



**21 Международная конференция «Современные проблемы  
дистанционного зондирования Земли из космоса,  
ИКИ РАН, 13-17 ноября 2023**

## **Прогноз сильных землетрясений по данным развития тропических циклонов**

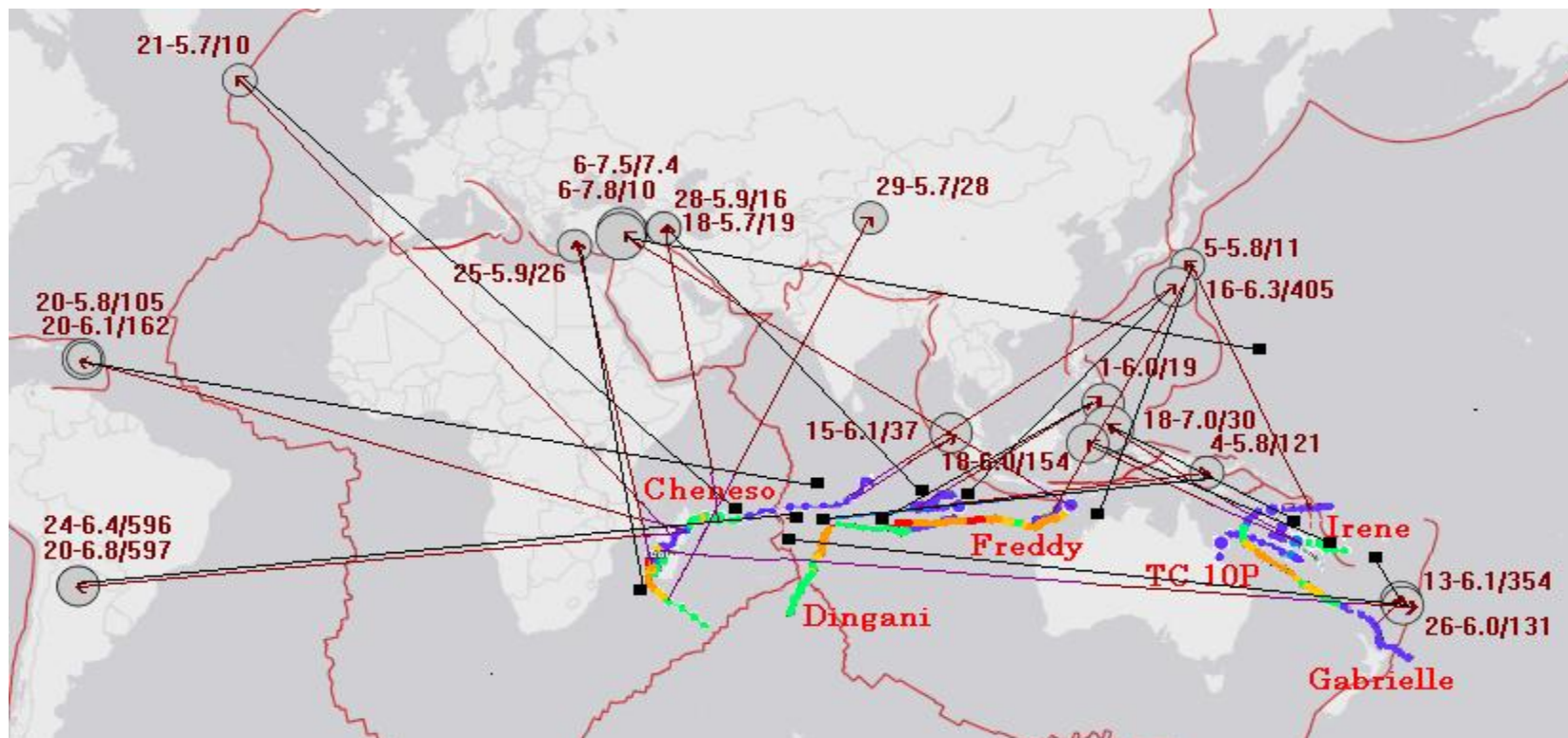
**Костин В., Беляев Г., Овчаренко О. , Трушкина Е.**

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
имени Н.В.Пушкова Российской Академии Наук  
[kostin@izmiran.ru](mailto:kostin@izmiran.ru)*

# Метод 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. Материалом служат метеорологические модели развития ТЦ, такие как американская NCON или немецкая GFS, с глубиной прогноза 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 дополнить триггерами ТЦ [1, 2], то можно, опираясь на метеорологические модели, прогнозировать отдельные сильные землетрясения за 3-5 дней.

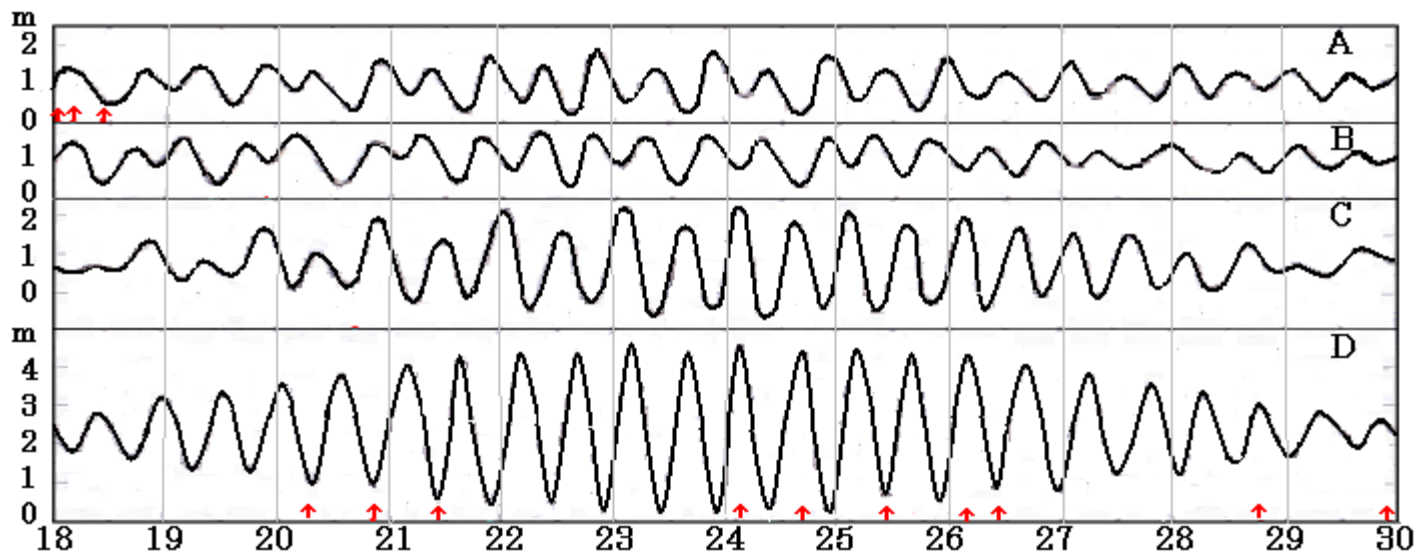
# Землетрясения $M \geq 5.7$ в период суперлуния с 15 января по 14 февраля 2023



Коричневые цифры около очага – день, магнитуда и глубина. Стрелки соединяют центры ТЦ и землетрясений. Черные линии отвечают более ранним событиям.

Большинство сильных землетрясений последовало при прохождении ТЦ 10P и Irene около о-ва Н. Каледония и ТЦ Cheneso через Мадагаскар.

# Высота приливов 18–30, января 2023 (UT)

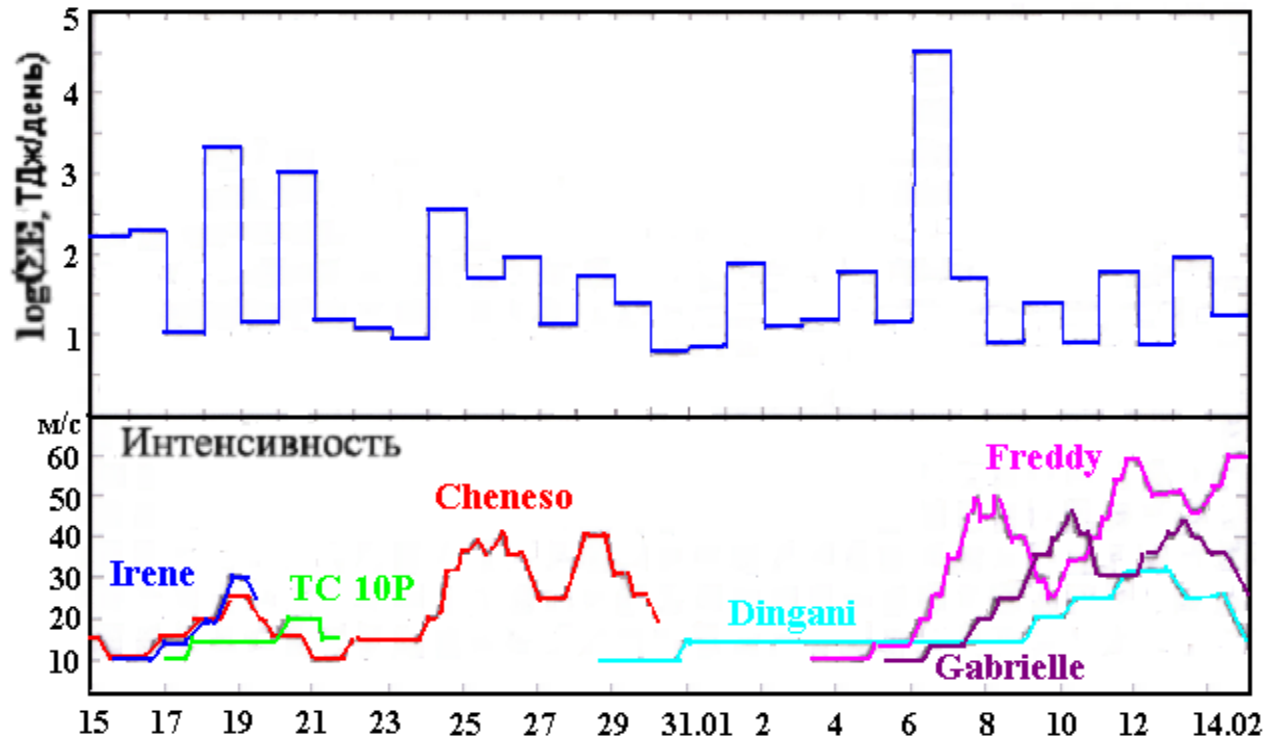


A. Dumbea 22.2S, 166.4E. B. Colnett 20.5S, 164.7E. C. Antalaha 14.9S, 50.3E. D. Toliara 23.4S, 43.6E.

Моменты сильных землетрясений отмечены красными стрелками.

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 которым острова как рычаг воздействуют на связанные с ними литосферные плиты.

# Корреляционные связи интенсивности ТЦ с энергией землетрясений



При построении гистограммы учитывались 626 землетрясений глубиной  $h > 19$  км, а в Турции  $h > 14,5$  км,  $M_w > 4,5$ ,  $E$ -энергия отдельных ударов вычислялась из формулы

$$M_w = 2/3 (\lg E - 4,8)$$

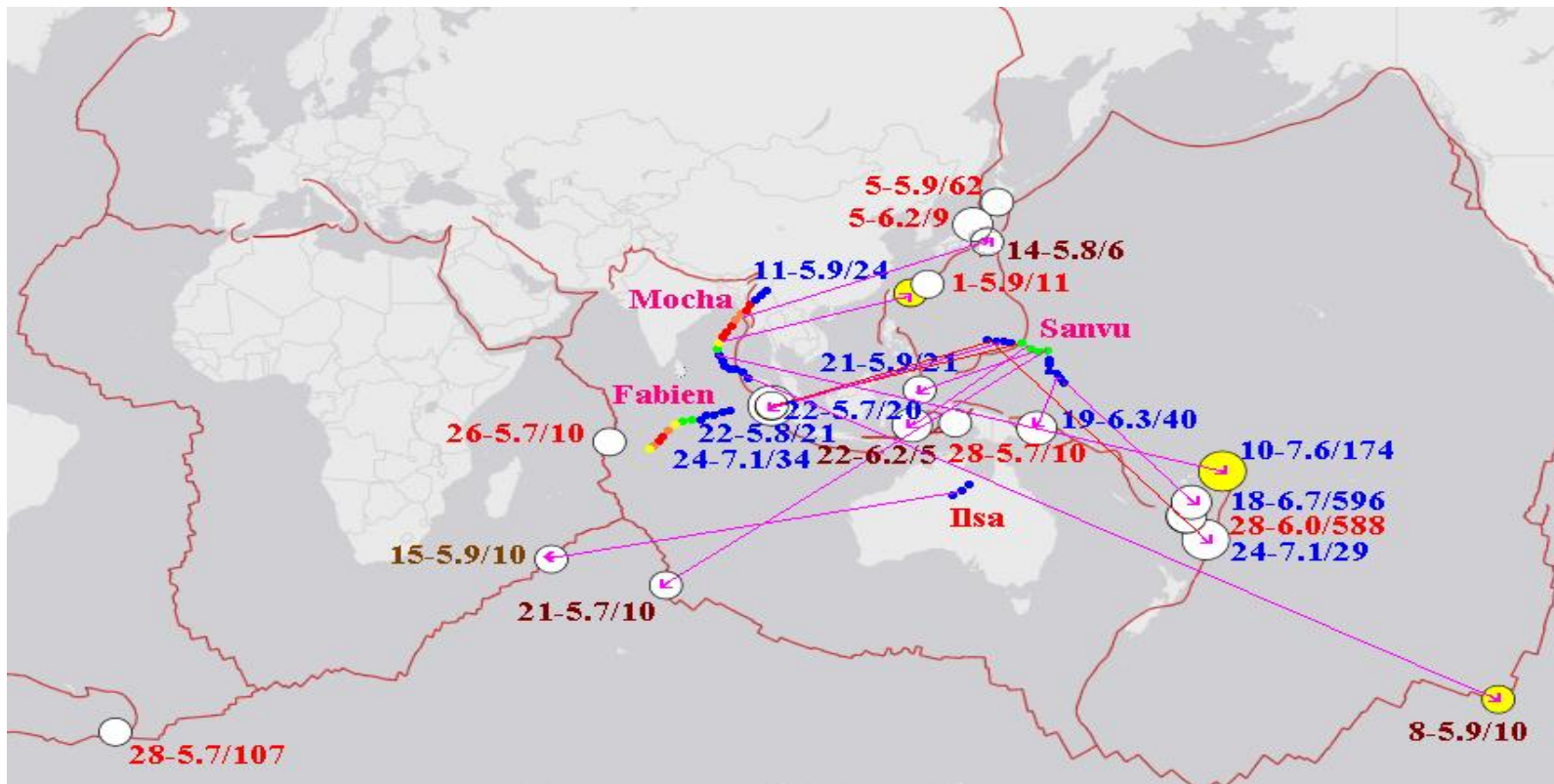
# О землетрясениях 18 января – 6 февраля

Сильнейшее землетрясение 7.0 Mw 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.

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

Всем ТЦ можно указать землетрясения, акустическое воздействие которого на тропическое возмущение вызвало самоорганизацию [3-5].

# Землетрясения $M \geq 5.7$ 15.04 – 14.05.2023



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.

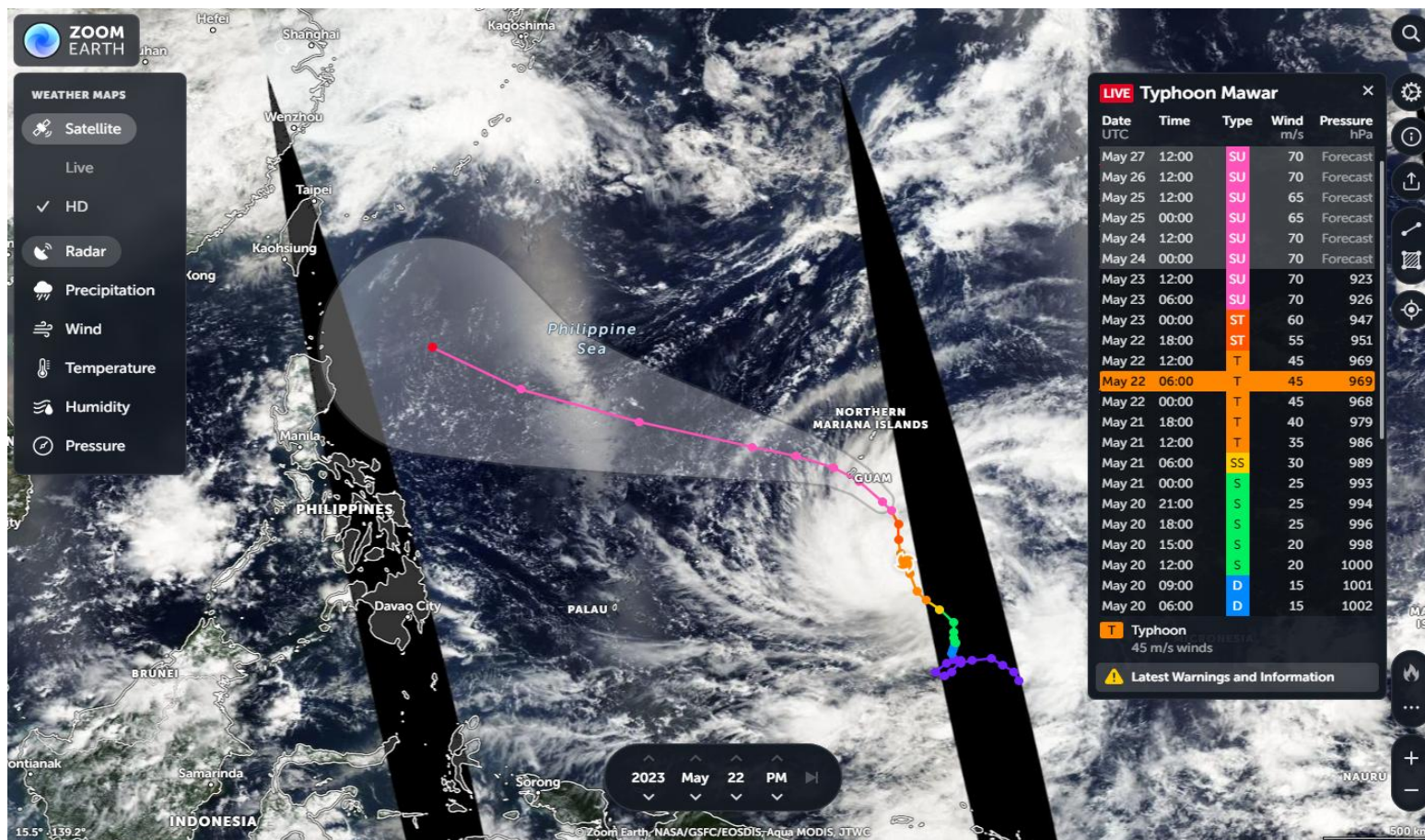
## Центры землетрясений $M \geq 5.7$ с 15 апреля по 14 мая и более ранние удары с соответствующими ТЦ

№	День	Координаты (°N/°E)	Удар $M_w$ / h(km)	Имя ТЦ 2023	Центр ТЦ (°N/°E)	Имя ТЦ	Центр ТЦ (°N/°E)	Дата	Удар $M_w$
1	04-15	-33.7 / 56.1	5.9 / 10	Pisa	22 / 134.8	Mitag	11.1 / 149.4	2019-09-24	6.0
2	18	-22.3 / 179.4	6.7 / 580	Sarvu	2.8 / 159.9	Chataam	6.5 / 155.2	2002-06-30	6.5
3	19	-5.9 / 149.6	6.3 / 40	Sarvu	4.8 / 158.4	Wongfong	5.5 / 165.6	2014-10-01	6.6
4	21	-38.6 / 78.1	5.7 / 10	Sarvu	10.2 / 156.2	Maysak	8.9 / 145.4	2015-03-30	5.9
5	21	2.8 / 127	5.9 / 21	Sarvu	10.5 / 156.1	02W	16.6 / 143.2	2011-04-05	5.9
6	22	-5.3 / 125.6	6.2 / 4	Sarvu	10.4 / 153.2	Bornie	33.6 / -80.4	2016-06-05	6.3
7	22	-0.8 / 98.6	5.8 / 21	Sarvu	11.1 / 153.5	Himmannor	27.2 / 146.1	2022-08-28	5.7
8	22	-0.9 / 98.5	5.7 / 20	Sarvu	11.3 / 153	Himmannor	27.3 / 145.3	2022-08-29	6.2
9	24	-30 / -177.8	7.1 / 47	Sarvu	11.8 / 151	Niran	-15.9 / 152.5	2021-03-04	7.4
						Marian	-22.6 / 94.6	2021-03-04	7.4
10	24	-0.8 / 98.5	7.1 / 34	Sarvu	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		англтод	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			Sarvu	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 без ТЦ можно объяснить приливными силами [6]

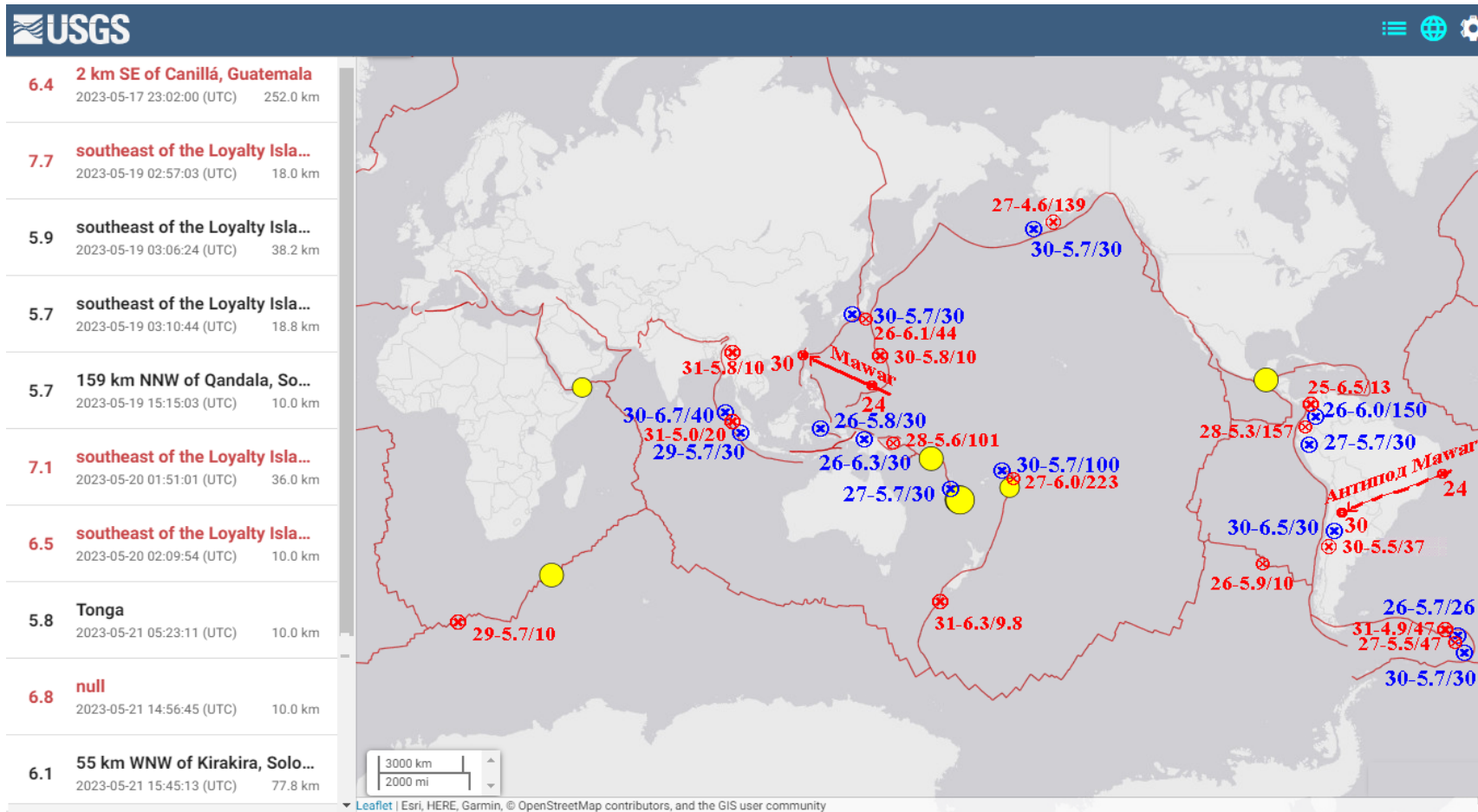


# Метеопрогноз циклонической активности от 23.05.2023



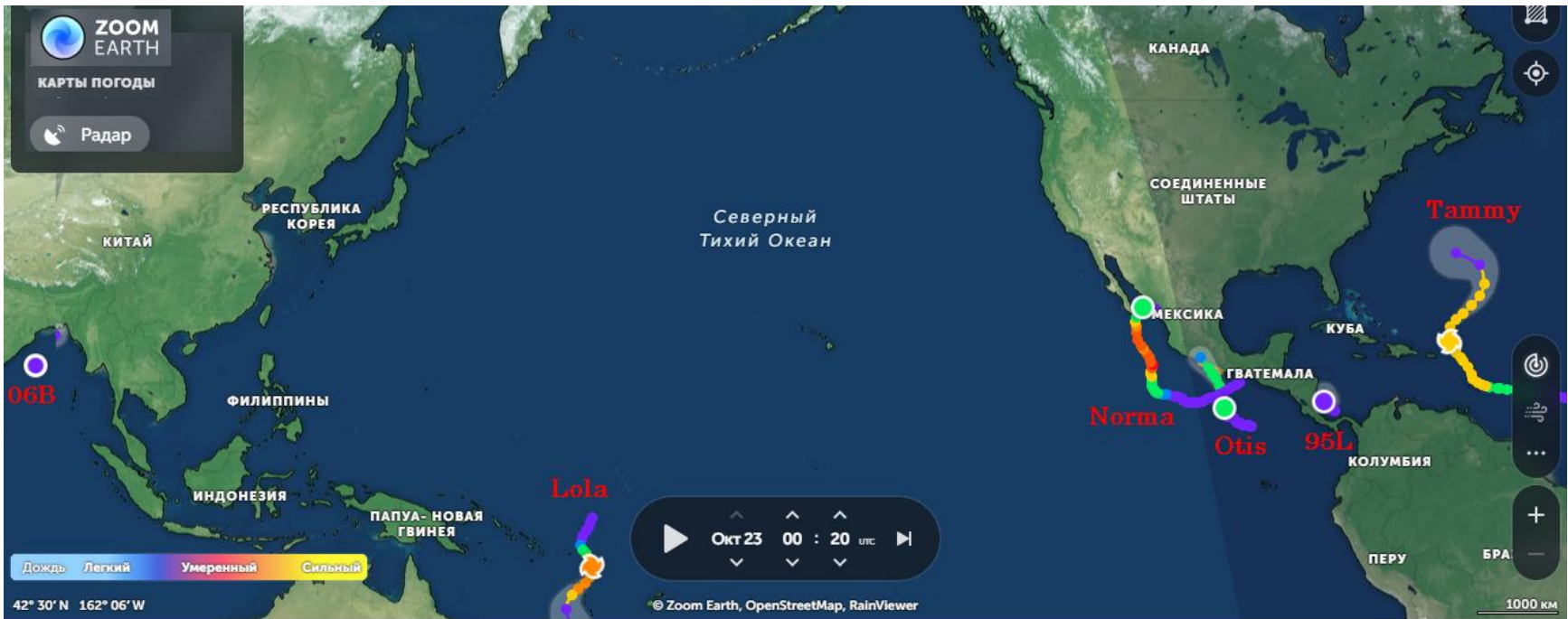
24 мая ТЦ Мавар пройдет через Гуам, а 30 мая достигнет о-в Тайвань.  
29 мая скорректированный прогноз движения ТЦ дает в 300 км от о-в Тайвань  
изменение траектории движения на север и прохождение через о-в Окинава.

# Прогноз землетрясений 26-30 мая 2023 на дни конференции ИЗМИРАН



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 и антиподом Южной Америки - прогноз. Красным – реальные землетрясения. <sup>10</sup>

# Метеопрогноз циклонической активности от 23.10.2023



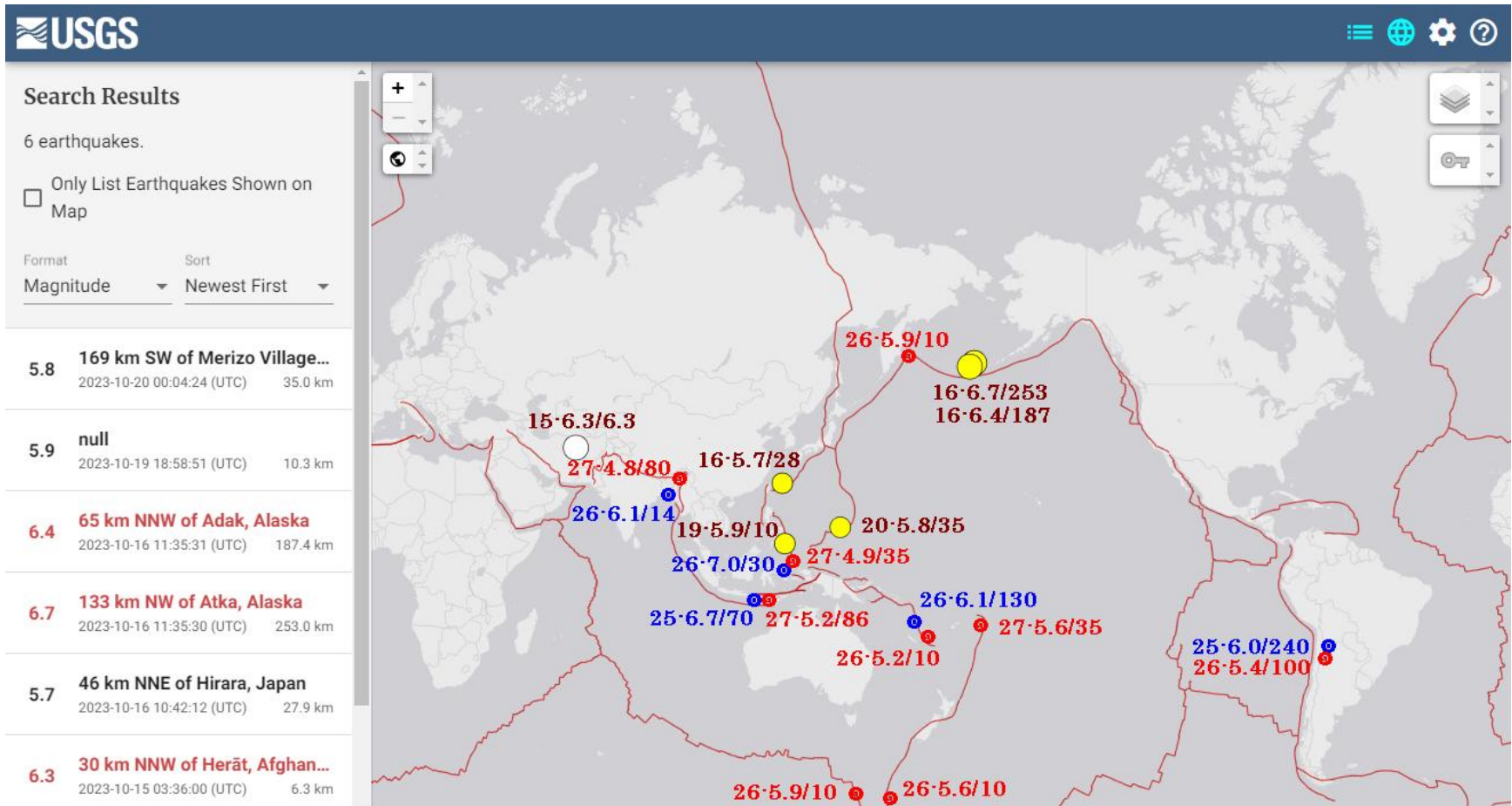
06B – 25 октября подойдет к границе Индии-Бангладеш (22.6 N, 95.6 E – прогноз). Ожидается землетрясение 26 ноября в 3:30 UT, когда прилив достигнет максимума 3м.

Lola – 26 ноября в 12:00 UT подойдет к о-ву Новая Каледония (19 S, 165.9 E – прогноз),

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.

# Прогноз землетрясений на 26-27 октября дни конференции ИТПЗ РАН



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

# Обсуждение прогноза землетрясений на 26-27 октября

№	2023	Координаты (°N/°E)	$M_w /$ $h, km$	UT	Имя ТЦ 2023	Центр ТЦ (°N/°E)	Имя ТЦ	Центр ТЦ (°N/°E)	Дата	$M_w /$ $h, km$
1	26	-58.9 / 148.9	5.9 / 10	07:21	Lola	-18.2 / 165.4	Oma	-25.6 / 164	2019-2-24	5.4 / 10
2	26	56.1 / 164.8	5.9 / 10	16:05	Lola	-18.5 / 165.2	Oma	-21.1 / 167.3	2019-2-25	5.0 / 105
							Freda	-21.3 / 167.3	2013-1-2	4.6 / 28
3	26	-61.1 / 160.7	5.6 / 10	19:20	Lola	-19 / 165?	Freda	-18.1 / 161.4	2012-12-31	5.2 / 10
4	26	-28.7 / -70.3	5.4 / 100	21:49	Tammy	31.2 / -59.8	Gordon	22.8 / -58.2	2006-9-12	6.0 / 114
				21:49	Otis	18.7 / -100.7	Paul	14.7 / -111.9	2018-9-7	5.8 / 93
5	26	-23 / 170.2	5.2 / 10	23:26	Otis	18.7 / -100.7	Norma	12.7 / -105.8	2023-10-17	5.6 / 10
6	27	-17.6 / -173.8	5.6 / 35	03:02	Otis	19 / -100?	Hermire	16.4 / -95.4	2010-9-4	6.1 / 69
				03:02	Pilar	10.3 / -90				
7	27	-9.6 / 120.1	5.2 / 86	07:49	Tammy	32 / -61	Leslie	32.4 / -54.9	2018-10-1	6.0 / 29
8	27	2.35 / 126.8	4.9 / 35	10:05	Lola	-19.6 / 164?	Irene	-18 / 163	2023-1-18	7.0 / 30
9	27	26.2 / 95.5	4.8 / 80	23:23	Hamoon	26 / 95?	Bangladesh	24 / 90.5	1988-11-30	6.1 / 14.5

В табл. приведены 4 землетрясения  $M \geq 5.6$  и 5 землетрясений около районов прогноза на 26-27 октября. В следующих колонках приведены параметры ТЦ, которые, как предполагается, послужили триггерами этих землетрясений. Так как одновременно развивалось несколько ТЦ, то рассматривалась история землетрясений в радиусе 100 км от очага исходных. Выбирались близкие ТЦ по траектории движения, которые сопровождалась наиболее сильными землетрясениями. Их параметры указаны в последней колонке. В случае совпадения нескольких ТЦ в разных регионах, указывались оба (случай № 4). Траектории некоторых ТЦ после их диссипации пролонгировались на следующие сутки, центры ТЦ указаны с вопросом.

Наиболее сильные землетрясения произошли, когда 26 октября ТЦ Lola подошел к о-ву Н. Каледония во время максимума приливов в Dambeo 22.2 S 166.4 E, первый был в 7:10 UT, а второй в 19:36 UT.

Такая ситуация по 1-2 землетрясения на южной границе Австралийской плиты и одновременно на северной границе Тихоокеанской плиты наблюдалась в 2019 и в 2013 при прохождении ТЦ Oma и ТЦ Freda около Н. Каледония.

Причина этих землетрясений заключалась в том, что Н. Каледония – рычаг, который под воздействием нагонных волн ТЦ:

- пытается опустить южный край Австралийской плиты и в области наибольшего напряжения плита отрывается от корового блока, происходит землетрясение на характерной глубине 10 км.
- пытается поднять северный край Австралийской плиты надвинутой в данном широтном секторе на Тихоокеанскую плиту, соответственно, северный край которой пытается опуститься, поэтому на севере Камчатки или вдоль Алеутских о-в в области наибольших напряжений происходит удар.

Обычно, более сильное воздействие ТЦ на о-в Н. Каледония вызывает изменение напряжения и в других плитах. Сброс напряжения происходит в области схождения 4-х больших плит - в Моллукском море ударом в Mw >7 [3]. В данном случае только одно землетрясение произошло в Моллукском море № 8, табл.5. Оно могло быть вызвано, как возмущенной областью от ТЦ Lola, так и воздействием антипода ТЦ Tammy.

Напряженное состояние в этой области было сброшено после большой серии землетрясений в январе 2023. Также по одному удару 4.5 и 4.6 здесь произошло при прохождении ТЦ Freda и Oma.

Наиболее интересный, оправдавшийся по месту прогноз, был связан с приближением ТЦ Tammy к Бермудским о-вам.

Десятилетние наблюдения на большой сети сейсмостанций США показали, что прохождении ТЦ в шельфовой зоне вызывает определенный класс сейсмических колебаний [7]. Похожую зависимость следует ожидать при прохождении ТЦ около системы ряда островов. Прохождение двух ТЦ пятой категории в ноябре 1990 около системы островов в Тихом океане показало, что целый класс землетрясений можно связать с прохождением антипода [8].

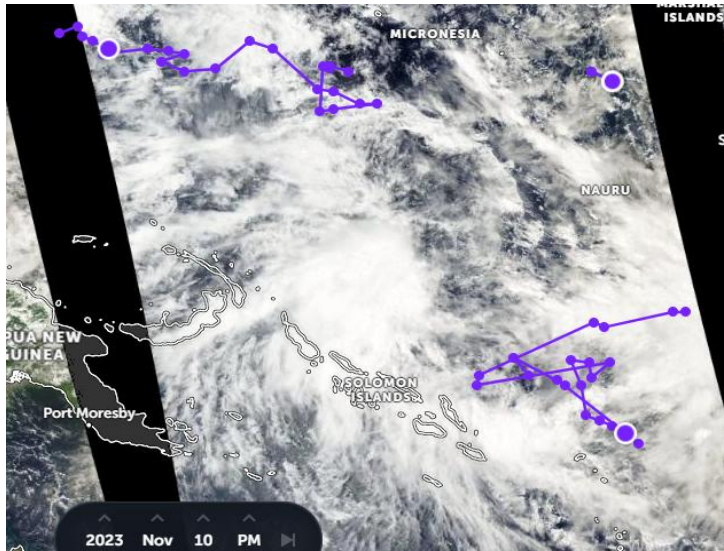
Так в октябре 2018 при приближении к Бермудским о-вам ТЦ Leslie произошло землетрясение около Waingaru, Индонезия, табл.5, в области антипода.

Развитие ТЦ около побережья Мексики и Никарагуа обычно сопровождается землетрясениями вдоль Чилийского разлома, разломов Тонга-Кермадек и Вануату [9]. Для них были подобраны аналоги (табл. 5).

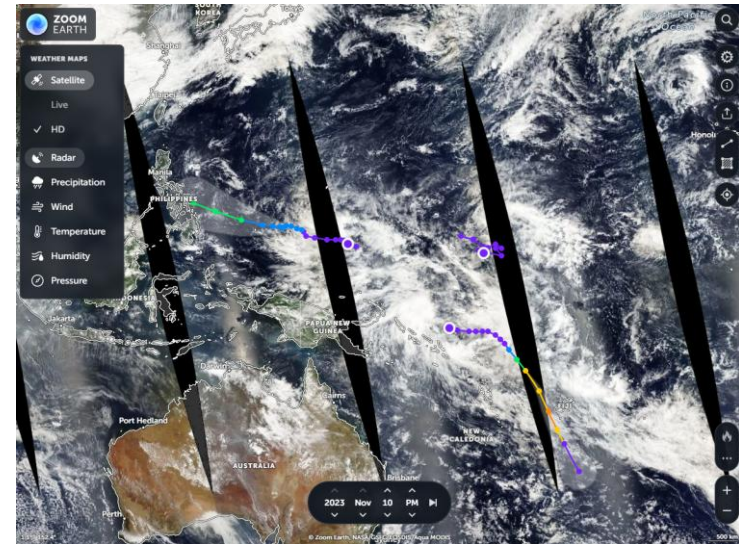
Чтобы разобраться в обилие возможностей имеющих здесь необходимо создать программу на основе нейросетей.

Особняком стоит прогноз при развитии ТЦ Намоон (06В). Он основан на единичном экстремальном событии, нет достаточной статистики. Землетрясение 4.8 Mw произошло в области, которую должен был достигнуть ТЦ на следующий день после начала его диссипации.

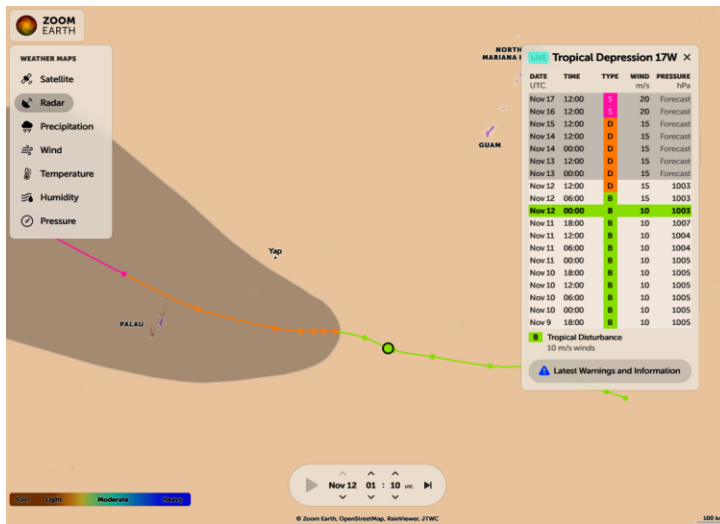
# Метеопрогноз развития ТЦ от 11-13 ноября 2023



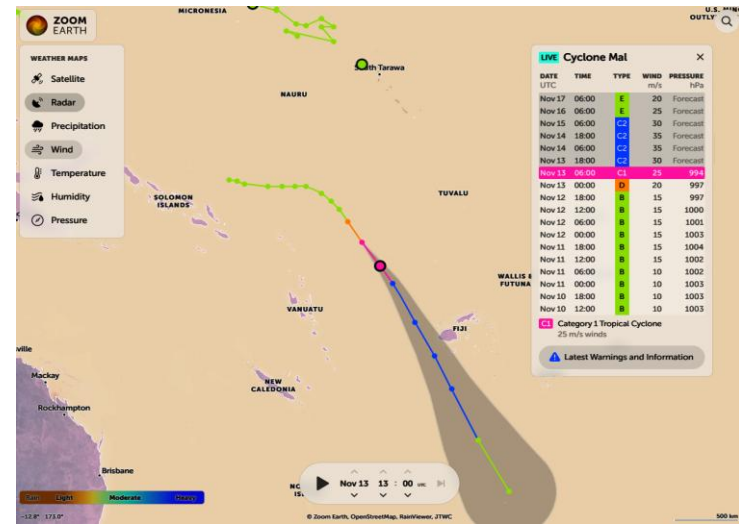
А



Б



В

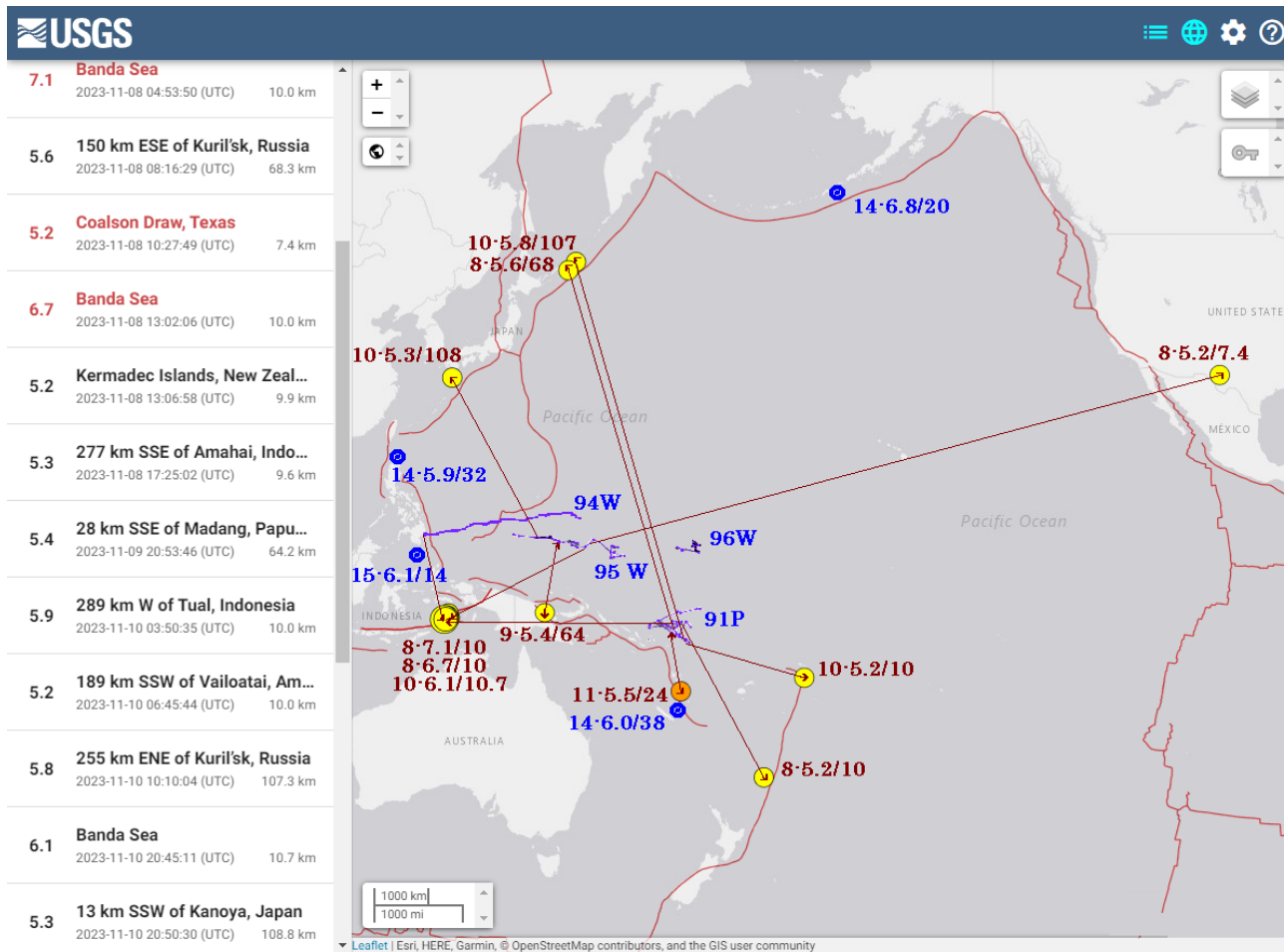


Г

А – 10 ноября указаны развития тропических возмущений (ТВ), прогноз нет.

Б, В, Г – 13 ноября произошло усиление ТВ 95 W и 91P, прогноз есть.

# Прогноз сильных землетрясений на 14-15 ноября



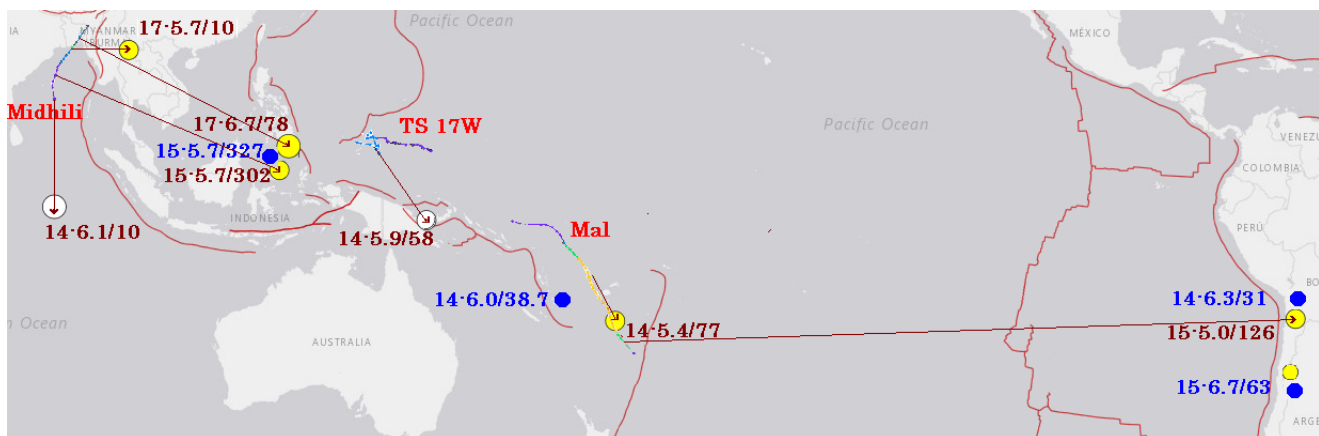
Синие кружки центры землетрясений при аналогичном развитии ТЦ по прогнозу:

1. TC Cody – 2022  
14-6.6 / 19.2 S 31.9 E  
14- 6.8 / 52.3 N 167.7 W
2. TC Yasa – 2020  
15-6.1 / 5.2 N 125.4 E
3. TS 03W – 2019  
14-6.3 / 17.9 S 65.9 W  
14-5.9 / 18.5 N 120.7 E
4. TS 01W – 2019  
14-6.0 / 19.2 S 168.7 E  
15-6.7 / 30 S 71.4 W
5. TC Omais -2010  
14-5.9 / 18.5 N 120.7 E

Желтые кружки и коричневые цифры – день, магнитуда и глубина землетрясений с 8 по 11 ноября 2023. Стрелки соединяют центры ТЦ с очагами землетрясений.



# Связь землетрясений 14-17 ноября 2023 и их предшественников с ТЦ



Коричневые цифры – произошедшие землетрясения, синие – прогноз.

№ 2023	Координаты (°N/°E)	$M_w$ / h, km	UT	Имя ТЦ 2023	Центр ТЦ (°N°E)	Имя ТЦ	Центр ТЦ (°N°E)	Дата	Координаты (°N/°E)	$M_w$ / h, km	
1	17	5.59 / 125.1	6.7 / 78	08:14	Midhili	22.2 / 90.5	Vamco	18.9 / 103.9	2020-11-15	8.76 / 126.3	6.0 / 43
2	17	21.23 / 99.33	5.7 / 10	01:37	Midhili	20.6 / 89.2	Bangladesh	24 / 90.5	1988-11-30	22.77 / 99.8	6.1 / 14.5
3	15	1.98 / 124.14	5.7 / 303	23:26	Midhili	17.3 / 87.2	Fani	24.4 / 89.5	2019-05-04	1.98 / 123.7	5.7 / 327
4	14	-6.06 / 148.18	5.9 / 58	12:52	17W	5.8 / 140.3	Haima	15.4 / 130.7	2016-10-18	-6.0 / 148.9	6.8 / 42
5	14	-4.04 / 87.08	6.1 / 10	07:01	Midhili	13.5 / 87	Mekkhala	13.7 / 114.1	2002-09-22	-4.25 / 87.8	4.9 / 10
6	14	-32.6 / -179.4	5.4 / 77	07:46	Mal	-16.4 / 175.2	04P	-12.4 / 179.9	2020-12-10	-32.9 / -179.8	5.9 / 96
7	15	-22.24 / 179.4	5.1 / 596	23:56	Mal	-21.0 / 178.3	Sanvu	7.4 / 171.5	2023-04-19	-22.3 / 179.4	6.7 / 580
8	15	-21.76 / -68.51	5.0 / 126	23:50	Mal	-21.0 / 178.3	Yasa	-15.5 / 171.8	2020-12-14	-17.9 / -65.9	5.9 / 96

# Выводы

Предсказание сильных землетрясений, сделанные на конференциях ИЗМИРАН, ИТПЗ РАН и ИКИ РАН, оправдались наполовину.

Выборку наиболее сильных землетрясений необходимо сопоставлять в данных областях со среднесрочными прогнозами землетрясений и исключать те, где произошел сброс напряженного состояния или не отмечается его резкий рост.

Следует отметить, что на сайте ZOOM Earth метеопрогноз развития ТЦ из тропических возмущений дается только для тех, которые усиливались, иначе они исключались.

# Литература

1. *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
2. *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
3. *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
4. *Костин В.М., Овчаренко О.Я., Трушкина Е.П.* Особенности воздействия тропических циклонов на литосферные плиты в суперлунии 2023. Краткосрочный прогноз сильных землетрясений // Симпозиум «Физические основы прогнозирования гелиофизических процессов и событий». ИЗМИРАН 29-31 мая 2023. <http://www.izmiran.ru>.
5. *Абурджаниа Г.Д., Харшиладзе О.А., Чаргазиа 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
6. *Николаев В.А.* Пространственно-временные особенности связи сильных землетрясений с приливными фазами. В кн.: *Наведенная сейсмичность*. М.: Наука. С. 103-114. 1994.
7. *Fan W., McGuire J. J., de Groot-Hedlin C. D., Hedlin M. A. H., Coats S., Fiedler J. W.* Stormquakes // *Geophysical Research Letters*. V. 46. No. 22. P. 12909-12918. 2019.
8. *Kostin V., Belyaev B., Ovcharenko O., Trushkina E.* American Continent Lithosphere Earthquakes after Nuclear Test of France in November 1990 // *Intern. J. Engineering Research & Science*. V. 7. No. 12. P. 30-34. 2021.
9. *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.

**Благодарю за внимание**

**16 ноября к презентации будет добавлен слайд с обсуждением прогноза**