн сжатия, белым – P -волн растяжения. Решения механизмов очагов землетрясений представлено в верхней полусфере. Карта разломов по [Бачманов и др., 2017]

Далее рассматривался суммарный скалярный сейсмический момент, освобождаемый во всех афтершоках и во всех фоновых землетрясениях [Лутиков, Родина, 2013] как $M_{0\text{ sum af}} = \sum M_{0i} \quad i=1 \dots n$, где M_{0i} – скалярный сейсмический момент каждого афтершока или фонового землетрясения.

Из публикации [Das et al., 2011]: $M_w = (m_b(\text{isc}) - 1.65)/0.65$, где $m_b(\text{isc})$ – данные каталога Международного Сейсмологического центра ISC, M_w – моментная магнитуда землетрясения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В статье [Жалковский, Мучная, 1995] приводятся расчеты, подтверждающие, что при одинаковой магнитуде главных сейсмических событий число афтершоков в высокосейсмичных зонах выше, чем в низкосейсмичных и «общий рост численности афтершоков, наблюдающийся при возрастании магнитуды главного толчка, полностью определяется увеличением объема области их распределения».

В настоящей работе используется другой подход к анализу афтершоковых последовательностей и фоновых событий в областях сильнейших внутриплитных землетрясений. Фоновая сейсмичность оценивается за один и тот же временной период (50 лет), на практически близких по значениям площадях ($3^\circ \times 3^\circ$). Афтершоковый процесс ограничен одним годом и для анализа привлекаются события с $m_b(\text{isc}) \geq 4.5$.

Материалы из табл. 1 рассчитывались с использованием землетрясений с $m_b(\text{isc}) \geq 4.5$, представленных в данных выборках за один и тот же длительный период времени (в течении 50 лет) и зарегистрированных на практически одинаковых площадках ($3^\circ \times 3^\circ$).

$M_{0\text{ sum af}}$ – сумма скалярных сейсмических моментов афтершоков [дин. см], $M_{0\text{ sum-ф}}$ – сумма скалярных сейсмических моментов фоновых землетрясений [дин. см], $M_{0\text{ sum af+Morgl}}$ – сумма скалярных сейсмических моментов афтершоков плюс скалярный сейсмический момент главного землетрясения. S_{af} и $S_{\text{ф}}$ – площади, занимаемые афтершоками и фоновыми событиями [км^2].

Таблица 1

Суммарные величины скалярного сейсмического момента афтершоков и суммарные значения скалярного сейсмического момента фоновой активности при выборке событий с $m_b \geq 4.5$

N п/п	дата	время	широта	долгота	H_{isc}	H_w cmt	H cmt	M_w (usgs)	M_w (cmt)	M_s (cmt)	M_w (usgs) 1901–1970
1	06-11-1988	13:03	22.87	99.73	12.6	15	10	7.7	7	7.3	7.26
2	26-01-2001	3:16	23.37	70.34	16	20	16	7.7	7.6	8	6.27
3	14-11-2001	9:45	35.69	93.33	35	15	10	7.8	7.8	8	6
4	08-10-2005	3:50	34.48	73.7	8.2	12	26	7.6	7.6	7.7	6
5	12-05-2008	6:28	30.99	103.39	10.4	13	19	7.9	7.9	8.1	7.4
6	24-09-2013	11:29	26.91	65.53	15.5	12	15	7.7	7.8	7.7	6.07
7	25-04-2015	6:11	28.13	84.71	13.4	12	15	7.8	7.9	7.8	8

(продолжение)

N п/п	M_0 sum af	M_0 sum фон	M_0 sum af+ $M_{0\text{фон}}$	Saf	Sф
1	5.0E+26	7.3E+26	9.2E+26	19785.4	102544
2	7.9E+25	1.2E+25	4.9E+26	5146.7	102064
3	4.8E+25	2.6E+26	1.17E+26	6841.2	90038.9
4	5.7E+26	7.6E+26	1.0E+27	17867.2	91615.7
5	5.7E+26	8.8E+26	1.0E27	23889.6	85816.6
6	4.7E+26	3.1E+26	8.8E+26	6490.3	99144.9
7	1.7E+27	6.1E+26	2.1E+27	10944.3	97993.8

Данные по афтершокам ($m_{b(isc)} \geq 4.5$), возникшим в течение года, свидетельствуют о значительно разном количестве повторных толчков, занимаемых ими площади (табл. 1, рис. 2) и, соответственно, наблюдается разброс в значениях суммарной величины скалярного сейсмического момента афтершоков, даже при одинаковых магнитудах главных событий (табл. 1, рис. 3). Примером служат материалы по землетрясениям, имеющим одинаковую магнитуду $M_w = 7.7$: 06.11.1988 г., 26.01.2001 г. и 24.09.2013 г. Уровень суммарной величины скалярного сейсмического момента фоновых землетрясений также существенно различен в пределах областей землетрясений с $M_w \geq 7.6$ (табл. 1, рис. 3). Полученные результаты расчета меняются в диапазоне от $1.2E+25$ до $8.8E+26$ [дин. см] (суммарная величина скалярного сейсмического момента фоновой активности) и от $5.0E+25$ до $1.7E+27$ [дин. см] (суммарная величина скалярного сейсмического момента афтершоковой активности) (табл. 1).

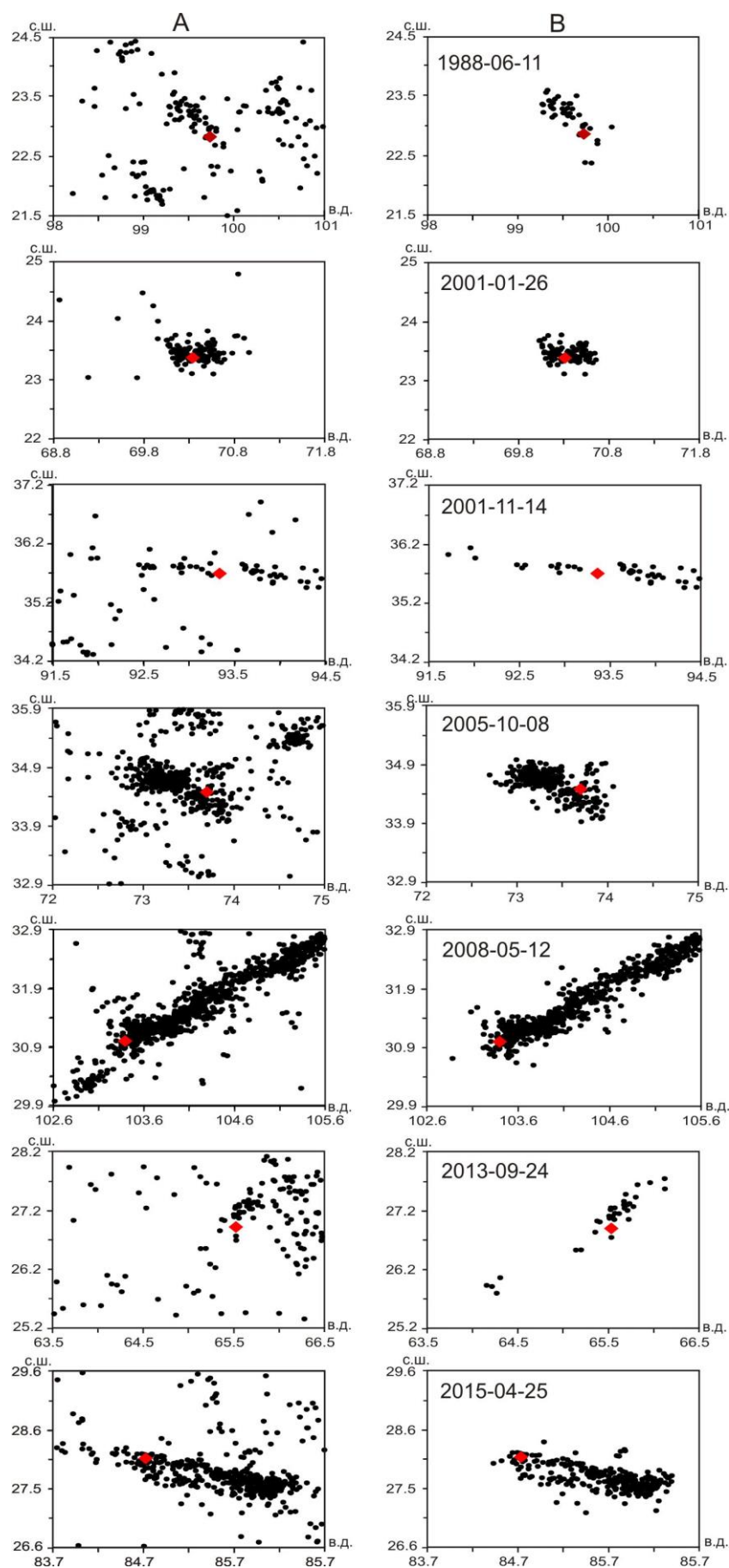


Рис. 2. Распределение фоновых землетрясений и афтершоков (столбец А) в районе сильного землетрясения (красный кружок), распределение афтершоков (столбец В)

Рассматриваемый в данной статье материал состоит из небольшого числа главных сейсмических событий, поэтому можно говорить о некоторой тенденции, которая выражается в том, что высокая фоновая сейсмическая активность в области событий под номерами 1, 4, 5, 7 сопровождается наиболее высокой афтершоковой деятельностью, в то время как пониженная фоновая активность (события под номерами 2, 3, 6) сопровождается наиболее низкой интенсивностью повторных толчков (табл. 1, рис. 3).

В то же время для каждого конкретного главного землетрясения (события под номерами 1, 3, 4, 5) интенсивность афтершокового процесса ниже, чем уровень фоновой сейсмичности за 50-летний период и выше в районе событий (под номерами 2, 6, 7) фоновой сейсмичности.

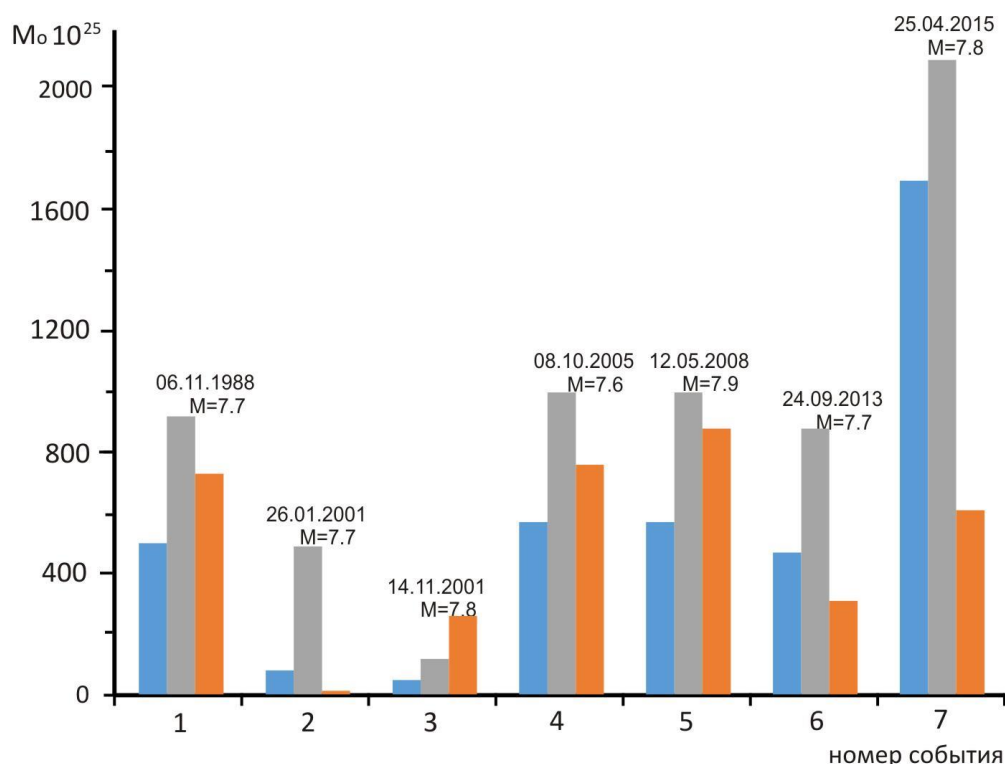


Рис. 3. Суммарные величины скалярного сейсмического момента афтершоковой последовательности (синий цвет), суммарные значения скалярного сейсмического момента фоновой активности (оранжевый цвет) и суммарные величины скалярного сейсмического момента афтершоковой последовательности плюс величина сейсмического момента главного события (серый цвет)

Кроме того, согласно табл. 1 и рис. 3, четырем событиям с наибольшими значениями суммарного сейсмического момента афтершоков с добавлением величины сейсмического момента главного землетрясения (события под номерами 1, 4, 5, 7), соответствуют и наибольшие значения сейсмических моментов фоновой активности, что может указывать, по-видимому, на справедливость выводов, сделанных в работе [Жалковский, Мучная, 1995].

Информация из каталога геологической службы США [<https://earthquake.usgs.gov>] о величине моментной магнитуды наиболее сильных сейсмических событий, произошедших за временной период 1901–1970 гг. в пределах рассматриваемых областей, свидетельствует о том, что максимальные магнитуды землетрясений в каждой области были ниже (табл. 1), чем в рассматриваемый период. Исключение составила область сейсмического события 25 апреля 2015 г. ($M_w = 7.9$) магнитуда которого незначительно меньше магнитуды землетрясения 15 января 1934 г. ($M_w = 8.0$). Следовательно, в

обозначенных областях в последний временной период возрос уровень магнитуд сильнейших землетрясений.

Исходя из наших данных (табл. 1, рис. 2, 3) видно, что отсутствует какая-либо строгая линейная связь между суммарной величиной скалярного сейсмического момента, полученной по афтершоковым последовательностям ($m_b \geq 4.5$) землетрясений Азии (1971–2021 гг.), уровнем суммарной величины скалярного сейсмического момента фоновой режимы и площадями, занимаемыми повторными толчками.

Далее рассмотрим типы фокальных механизмов очагов сильнейших землетрясений по положению осей напряжений сжатия P и растяжения T . Землетрясение 06.11.1988 г. характеризуется сдвиговым типом подвижки в очаге, очаг 26.01.2001 г. – надвигом с широтным простираем обеих плоскостей, главное событие 14.11.2001 г. – сбросо-сдвигом, землетрясение 08.10.2005 г. – надвиговым типом подвижки, главное землетрясение 12.05.2008 г. – надвиговым типом смещения, сейсмическое событие 24.09.2013 г. – сдвиг-надвиговым и землетрясение 25.04.2015 г. – надвигом по пологой плоскости и взбросом по второй. При анализе типов подвижек в очагах главных событий с характером фоновой и уровнем афтершоковой активности (рис. 2), выраженными в суммарных величинах скалярных сейсмических моментах, не выявлено какой-либо связи. Распределение эпицентров главных событий в пределах афтершоковой области фиксировалось как в центре, так и на одном конце афтершоковой области, такое расположение эпицентров не сказывалось на результатах суммарной величины сейсмического момента афтершоковой последовательности.

Из данного материала следует, что высокая степень сейсмической активности проявляется в зонах крупных активных разломов и отражается в афтершоковых последовательностях. Примером служат шесть землетрясений, приведенных в табл. 1, кроме события 26.01.2001 г., зарегистрированного во внутриплитной области с относительно слабо развитой системой разломов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках анализируемого периода наблюдений афтершоковых серий и фоновых землетрясений с $m_b \geq 4.5$, значения суммарной величины скалярного сейсмического момента, полученные по повторным толчкам сильнейших землетрясений Азии ($M_w \geq 7.6$), не находятся в простой зависимости от значения суммарной величины скалярного сейсмического момента фона. В то же самое время, интенсивность афтершокового процесса для каждого конкретного сильнейшего землетрясения оказывается ниже или выше чем фоновая сейсмичность за 50-летний период.

Кроме того, наибольшим значениям скалярных сейсмических моментов фоновой режимы соответствуют совместно высвободившиеся в ходе развития афтершоков и главного события величины суммарного скалярного сейсмического момента.

Высокий уровень сейсмической активности проявляется в зонах крупных активных разломов и отражается в суммарной величине скалярного сейсмического момента афтершоковых последовательностей. Типы подвижек в очагах главных событий не влияют на степень афтершоковой активности (суммарные величины скалярного сейсмического момента) и возникают при разном фоновом уровне.

Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ № FWZZ-2022-0021 «Региональные особенности структуры земной коры и верхов мантии платформенных и складчатых областей Сибири, их напряженно-деформированное состояние по данным сейсмологии, гравиметрии и геомеханики».

Автор выражает благодарность П.Г. Дядькову за рецензирование статьи и ценные замечания, которые способствовали улучшению работы.

ЛИТЕРАТУРА

- Баранов С.В., Шебалин П.Н.** Оценивание области афтершоковой активности по информации об основном толчке // *Геофизические исследования*. – 2018. – № 19 (2). – С. 34–56, doi: 10.21455/gr2018.2-2.
- Баранов С.В., Шебалин П.Н.** Закономерности постсейсмических процессов и прогноз опасности сильных афтершоков. – М.: РАН, 2019а. – 217 с.
- Баранов С.В., Шебалин П.Н.** Глобальная статистика афтершоков сильных землетрясений: независимость времен и магнитуд // *Вулканология и сейсмология*. – 2019б. – № 2. – С. 67–76, doi: 10.31857/S0205-96142019267-76.
- Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г.** База данных активных разломов Евразии // *Геодинамика и тектонофизика*. – 2017. – № 8 (4). – С. 711–736, doi: 10.5800/GT-2017-8-4-0314.
- Жалковский Н.Д., Мучная В.И.** О пространственных и временных распределениях афтершоков // *Геология и геофизика*. – 1984. – № 8. – С. 108–117.
- Жалковский Н.Д., Мучная В.И.** Зависимость интенсивности процесса афтершоков от уровня фоновой сейсмичности очаговых зон // *Геология и геофизика*. – 1995. – № 36 (1). – С. 126–128.
- Завьялов А.Д., Зотов О.Д.** Новый способ определения характерного размера очаговой зоны // *Вулканология и сейсмология*. – 2021. – № 1. – С. 22–29, doi: 10.31857/S0203030621010065.
- Лутиков А.И., Родина С.Н.** Временные и энергетические параметры афтершокового процесса Курило-Камчатских землетрясений // *Геофизические исследования*. – 2013. – № 14 (4). – С. 23–35.
- Лутиков А.И., Донцова С.Н., Родина С.Н.** Временные и энергетические параметры афтершокового процесса землетрясений Кавказа и сопредельных территорий // *Геофизические исследования*. – 2017. – № 18 (1). – С. 20–36, doi: 10.21455/gr2017.1-2.
- Радзиминович Н.А., Очковская М.Г.** Выделение афтершоковых и роевых последовательностей землетрясений Байкальской рифтовой зон // *Геодинамика и тектонофизика*. – 2013. – № 4 (2). – С. 169–186, doi: 10.5800/GT-2013-4-2-0096.
- Родкин М.В., Андреева М.Ю., Григорьева О.О.** Анализ обобщенной окрестности сильного землетрясения по региональным данным, Курило-Камчатский регион // *Вулканология и сейсмология*. – 2020. – № 6. – С. 67–77, doi: 10.31857/S0203030620060176.
- Смирнов В.Б., Пономарёв А.В.** Физика переходных режимов сейсмичности. – М.: РАН, 2020. – 412 с.
- Татевосян Р.Э., Аптекман Ж.Я.** Этапы развития афтершоковых последовательностей сильнейших землетрясений мира // *Физика Земли*. – 2008. – № 12. – С. 3–23.
- Тихоцкий С.А., Татевосян Р.Э., Ребецкий Ю.Л., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С.** Караманмарашские землетрясения 2023 г. в Турции: сейсмическое движение по сопряженным разломам // *Доклады Академии наук*. – 2023. – № 511 (2). – С. 228–235, doi: 10.31857/S2686739723600765.
- Шебалин П.Н., Баранов С.В.** О прогнозировании афтершоковой активности. 5. оценка длительности опасного периода // *Физика Земли*. – 2019. – № 5. – С. 22–37, doi: 10.31857/S0002-33372019522-37.
- Шебалин П.Н., Баранов С.В., Дзедобов Б.А.** Закон повторяемости количества афтершоков // *Доклады Академии наук*. – 2018. – № 481 (3). – С. 320–323, doi: 10.31857/S086956520001387-8.

Das R., Wason H.R., Sharma M.L. Global regression relations for conversion of surface wave and body wave magnitudes to moment magnitude // *Natural Hazards*. – 2011. – Vol. 59 (2). – P. 801–810, doi: 10.1007/s11069-011-9796-6.

REFERENCES

Bachmanov D.M., Kozhurin A.I., Trifonov V.G. The active faults of Eurasia database // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2017. – Vol. 8 (4). – P. 711–736, doi: 10.5800/GT-2017-8-4-0314.

Baranov S.V., Shebalin P.N. Estimating aftershock area based on the mainshock information // *Geophysical Research*. – 2018. – Vol. 19 (2). – P. 34–56, doi: 10.21455/gr2018.2-2.

Baranov S.V., Shebalin P.N. Regularities of postseismic processes and the forecast of the danger of strong aftershocks. – RAS, Moscow, 2019a. – 217 p.

Baranov S.V., Shebalin P.N. Global statistics of aftershocks following large earthquakes: independence of times and magnitudes // *Journal of Volcanology and Seismology*. – 2019b. – Vol. 13 (2). – P. 124–130, doi: 10.1134/S0742046319020027.

Das R., Wason H.R., Sharma M.L. Global regression relations for conversion of surface wave and body wave magnitudes to moment magnitude // *Natural Hazards*. – 2011. – Vol. 59 (2). – P. 801–810, doi: 10.1007/s11069-011-9796-6.

Lutikov A.I., Rodina S.N. Temporal and power parameters of aftershock process of the Kuriles-Kamchatka earthquakes // *Geophysical Research*. – 2013. – Vol. 14 (4). – P. 23–35.

Lutikov A.I., Dontsova S.N., Rodina S.N. Time and energetic parameters of the aftershock process for the earthquakes in the Caucasus and adjacent areas // *Geophysical Research*. – 2017. – Vol. 18 (1). – P. 20–36.

Radziminovich N.A., Ochkovskaya M.G. Identification of earthquake aftershock and swarm sequences in the Baikal rift zone // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2013. – Vol. 4 (2). – P. 169–186, doi: 10.5800/GT-2013-4-2-0096.

Rodkin M.V., Andreeva M.Yu., Grigorieva O.O. An analysis of the generalized vicinity of a large earthquake using regional data: the Kuril-Kamchatka region // *Journal of Volcanology and Seismology*. – 2020. – Vol. 14 (6). – P. 410–419, doi: 10.1134/S074204632006007X.

Shebalin P.N., Baranov S.V. On the prediction of aftershock activity. 5. Estimation of the duration of the dangerous period // *Izvestiya, Physics of the Earth*. – 2019. – Vol. 55 (5). – P. 719–732, doi: 10.1134/S1069351319050112.

Shebalin P.N., Baranov S.V., Dzeboev B.A. The law of repeatability of the number of aftershocks // *Doklady Earth Sciences*. – 2018. – Vol. 481 (1). – P. 963–966, doi: 10.1134/S1028334X18070280.

Smirnov V. B., Ponomarev A.V. Physics of transient modes of seismicity. – RAS, Moscow, 2020. – 412 p.

Tatevossian R.E., Aptekman Zh.Ya. Aftershock sequences of the strongest earthquakes of the world: stages of development // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. – 2008. – Vol. 44 (12). – P. 945–964.

Tikhotsky S.A., Tatevosyan R.E., Rebetsky Yu.L., Ovsyuchenko A.N., Larkov A.S. The 2023 Kahramanmaraş earthquakes in Turkey: seismic movements along conjugated faults // *Doklady Earth Sciences*. – 2023. – Vol. 511. – P. 703–709, doi: 10.1134/S1028334X23600974.

Zavyalov A.D., Zotov O.D. A new way to determine the characteristic size of the source zone // *Journal of Volcanology and Seismology*. – 2021. – Vol. 15. – P. 19–25, doi: 10.1134/S0742046321010139.

Zhalkovsky N.D., Muchnaya V.I. On the spatial and temporal distributions of aftershocks // *Soviet Geology and Geophysics*. – 1984. – Vol. 8. – P. 108–117.

Zhalkovskii N.D., Muchnaya V.I. Intensity of an aftershock as a function of background seismicity of focal zones // Russian Geology and Geophysics. – 1995. – Vol. 36 (1). – P. 126–128.

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

КУЧАЙ Ольга Анатольевна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории глубинных геофизических исследований и региональной сейсмичности полей Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Основные научные интересы: механизмы очагов землетрясений, сейсмотектонические деформации по данным механизмов очагов землетрясений.

*Статья поступила в редакцию 9 октября 2023 г.,
принята к публикации 8 ноября 2023 г.*