

УДК 550.34

Омуралиев М., Омуралиева А.  
Институт сейсмологии НАН КР,  
г. Бишкек, Кыргызстан

## ПОРОГОВЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ СОБЫТИЯ 1946 Г. ( $M_w = 8.4$ ) НАНКАЙСКОГО ЖЕЛОБА НА СОЧЛЕНЕНИИ ТИХООКЕАНСКОЙ, ФИЛИППИНСКОЙ И ЕВРАЗИЙСКОЙ ПЛИТ

**Аннотация.** Изучены сейсмичность и сейсмический режим в пределах Нанкайского желоба на сочленении Тихоокеанской, Филиппинской и Евразийской плит. Определены пороговые события до разрушительного землетрясения 1946 года в этом районе. Отмечено, что ожидается землетрясение с вероятной магнитудой  $M_w \leq 7.4$  после события 08.08.2024 ( $M_w \leq 7.1$ ).

**Ключевые слова:** мегаземлетрясение, Нанкайский желоб, пороговое землетрясение, сейсмический цикл, период повторения, кумулятивная сейсмическая энергия.

## ТЫНЧ ОКЕАН, ФИЛИППИН ЖАНА ЕВРАЗИЯ ПЛИТАЛАРЫНЫН КОШУЛГАН ЖЕРИНДЕГИ НАНКАЙ ЖАРАКАСЫНДАГЫ 1946-ЖЫЛДАГЫ ( $M_w = 8.4$ ) ОКУЯНЫН БОСОГО ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРҮ

**Кыскача мазмуну.** Тынч океан, Филиппин жана Евразия плиталарынын кошулган жериндеги Нанкай жаракасынын чегинде сейсмикалуулук жана сейсмикалык режим изилденген. Бул аймакта 1946-жылдагы кыйратуучу жер титирөөгө чейинки босого окуялар аныкталды. 08.08.2024 ( $M_w \leq 7.1$ ) жер титирөөсүнөн кийин болжолдуу магнитудасы  $M_w \leq 7.4$  жер титирөө күтүлө тургандыгы белгиленүүдө.

**Негизги сөздөр:** мега жер титирөө, Нанкай жаракасы сейсмикалык цикл, кайталануу мезгили, кумулятивдүү (топтолмо) сейсмикалык энергия. Нанкай траншеясы

## THRESHOLD EARTHQUAKES OF THE 1946 EVENT ( $M_w = 8.4$ ) OF THE NANKAI TROUGH AT THE JUNCTION OF PACIFIC, PHILIPPINE AND EURASIAN PLATES

**Abstract.** The seismicity and seismic regime within the Nankai Trough at the junction of the Pacific, Philippine and Eurasian plates have been studied. Threshold events before the 1946 destructive earthquake in this area were determined. It is noted that an earthquake with probable magnitude  $M_w \leq 7.4$  is expected after the event 08.08.2024 ( $M_w \leq 7.1$ ).

**Keywords:** mega-earthquake, the Nankai Trough, threshold earthquake, seismic cycle, recurrence period, cumulative seismic energy.

Власти Японии предупредили о мегаземлетрясении в районе Нанкайского желоба (на юго-западе Японии) после землетрясения с магнитудой  $M_w = 7.1$ , произошедшего 8 августа 2024 г. у восточного побережья острова Кюсю [1-3]. Последнее крупное землетрясение  $M_w = 8.3$  в данном районе произошло 21 декабря 1946 г. Сейсмологи предполагают, что период повторения таких землетрясений около 100 лет. По данным анализа сейсмического риска в 2022 г., основываясь на информацию прошлых лет, предполагается 320 тысяч смертей.

Определение пороговых землетрясений крупных событий является актуальной проблемой в исследовании сейсмического режима конкретного региона. Для решения задач этой проблемы важными является: 1) дискретность геодинамической, сеймотектонической системы; 2) свойственное распределение землетрясений во времени,

т.е. их характерные ассоциации последовательности; 3) проявление иерархии сейсмических циклов; 4) график кумулятивного сейсмического момента; 5) цепочки (рой) гипоцентров перед крупными землетрясениями [4-14]. Пороговое землетрясение это уровень, точка или величина (в данном случае магнитуда) в отдельно взятом сейсмическом цикле, выше которой проявляется крупное землетрясение.

Так, способ выделения иерархии сейсмических циклов включает следующие основные действия: осуществлять слежение за последовательностью землетрясений за сутки, месяцы, годы и составлять их графики; выделять поэтапно пики сейсмической активизации и коэффициент подъёма, периоды (фазы) спада сейсмической активизации и коэффициент спуска, периоды (фазы) затишья, периоды (фазы) новой сейсмической активизации до наступления пика в каждом цикле от высших порядков до первого; измерить периоды повторения сейсмических циклов разного порядка; вычислять тренд каждого сейсмического цикла нелинейными полиномами с наибольшими достоверностями аппроксимации.

На рисунке 1 показана зона Нанкайского разлома на сочленении Тихоокеанской (ТО), Филиппинской (ФП) и Евразийской (ЕА) плит.



Рисунок 1. Зона Нанкайского разлома (красная линия) на сочленении Тихоокеанской (ТО), Филиппинской (ФП) и Евразийской (ЕА) плит.

Исходным материалом исследования являлся каталог землетрясений Геологической службы США (US Geological Survey - USGS) за 1900–2024 гг. [15]. На рисунке 2 приведено распределение землетрясений с  $M_w \geq 5.0$  в пределах разлома Нанкай в квадрате  $\varphi=28-35^\circ$ ,  $\lambda=128-144^\circ$ .

На распределении эпицентров отмечаются две главные зоны: 1) на сочленении Тихоокеанской и Филиппинской плит (восточная зона), 2) на сочленении Евразийской и Филиппинской плит (западная зона). Восточная зона имеет север-северо-западное простирание, а западная зона - северо-восточное простирание с соответствующими сегментами. Эти зоны на севере имеют дугообразную форму.

Распределение землетрясений с  $M_w \geq 6.0$  во времени, т.е. последовательность проявления событий за 1900–2024 гг. показано на рисунке 3. На графике достаточно чётко выделяются сейсмические циклы четвёртого порядка, после - циклы третьего порядка. Цикл первого порядка за этот период не отмечен, кроме пика цикла второго порядка 20.12.1946 г. ( $M_w=8.3$ ). После пика 20.12.1946 г. наблюдался спад сейсмической активизации, а с 06.03.1984 г. по 06.08.2000 г. отмечалась фаза затишья. Важно отметить, что 06.08.2000 г. проявился пик сейсмической активизации цикла третьего порядка

( $M_w=7.4$ ) после наступила фаза спада сейсмической активизации, 15.04.2016 г.- фаза затишья, а с 08.08.2024 г. наступила фаза сейсмической активизации и произошло (через 24 года) землетрясение с  $M_w=7.1$ . Данная сейсмическая активизация цикла третьего порядка означает, что в дальнейшем возможны землетрясения с  $M_w \leq 7.4$ .

Следует отметить, что сейсмические циклы асимметричны, где фаза активизации имеет либо крутой подъём, либо фаза спада сейсмической активизации имеет пологий спуск.

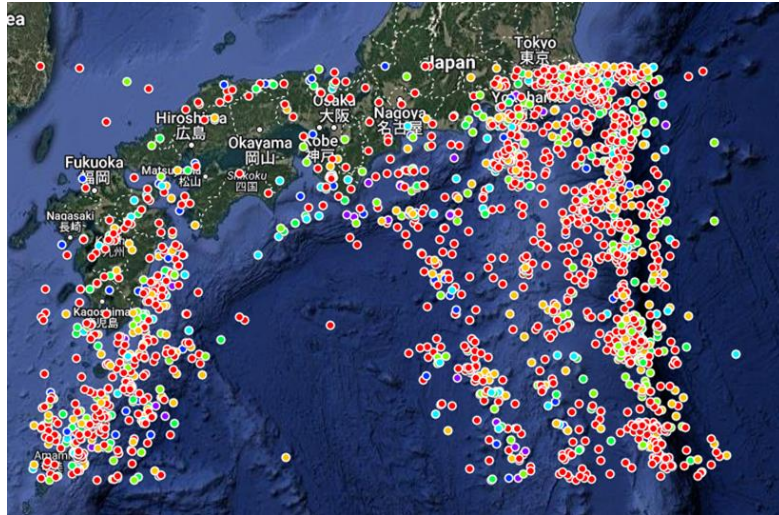


Рисунок 2. Карта - схема эпицентров землетрясений  $M_w \geq 5.0$  в пределах разлома Нанкай в квадрате  $\varphi=28-35^\circ$ ,  $\lambda=128-144^\circ$  за 1900-2024 гг. Кружками красного цвета обозначены землетрясения с  $5.0 < M < 5.5$ , кружки жёлтого цвета -  $5.51 < M < 6.0$ , кружки светло-зелёного цвета -  $6.01 < M < 6.5$ , кружки зеленого цвета -  $6.51 < M < 7.0$ , кружки голубого цвета -  $7.01 < M < 7.5$ , кружки синего цвета -  $7.01 < M < 7.5$ , кружки фиолетового цвета -  $7.51 < M < 8.5$ .

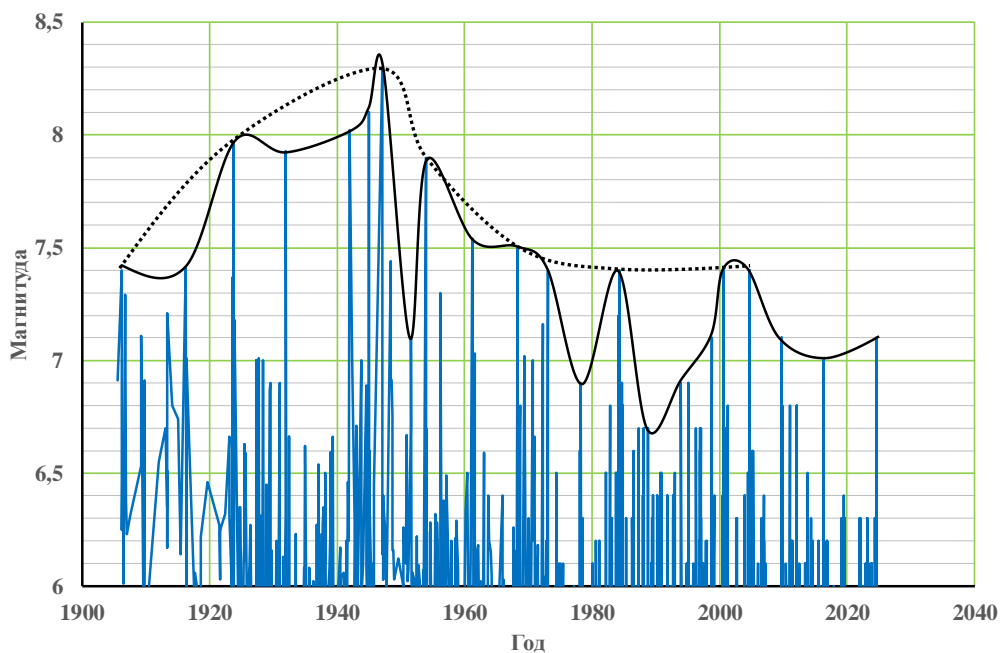


Рисунок 3. Распределение землетрясений с  $M_w \geq 6.0$  во времени - последовательность проявления событий за 1900–2024 гг. в пределах разлома Нанкай в квадрате  $\varphi=28-35^\circ$ ,

$\lambda=128-144^\circ$ . Сплошными линиями чёрного цвета обозначены сейсмические циклы третьего порядка; точечными линиями - сейсмические циклы второго порядка.

В таблице 1 приведены пики сейсмических циклов третьего порядка в пределах разлома Нанкай в квадрате  $\varphi=28-35^\circ$ ,  $\lambda=128-144^\circ$ . Период повторения сейсмических циклов третьего порядка находится в пределах 7–25 лет.

Таблица 1. Пики сейсмических циклов третьего порядка и периоды (Т, лет) повторения.

год	мес	число	час	мин	сек	Широта, град	Долгота, град	Глубина, км	Mw	Период Т, лет
1906	1	21	13	49	33.57	34.175	138.03	300	7.4	
1923	9	2	2	46	41.72	34.985	139.93	15	7.85	17.61
1946	12	20	19	19	10.65	33.123	135.91	15	8.3	23.3
1953	11	25	17	48	55.09	34.006	141.63	25	7.9	6.93
1968	4	1	0	42	7.09	32.449	132.27	34.2	7.5	14.35
1984	3	6	2	17	21.26	29.384	138.94	457.4	7.4	15.93
2000	8	6	7	27	12.9	31.763	138.63	115.6	7.4	25.43

На рисунке 4 показано распределение землетрясений с  $M_w \geq 6.0$  во времени, т. е. последовательность проявления событий за 1900–1946 гг. перед крупным землетрясением с  $M_w = 8.3$ . На графике выделяются сейсмические циклы четвёртого порядка, после - циклы третьего порядка. Цикл первого порядка не отмечен, кроме пика цикла второго порядка 20.12.1946 г.

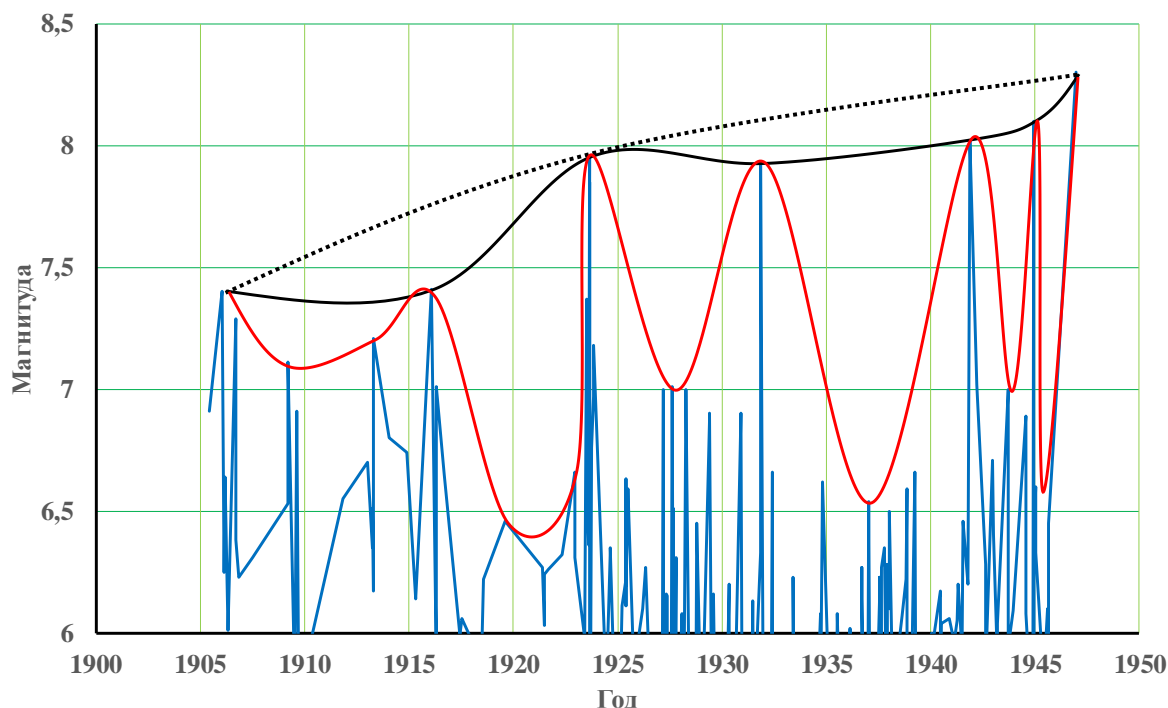


Рисунок 4. Распределение землетрясений с  $M_w \geq 6.0$  во времени - последовательность проявления событий за 1900–2046 гг. в пределах разлома Нанкай в квадрате  $\varphi=28-35^\circ$ ,  $\lambda=128-144^\circ$  перед крупным ( $M_w=8.3$ ) землетрясением 20.12.1946 г. Сплошными линиями красного цвета обозначены сейсмические циклы четвёртого порядка, сплошными линиями чёрного цвета - сейсмические циклы третьего порядка; точечной линией - сейсмические циклы второго порядка

В таблице 2 приведены пики сейсмических циклов четвёртого порядка за 1905–1946 гг. Как видно из таблицы 2 период повторения сейсмических циклов четвёртого порядка варьирует 2–10 лет.

Таблица 2. Пики сейсмических циклов четвёртого порядка и периоды (Т, лет) повторения.

год	мес	число	час	мин	сек	широта	долгота	глубина	Mw	Период Т, лет
1906	1	21	13	49	33.57	34.175	138.03	300	7.4	
1916	2	1	7	36	31.91	29.51	131.88	15	7.41	10
1923	9	2	2	46	41.72	34.985	139.93	15	7.85	7.59
1931	11	2	10	3	4.23	31.884	132.04	35	7.83	8.17
1941	11	18	16	46	32.4	32.129	131.94	35	8.02	10.04
1944	12	7	4	35	45.79	33.73	136.2	15	8.1	3.01
1946	12	20	19	19	10.65	33.123	135.91	15	8.3	2.08

Анализ иерархии сейсмических циклов показал (рисунок 5), что пороговые события (пороги третьего - ПЦЗ и четвёртого - ПЦ4 циклов) крупного землетрясения 20.12.1946 г. ( $M_w=8.3$ ,  $\varphi=33.123^\circ$ ,  $\lambda=135.91^\circ$ ,  $h=15$  км) проявлялись 02.06.1923 г. ( $M_w=7.85$ ,  $\varphi=34.985^\circ$ ,  $\lambda=139.95^\circ$ ,  $h=15$  км) в сейсмическом цикле третьего порядка и 07.12.1944 г. ( $M_w=8.1$  с координатами  $\varphi=34.985^\circ$ ,  $\lambda=139.95^\circ$ ,  $h=15$  км) в сейсмическом цикле четвёртого порядка. Соответственно, пороговое землетрясение ПЦЗ проявилась за 23 года до события 1946 г., а пороговое землетрясение ПЦ4 – за примерно 2 года. При этом эти пороговые землетрясения мигрировали с востока на запад.

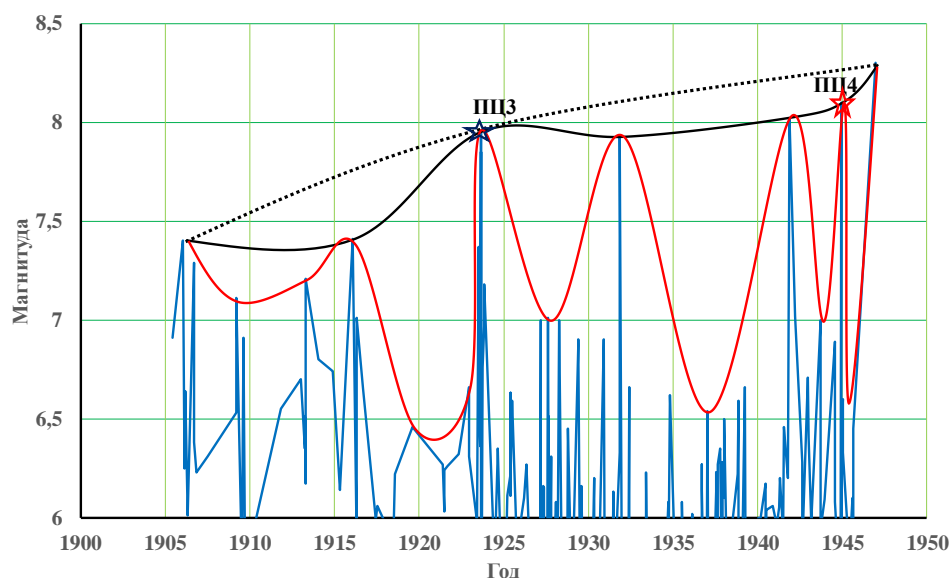


Рисунок 5. Распределение землетрясений с  $M_w \geq 6.0$  во времени - последовательность проявления событий и проявления пороговых магнитуд перед землетрясения  $M_w=8.3$  20.12.1946 г. Сплошной линией красного цвета обозначены сейсмические циклы четвёртого порядка; линией чёрного цвета - сейсмические циклы третьего порядка; точечной линией - сейсмические циклы второго порядка. ПЦЗ, ПЦ4– пороги третьего и четвёртого циклов, соответственно.

На рисунке 6 показан кумулятивный сейсмический момент при крупных землетрясениях с  $M_w \geq 6.0$  за 1900–2024 гг. в пределах разлома Нанкай в квадрате  $\varphi=28-$

$35^\circ$ ,  $\lambda=128-144^\circ$ . График его ступенчатый, что выражает иерархию сейсмических циклов. Верхний и нижний пределы флуктуации ограничены параллельными прямыми. Расстояние между параллельными линиями выражает максимальное значение возможного сейсмического момента (около  $7.5 \times E+28$  дин·см). На графике с 1923 г. отмечалась активизация, которая завершилась в 1946 г. землетрясением с  $M_w=8.3$ . После наступил период спада активизации. С 1953 г. наблюдается период затишья, который вероятно в 2030–2040 гг. сменится периодом сейсмической активизации.

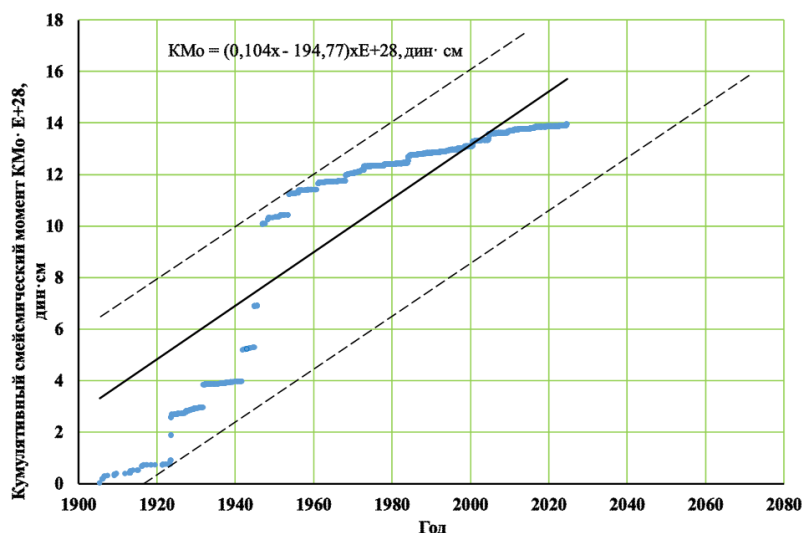


Рисунок 6. Кумулятивный сейсмический момент при крупных землетрясениях с  $M_w \geq 6.0$  Японии за 1900–2024 гг. в пределах разлома Нанкай в квадрате  $\varphi=28-35^\circ$ ,  $\lambda=128-144^\circ$ .

На основании имеющихся данных можно сказать, что пороговые события ожидаемых крупных землетрясений вероятно будут определены в дальнейшем путём слежения за иерархией сейсмических циклов.

### Заключение

1. Изучены сейсмичность и сейсмический режим в пределах активного разлома Нанкай, Япония, который развивается на сочленения Тихоокеанской, Филиппинской и Евразийской литосферных плит.
2. Отмечено, что в распределении землетрясений в пространстве отмечаются главные эпицентральные зоны (западная и восточная) с сегментами. Восточная зона на сочленении Тихоокеанской и Филиппинской плит имеет север-северо-западное простирания; западная зона на сочленении Евразийской и Филиппинской плит - северо-восточное простирание, которые на севере сочленяются в дугообразную зону.
3. В распределении землетрясений во времени выделяется иерархия ассиметричных нелинейных циклов, в частности четвёртого, третьего, второго и первого порядка.
4. На основе анализа иерархии сейсмических циклов отмечено, что пороговые события (пороги третьего - ПЦЗ и четвертого - ПЦ4 циклов) крупного землетрясения 20.12.1946 г. ( $M_w = 8.3$ ,  $\varphi=33.123^\circ$ ,  $\lambda=135.91^\circ$ ,  $h=15$  км) проявлялись 02.06.1923 г. ( $M_w=7.85$ ,  $\varphi=34.985^\circ$ ,  $\lambda=139.95^\circ$ ,  $h=15$  км) в сейсмическом цикле третьего порядка и 07.12.1944 г. ( $M_w = 8.1$  с координатами  $\varphi = 34.985^\circ$   $\lambda=139.95^\circ$ ,  $h=15$  км) в сейсмическом цикле четвёртого порядка. Соответственно, пороговое землетрясение ПЦЗ проявилась за 23 года до события 1946 г., а пороговое землетрясение ПЦ4 – за примерно 2 года.
5. На основе графика кумулятивного сейсмического момента землетрясений (за 1900–2024 гг.) Нанкайского разлома максимальное значение возможного сейсмического момента вероятно составит около  $7.5 \times E+28$  дин·см.

6. Период спада активизации сейсмического цикла третьего порядка наступил после 05.09.2004 г., период (фаза) затишья - 15.04.2016 г. и наступление периода активизации с 08.08.2024 г., это позволяет отметить, что ожидается вероятное землетрясение с магнитудой  $M_w \leq 7.4$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. NHK WORLD-JAPAN <https://www3.nhk.or.jp/nhkworld/en/news/backstories/3517/>
2. The Japan News by the Yomiuri Shinbun <https://japannews.yomiuri.co.jp/society/general-news/20240809-204029/>
3. Shi, Q., Barbot, S., Wei, S. et al. Structural control and system-level behavior of the seismic cycle at the Nankai Trough. //Earth Planets Space. -2020. -72:27. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-1145-0>
4. Баранов С. В. Оценка активности афтершокового процесса с помощью Закона Гутенберга-Рихтера и ETAS-модели. //Фундаментальные исследования. -2014. –№12. –С.751-755.
5. Gelfand I.M., Guberman S., Izvekova M., Keilis-Borok V.I., Rantsman E.Ya. Criteria of high seismicity determined by pattern recognition. //Tectonophysics. -1972. -13(1-4). –р.415-422.
6. Омуралиев М., Омуралиева А., Землянский А.А. (KG) Способ определения места и силы крупного землетрясения за наступающий год и его кварталы, месяцы. Патент №1266. 30.06.2010 г.
7. Омуралиев М., Омуралиева А. (KG) Способ определения силы и времени – суток среднего и крупного ожидаемого землетрясения системы сейсмогенерирующих зон. Патент №1369. 31.06.2011 г.
8. Омуралиев М., Омуралиева А. Средне-, краткосрочная сейсмическая опасность Тянь Шаня и иерархия динамики сейсмических процессов, Бишкек. ОСОО «ТРИАДА Принт», 2016. - 116 с.
9. Омуралиева А., Омуралиев М. Динамика сейсмичности и сейсмическая опасность Тянь-Шаня – активного блока первого порядка литосферы. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2017. - № 1(9). -с. 62–71.
10. Омуралиева А., Омуралиев М. Последовательность исторических землетрясений Земли в целом и периоды сейсмической активизации и затишья. //Наука и Новые Технологии. - 2012. -№3. -с. 90–96.
11. Омуралиева А., Омуралиев М. Последовательность проявления землетрясений, высвобождение сейсмической энергии Земли в целом и её регионах (Азии, США) и оценка сейсмической опасности. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2013. - №1. -с. 85–92.
12. Омуралиев М., Омуралиева А. Опыт слежения за динамикой сейсмичности всей Земли в целом и землетрясение Чили 16 сентября 2015 г.  $M=8.3$ . //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2015. -№2 (6). -с.108-125.
13. Омуралиев М., Омуралиева А. Динамика сейсмических процессов на сопряжении Тихоокеанской, Североамериканской. Южноамериканской, Карибской, Наска, Кокос плит литосферы и землетрясение Мексики 8 сентября 2017 г. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2018. -№1(11). -с.87-100.
14. Омуралиев М., Омуралиева А. «Прогностические параметры: время, сила, место землетрясения Турции  $M_w7.8$ , 06.02.2023 на основе ретроспективного сейсмологического анализа». //Сборник тезисов XI Казахстанско-Китайский международного симпозиума «Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска в Центральной Азии». Казахстан, Алматы. 26–28 сентября 2023 г. -2023. –С.214-219.
15. USGS website - <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>

*Рецензент: чл.-корр. НАН КР, д. г.-м. н., проф. Абдрахматов К.Е.*