

О возможности краткосрочного предсказания сильных землетрясений по метеорологическим данным прогноза развития тропических циклонов

Костин В.М., Овчаренко О.Я., Трушкина Е.П.

Рассматривается взаимосвязь тропических циклонов (ТЦ) и землетрясений в 2023. В данный год происходили экстремальные сближения Луны с Землей. Построенные месячные карты связи сильных $M_w \geq 5.7$ землетрясений в 2023 как с ТЦ, развивавшихся в этом году, так и для более ранних событий, центр землетрясений которых находился на удалении до 100 км, показали, что знание положения и интенсивности ТЦ можно использовать для краткосрочного прогноза сильных землетрясений. Такой прогноз можно дать, используя прогностические метеорологические модели развития ТЦ, как американскую – NCON, так и немецкую – GFS, с глубиной прогноза 5 дней.

Землетрясения в период суперлуния с 15 января по 14 февраля

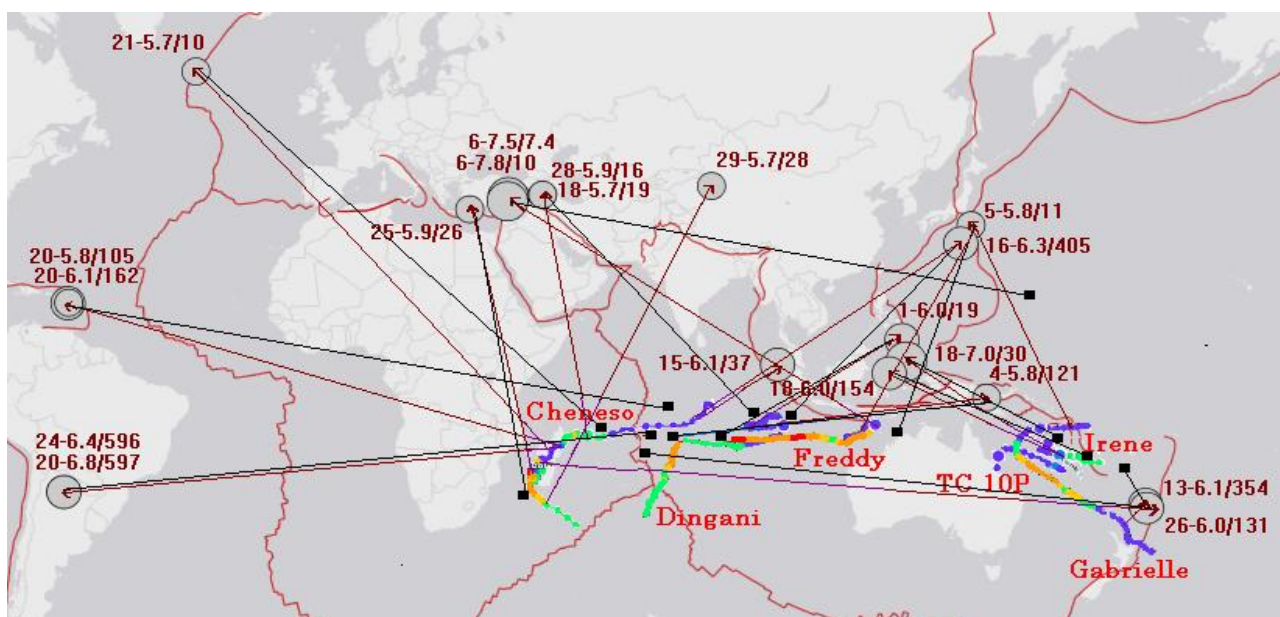


Рис.1. Карта землетрясений $M \geq 5.7$ с 15 января по 14 февраля (USGS) и траекторий ТЦ. Коричневые цифры около очага – день, магнитуда и глубина. Стрелки соединяют центры ТЦ и землетрясений. Черные линии отвечают более ранним событиям.

С 18 по 29 января (новолуние 21), когда около островов Новая Каледония и Мадагаскар развивались ТЦ, в моменты экстремальных приливов и отливов, максимальные за последние 1030 лет, произошли сильные землетрясения. Как следует из рис.1 большинство сильных землетрясений последовало при прохождении ТЦ 10P и Irene около о-ва Н. Каледония и ТЦ Cheneso через Мадагаскар. В период новолуния с 18 по 30 января (время UT) на рис.2

приведена высота приливов на восточном и западном побережье островов Н. Каледония и Мадагаскар соответственно.

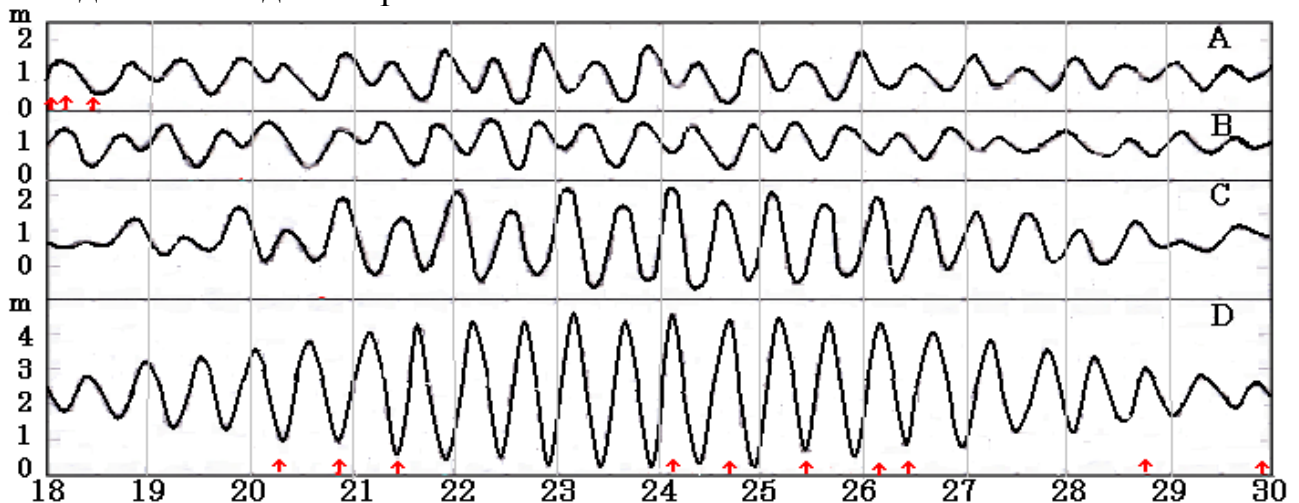


Рис.2. Высота приливов 18–30, 2023 (UT). А. Dumbea 22.17S, 166.42E.
В. Colnett 20.49S, 164.75E. С. Antalaha 14.9S, 50.29E. D. Toliara 23.37S, 43.65E.
Моменты сильных землетрясений отмечены красными стрелками.

Сильнейшее землетрясение $7.0 M_w$ произошло в Молукском море около Tobelo, Индонезия 18 января в 06:06 UT при приближении ТЦ Irene к Н. Каледонии в момент максимального прилива. До следующего прилива в этой области последовало 15 ударов магнитудой 4.5 - 5.0 на глубине $h > 35$ km. В момент отлива 10:08 UT произошло землетрясение в Khowu, Иран. Всего в Молукском море с 18 по 29 января произошло 78 литосферных землетрясений $M_w > 4.5$. После прохождения ТЦ Cheneso о-ва Мадагаскар 25 января в 12:37 UT последовало землетрясение Lardos, Греция в момент максимума отлива. Землетрясение в Khowu, 28 января в 18:14 UT последовало в момент максимума прилива.

Эти острова связаны с Африканской и Австралийской плитами. В моменты отливов возрастает динамический напор ветра ТЦ на возросшую поперечную поверхность островов. В моменты приливов и при подходе ТЦ к островам увеличивается действие приливных и нагонных волн на острова. Оба эти механизма увеличивают момент сил, с которыми острова как рычаг воздействуют на связанные с ними литосферные плиты.

Землетрясения в Иране и Греции показали, что блок коры на Анатолийской плите неустойчив. В полнолуние 6 февраля при резком росте интенсивности ТЦ Freddy последовали катастрофические землетрясения в Турции вдоль неустойчивого блока.

Отметим, что при прохождении ТЦ Harry через Н. Каледонию 1989-02-10 последовало 30 ударов около Tabelo с периодом ~ 11 s, характерным для прибрежных волн [1].

Отметим, также, что землетрясение 2001-06-25 около Kahramanmaras, Турция $5.5 M_w$ произошло при прохождении ТЦ Barbara около острова Honolulu.

Всем ТЦ можно указать землетрясения, акустическое воздействие которого на тропическое возмущение вызвало его самоорганизацию [2, 3].

Землетрясения 15.04 – 14.05 и прогноз на дни конференции ИЗМИРАН

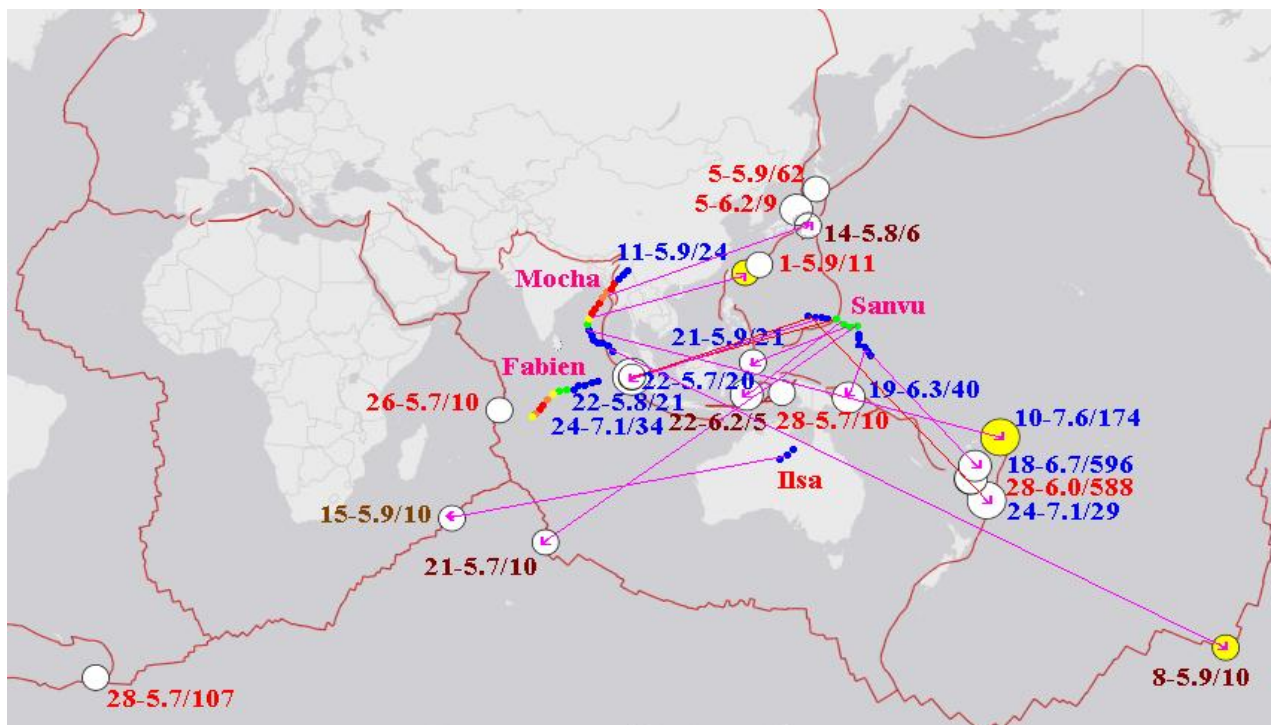


Рис.3. Цифры указывают: дату, магнитуду и глубину землетрясения.
 Цвет: синий – литосферное, очаг глубже 19 км, коричневый – коровое,
 красный – в этот день не было ТЦ. Стрелки исходят из центра ТЦ в момент удара.

Таблица 1. Центры землетрясений $M \geq 5.7$ с 15 апреля по 14 мая и более ранние землетрясения с соответствующими ТЦ

№	День	Координаты (°N/°E)	Удар $M_w/h(km)$	Имя ТЦ 2023	Эпицентр (°N/°E)	Имя ТЦ	Эпицентр (°N/°E)	Дата	Удар M_w
1	04-15	-33.7 / 56.1	5.9 / 10	Ilsa	22 / 134.8	Mitag	11.1 / 149.4	2019-09-24	6.0
2	18	-22.3 / 179.4	6.7 / 580	Sanvu	2.8 / 159.9	Chataan	6.5 / 155.2	2002-06-30	6.5
3	19	-5.9 / 149.6	6.3 / 40	Sanvu	4.8 / 158.4	Vongfong	5.5 / 165.6	2014-10-01	6.6
4	21	-38.6 / 78.1	5.7 / 10	Sanvu	10.2 / 156.2	Maysak	8.9 / 145.4	2015-03-30	5.9
5	21	2.8 / 127	5.9 / 21	Sanvu	10.5 / 156.1	02W	16.6 / 143.2	2011-04-05	5.9
6	22	-5.3 / 125.6	6.2 / 4	Sanvu	10.4 / 153.2	Bonnie	33.6 / -80.4	2016-06-05	6.3
7	22	-0.8 / 98.6	5.8 / 21	Sanvu	11.1 / 153.5	Hinnamnor	27.2 / 146.1	2022-08-28	5.7
8	22	-0.9 / 98.5	5.7 / 20	Sanvu	11.3 / 153	Hinnamnor	27.3 / 145.3	2022-08-29	6.2
9	24	-30 / -177.8	7.1 / 47	Sanvu	11.8 / 151	Niran	-15.9 / 152.5	2021-03-04	7.4
						Marian	-22.6 / 94.6	2021-03-04	
10	24	-0.8 / 98.5	7.1 / 34	Sanvu	12.3 / 148.7	Billy	-14 / 102.5	2022-03-13	6.7
11	26	-9.1 / 67.3	5.7 / 10			Joaninha	-31.6 / 61.1	2019-03-30	5.8
12	28	-60 / -27.9	5.7 / 107			Quang	-18.4 / 110.4	2015-04-30	5.8
13	28	-25.2 / 178.5	6.0 / 588		Без ТЦ			2014-05-04	6.3
14	28	-25.3 / 178.4	6.6 / 563					2014-05-04	6.6
15	28	-4.8 / 133.9	5.7 / 10		антипод	Rafael	14.7 / -62.7	2012-10-12	6.6
16	05.01	26 / 128.6	5.9 / 9			Sarah	-16.9 / -163.2	2010-02-26	7.0
17	05	37.5 / 137.3	6.2 / 10			Becky	-12.6 / 161.2	2007-03-25	6.7
18	05	41.5 / 142	5.9 / 59			Sanvu	17.6 / 139.7	2012-05-23	5.9
19	08	-56 / -121.4	5.9 / 10	Mocha	7 / 92.6	Usagi	8.3 / 145.8	2018-11-15	6.3
20	10	-15.6 / -174.6	7.6 / 210	Mocha	10.9 / 88.4	Matmo	11.5 / 130.6	2014-07-19	6.2
21	11	24.2 / 125.3	5.8 / 22	Mocha	12.2 / 88.1	Morakot	22.7 / 133.2	2009-08-05	6.1
22	14	33.3 / 139.4	5.8 / 13	Mocha	20.2 / 92.7	Bolaven	33.7 / 128.8	2000-07-30	6.5
				Fabien	4.6 / 81.7	Etau	33.6 / 151.7	2009-08-12	6.6

Землетрясения с 11 по 18 апреля произошли без ТЦ, по-видимому, из-за приливных сил [4].

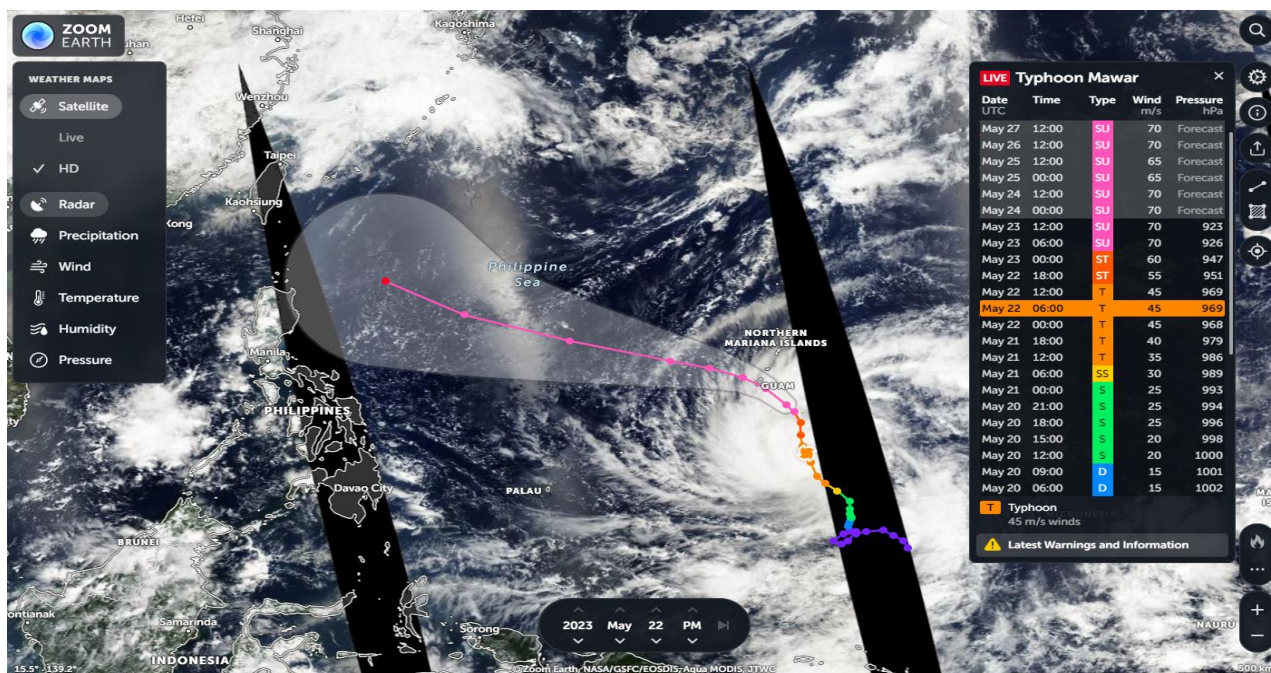


Рис.4. Метеопрогноз циклонической активности от 23.05.2023

24 мая ТЦ Мавар пройдет через Гуам, а 30 мая достигнет о-в Тайвань. 29 мая скорректированный прогноз движения ТЦ дает в 300 км от о-в Тайвань изменение траектории движения на север и прохождение через о-в Окинава.

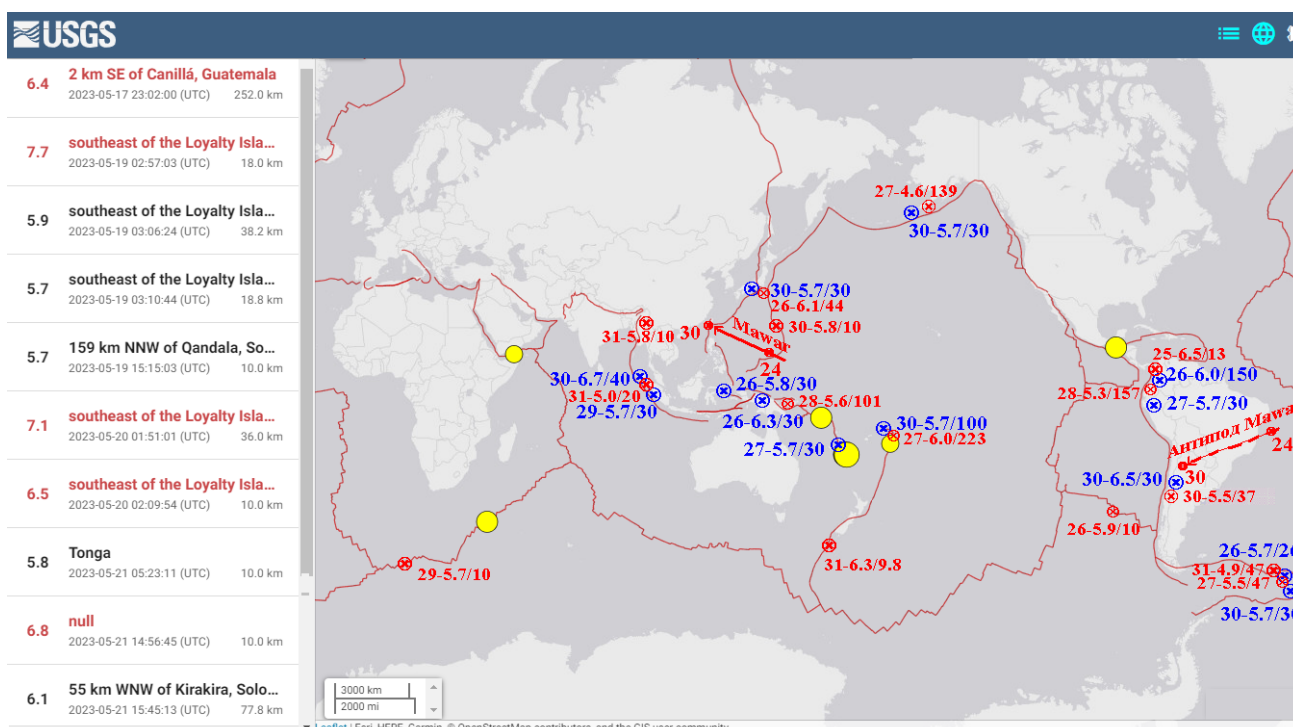


Рис.5. Землетрясения $M \geq 5.7$ с 15 по 22 мая – кружки желтого цвета и прогноз до 31 мая. Синим цветом указаны землетрясения при прохождении ТЦ Мавар Филиппинской плиты (по работам авторов) - прогноз. Красным – реальные землетрясения.

Землетрясения 15.09 – 14.10 и прогноз на дни конференции ИТПЗ РАН

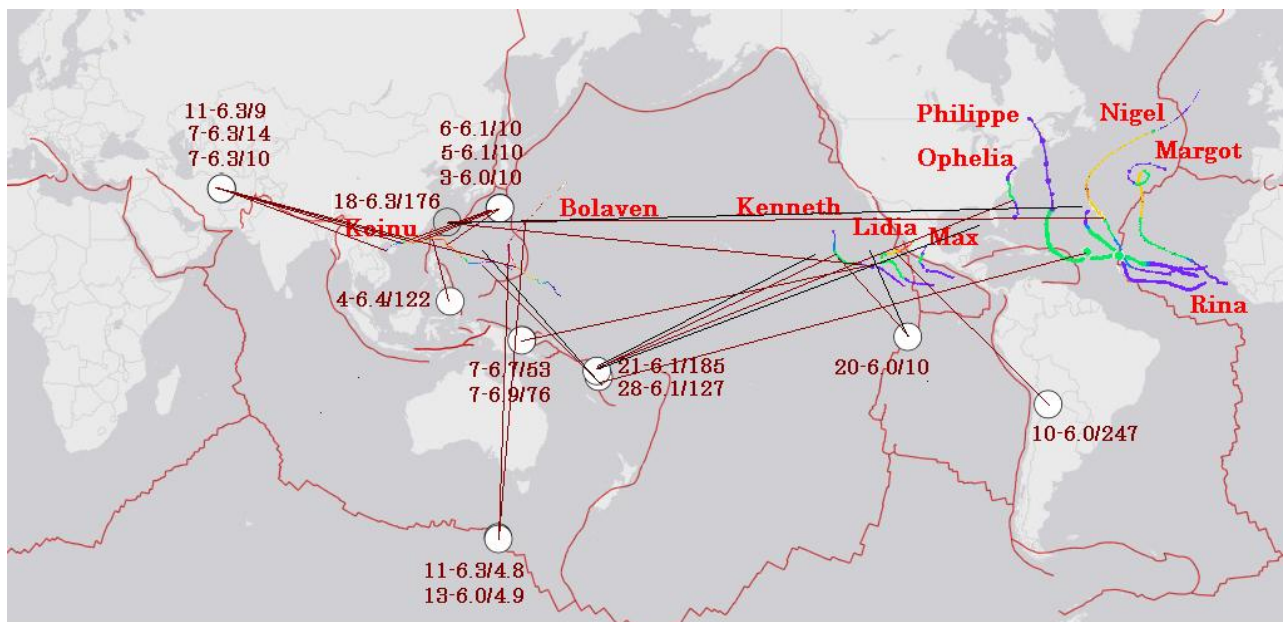


Рис.6. Карта землетрясений $M \geq 6.0$ с 15 сентября по 14 октября (USGS) и траекторий ТЦ. Коричневые цифры около очага – день, магнитуда и глубина. Коричневые линии соединяют центры ТЦ и землетрясений. Черные линии отвечают более ранним событиям.

Таблица 2. Центры землетрясений $M \geq 6.0$ с 15 сентября по 14 октября и более ранние землетрясения с соответствующими ТЦ

№	День	Координаты (°N/°E)	Удар M_w / h(km)	Имя ТЦ 2023	Эпицентр (°N/°E)	Имя ТЦ	Эпицентр (°N/°E)	Дата	Удар M_w / h(km)
1	18-09	26.5 / 125.2	6.3 / 176	Kenneth Nigel	13.7 / -113.9 26.9 / -51.1	24W Sean	16.7 / 109.2 31.5 / -68.2	2011-11-08 2011-11-28	6.9 / 126
2	20	-4.6 / -105.6	6.0 / 10	Kenneth	15.3 / -123.5	Sergio	15.2 / -105.8	2006-11-19	6.1 / 10
3	21	-14 / 167.2	6.1 / 185	Kenneth Ophelia	17.7 / - 125.7 29.2 / -75.6	Linda Arace	17.9 / -130.7 19 / -80.8	2021-08-18 2021-08-18	6.9 / 93
4	28	-15.6 / 167.7	6.1 / 127	Koinu Philippe	15.8 / 138.5 18.7 / -54.8	Champi	22.5 / 139.9	2015-10-20	7.1 / 135
5	03-10	29.9 / 140	6.0 / 10	Koinu	21.6 / 124.6	Xavier	-15.3 / 171.3	2006-10-23	6.4 / 11
6	04	5.3 / 126.1	6.4 / 122	Koinu	22 / 122	Nida	19.1 / 139.4	2009-11-28	6.1 / 38
7	05	29.9 / 140	6.1 / 10	Koinu	22.1 / 120.5	Xavier	-15.3 / 171.3	2006-10-23	6.4 / 11
8	06	30 / 140	6.1 / 10	Koinu	21.8 / 117.3	Xavier	-15.3 / 171.3	2006-10-23	6.4 / 11
9	07	34.6 / 61.9	6.3 / 14	Koinu	21.1 / 115.2	Blas	22.3 / -117.2	2004-07-14	4.6 / 10
10	07	34.6 / 61.9	6.3 / 10	Koinu	21.1 / 115.2	Blas	22.3 / -117.2	2004-07-14	4.6 / 10
11	07	-5.6 / 146.1	6.7 / 53	Lidia	15.7 / -112	Norbert	13.2 / -106.4	2020-10-07	6.3 / 106
12	07	-5.5 / 146.2	6.9 / 76	Lidia	15.7 / -112	Estelle	15 / -95	2010-08-04	6.5 / 220
13	10	-22.9 / -66.2	6.0 / 247	Lidia	18.7 / -109	Rachel	14.9 / -105	2014-09-24	6.2
14	11	34.6 / 62	6.3 / 9	Koinu Bolaven	19.3 / 107.8 17.1 / 144	Blas	22.3 / -117.2	2004-07-14	4.6 / 10
15	11	-52.1 / 139.6	6.3 / 4.8	Bolaven	20.1 / 142.9	Sergio	13.5 / -102.8	2006-11-16	6.1 / 10
16	13	-51.8 / 139.5	6.0 / 4.9	Bolaven	25.6 / 146.8	Winston	-23.6 / 157	2016-02-28	6.1 / 10

После 15 ноября сформировались следующие ТЦ: 06В - в Индийском океане, Lola - в юго-западной части Тихого океана, Norma и Otis - около западного берега Мексики и Тамму – в Атлантическом океане. Их траектории представлены на рис. 7.

06В – 25 октября подойдет к границе Индии-Бангладеш (22.6 N, 95.6 E – прогноз). Сильнейший ТЦ «Бангладеш» 29 ноября 1988 в этой области привел к

III Всероссийская научная конференция с международным участием «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений» (25-26 октября 2023 г. ИТПЗ РАН, Москва)

наводнению, погибло 6240 человек, а на следующий день здесь произошло землетрясение 6.1 M_w на глубине 14,5 км. Ожидается землетрясение 26 ноября в 3:30 UT, когда прилив достигнет максимума высотой 3 м.

Lola – 26 ноября в 12:00 UT подойдет к о-ву Новая Каледония (19 S, 165.9 E – прогноз), максимум прилива в 16:57 UT. ТЦ Irene-2023 и Harry-1989 вызвали серию землетрясений в Молукском море, главный удар 7.0 M_w , последующая серия имела характерный период 11-12 с.

Otis – 26 ноября пройдет около Акапулько, Мексика. Ожидаются землетрясения в Аргентине, Вануату и Индонезии.

Tammy – 25-26 ноября меняет направление движения и подходит к Бермудским островам. Ожидаются землетрясения в диаметрально противоположной области – эффект антипода.

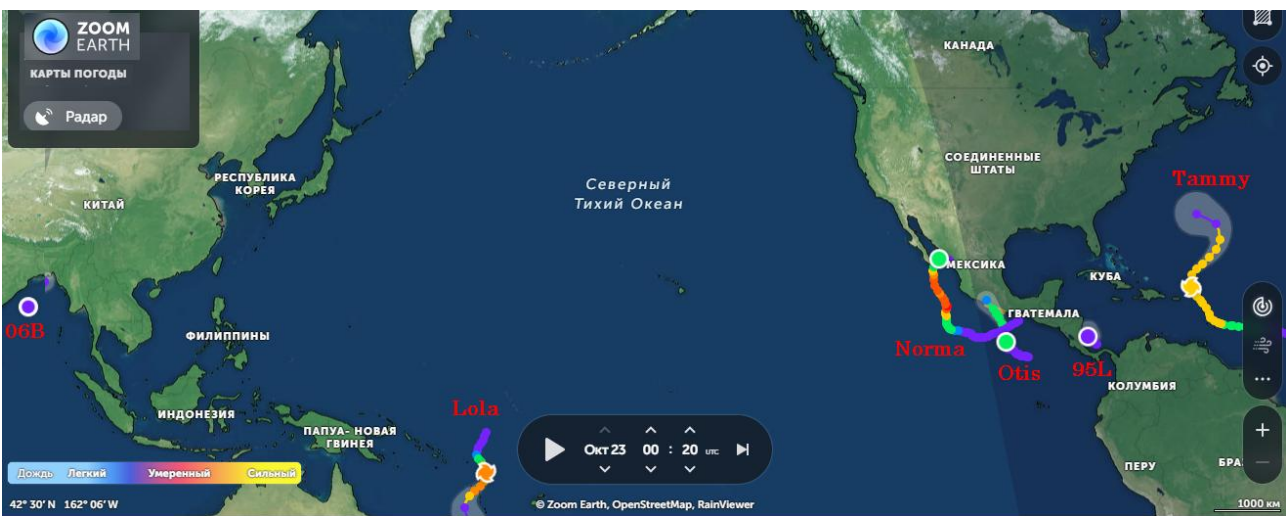


Рис.7. Метеопрогноз циклонической активности от 23.10.2023.

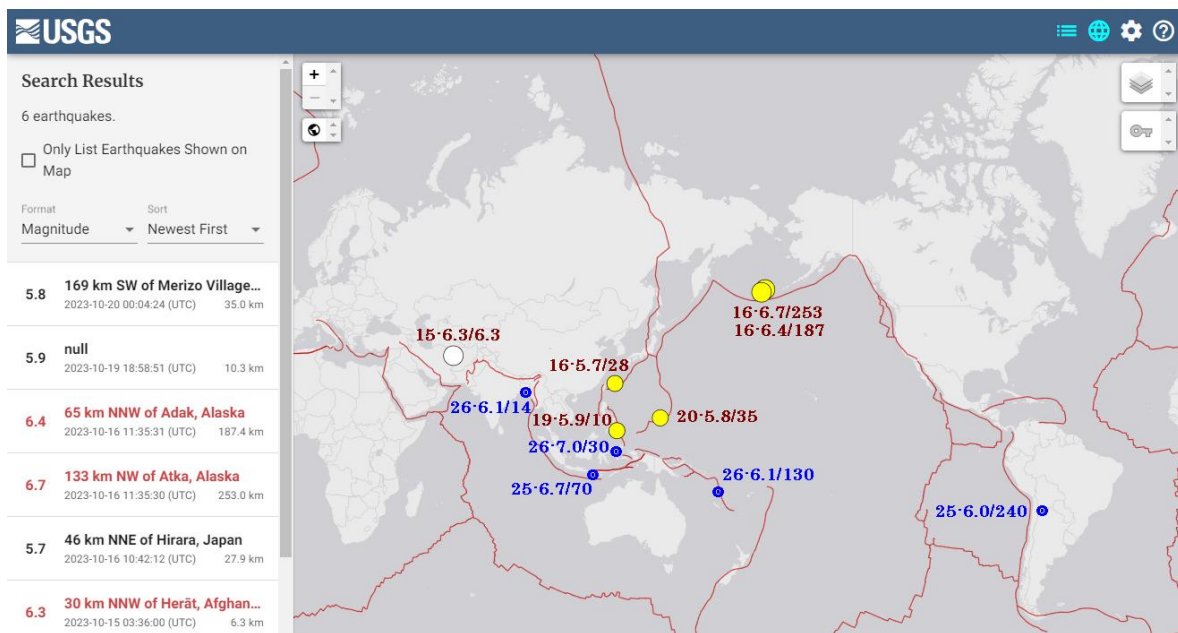


Рис.8. Землетрясений $M \geq 5.7$ с 15 по 23 октября (USGS). Коричневые цифры около очага – день, магнитуда и глубина. Синим цветом указаны землетрясения - прогноз.

Землетрясения, которые вызвали усиление тропических возмущений

Таблица 3. ТЦ сформировавшиеся после землетрясения Landers до ПЯВ Hunters Trophy [5]

№	1992 Дата	Землетрясение				Тропический циклон				
		M _w	Центр °с.ш./°в.д.	Время (UT)	Глубина h, км	Имя	Центр °с.ш./°в.д.	Ветер км/час	Δt, час	s, км
1	1 июль	5.3	34.3/-116.5	07:40	5.1	Darby	12.5/-95.0	46	4.3	3253.9
2	8 июль	5.2	7.4/126.8	23:09	52.9	Ely	13/136	35	1	1883.4
3	9 июль	4.9	34.2/-116.8	01:43	-1.9	Estelle	11.7/-108.4	46	4.3	2642.6
4	13 июль	4.7	12.7/-89.2	03:41	93.2	Frank	14.1/-105.8	46	2.3	1801.8
5	13 июль	6.3	-3.9/-76.6	18:11	96.5	Georgette	10.8/-94.2	46	18	2542.8
6	15 июль	5.6	1.3/123.2	06:34	44.1	TS Faye	18.9/117.6	46	17.5	2049.9
7	18 июль	6.0	39.3/143.0	21:18	36.7	Gary	14.9/124.8	46	2.7	3242.2
8	24 июль	5.5	-11.9/166.2	18:15	57.5	TS Helen	25/157.2	46	24	4017.4
9	24 июль	4.8	29.3/90.2	06:24	33	TC 04B	17/87.1	46	30	1409.7
10	26 июль	4.5	-7.8/-97.4	04:15	229	TS Howard	13.1/-114.1	46	2	2966.9
11	27 июль	5.2	50.2/-130.1	04:21	10.0	TS Isis	14.4/-106.1	46	19.7	4531.9
12	29 июль	5.1	-29.5 /-72.8	18:31	10.0	Javier	12.3/-103.6	46	23.5	5701.6
13	31 июль	5.4	10.1/126.2	14:02	47.6	Irving	22.8/131.2	46	10	1508.9
14	2 авг	6.6	-7.1/121.7	12:03	485.9	Janes	10/145.7	46	9.5	3267.7
15	4 авг	6.4	-12.1/166.6	21:08	91	Kent	9.8/169.4	55	18	2454.6
16	14 авг	5.2	24.1/121.7	17:26	15.1	TS Lois	15.8/129.3	46	12.5	1216.9
17	14 авг	5.2	24.1/121.7	17:26	15.1	TS Mark	19.7/117.5	46	13	653.4
18	15 авг	5.9	5.1/-75.6	19:02	119	Andrew	10.8/-35.5	46	25	4457.4
19	17 авг	4.9	-3.7/151.7	10:09	358.7	TS Nina	27.6/158.3	46	8	3551.4
20	17 авг	5.2	34.2/-116.9	20:41	9.4	TS Kay	19.1/-111.4	46	9	1374.5
21	18 авг	4.6	19/-106.7	03:55	20.7	Lester	15.5/ -106.0	46	44	396.2
22	24 авг	6.2	42.0/140.7	06:59	120.5	Omar	8.6/155.4	55	5	3983.5
23	25 авг	5.0	-5.5/146.7	06:58	235.9	TS Polly	17.4/136.9	46	5	2764.4
24	27 авг	4.0	18.2/-101.4	08:11	96.1	TS Madeline	12.9/-123.4	55	10	2427.2
25	27 авг	4.0	18.2/-101.4	08:11	96.1	TS Newton	11.1/-107.3	46	3.9	1012.6
26	31 авг	4.8	14.2/145.2	10:06	33	Ryan	17.1/149.6	64	14	570.8
27	2 сент	7.7	11.7/-87.3	00:16	44.8	Orlene	9.9/-102.5	55	18	1671.9
28	5 сент	5.5	-3.9/142.6	20:06	43.3	Sibyl	20.7/166.4	55	28	3770.9
29	5 сент	6.0	12.0/-87.3	21:48	10.0	Iniki	11.9/-135.9	46	2.3	5279.4
30	10 сент	5.9	10.2/-86.5	15:03	26.5	Paine	18.7/-112.8	55	9	2980.9
31	13 сент	5.6	11.6/-86.7	10:53	27.8	Roslyn	16.8/-111.0	46	1	2680.2

Δt – время, s – расстояние от удара до самоорганизации ТЦ

Таблица 4. ТЦ сформировавшиеся с 13 января по 14 мая 2023 [3]

№	2023 Дата	Землетрясение				Тропический циклон				
		M _w	Центр °ю.ш./°в.д.	Время (UT)	Глубина h, км	Имя	Центр °ю.ш./°в.д.	Ветер м/с	Δt, час	s, км
1	13.01	5.0	0.2/129.7	1:19	10	Cheneso	8/81.3	10	5	5432
2	15.01	5.2	15.5/168.1	5:32	19.5	Irena	15.4/159.7	10	6	900
4	16.01	4.7	10.9/166.7	21:30	11	TC 10P	20.7/148.1	10	2.5	2266
8	28.01	4.8	6.6/129.8	15:48	164	Dingani	10.4/97.5	10	2	3575
9	3.02	4.2	6.6/129.7	2:03	160	Freddy	14.9/112.9	10	4	2052
10	4.02	5.3	21.8/186.1	5:09	10	Gabrielle	11.6/167	10	7	1788
17	23.2	5.0	19.1 /-173.7	11:43	42	Judy	13.3/-177.8	10	18	779
18	25.2	6.2	6.1/149.8	21:25	34	Kevin	14.6/146.5	10	21	1012
19	18.2	4.3	-4.3/94.4	8:12	22	Enala	10/91.3	10	16	1627
21	26.3	4.5	-5.3/94.5	2:53	51.8	Herman	10.5/95.2	10	21	1758
23	5.4	4.1	7.2/129.5	16:53	111	Ilsa	7.6/132.7	10	7	356
25	18.4	4.9	7.5/156.1	16:51	71	Sanvu	-2.6/159.6	10	7	1188
27	6.5	4.6	11.1/122	22:34	10	Mocha	-6.1/93.5	10	13	3688
29	11.5	4.9	-1.2/97.1	14:36	34.6	Fabien	2.2/89.6	10	12	915

Выводы

Методы и материалы для краткосрочного предсказания землетрясений:

1. Метод основан на предположении, что локализация и интенсивность наиболее сильного тропического циклона - триггер землетрясений, которые произошли ранее при аналогичном развитии ТЦ.
2. Материалами служат метеорологические модели развития ТЦ, такие как американская NCON или немецкая GFS, с глубиной прогноза до 5 дней.
3. Совместные карты сильных землетрясений и траекторий движения ТЦ.
4. Ежедневный мониторинг землетрясений $M_w \geq 4.5$ на удалении до 3500 км от центров тропических возмущений и ослабленных ТЦ.
5. Дополнительно, при приближении ТЦ к зонам экстремальных приливов, моменты максимальных и минимальных приливов.
6. Если среднесрочные прогнозы сильных землетрясений [6-8] дополнить триггерами ТЦ, то можно, опираясь на существующие метеорологические модели, прогнозировать отдельные сильные землетрясения за 3-5 дней.

Литература

1. Костин В.М., Беляев Г.Г., Овчаренко О.Я., Трушкина Е.П. Особенности взаимосвязи тропических циклонов и землетрясений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 19. № 1. С. 125-139. 2022. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-125-139
2. Костин В.М., Овчаренко О.Я., Трушкина Е.П. Особенности воздействия тропических циклонов на литосферные плиты в суперлуние 2023. Краткосрочный прогноз сильных землетрясений // Симпозиум «Физические основы прогнозирования гелиофизических процессов и событий». ИЗМИРАН 29-31 мая 2023. <http://www.izmiran.ru>.
3. Абурджания Г.Д., Харшиладзе О.А., Чаргазия Х.З. Самоорганизация ВГВ структур в неоднородной ионосфере. 2. Нелинейные вихревые структуры // Геомагнетизм и аэронавигация. Т. 53. № 6. С. 797–808. 2013. DOI: 10.7868/S0016794013060023
4. Николаев В.А. Пространственно-временные особенности связи сильных землетрясений с приливными фазами. В кн.: Наведенная сейсмичность. М.: Наука. С. 103-114. 1994.
5. Костин В.М., Овчаренко О.Я., Трушкина Е.П. Взаимосвязь динамики тропических циклонов и землетрясений во время афтершоков Landers-92 // Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». ИКИ РАН. С. 369. 2022.
6. Шебалин П.Н. Методология прогноза сильных землетрясений с периодом ожидания менее года // Алгоритмы прогноза землетрясений. М.: ГЕОСС. С. 5-180. 2006. (Вычислительная сейсмология; Вып. 37).
7. Кособоков В.Г., Щепалина П.Д. Времена повышенной вероятности возникновения сильнейших землетрясений мира: 30 лет проверки гипотезы в реальном времени // Физика Земли. № 1. С. 43-52. 2020. DOI: 10.31857/S0002333720010068
8. Завьялов А.Д., Морозов А.Н., Алешин И.М., Иванов С.Д., Холодков К.И., Павленко В.А. Метод среднесрочного прогноза землетрясений «Карта ожидаемых землетрясений» (КОЗ): Опыт использования и перспективы развития // Геофизические процессы и биосфера. Т. 21. № 2. С. 114-131. 2022. DOI: 10.21455/GPB2022.2-6