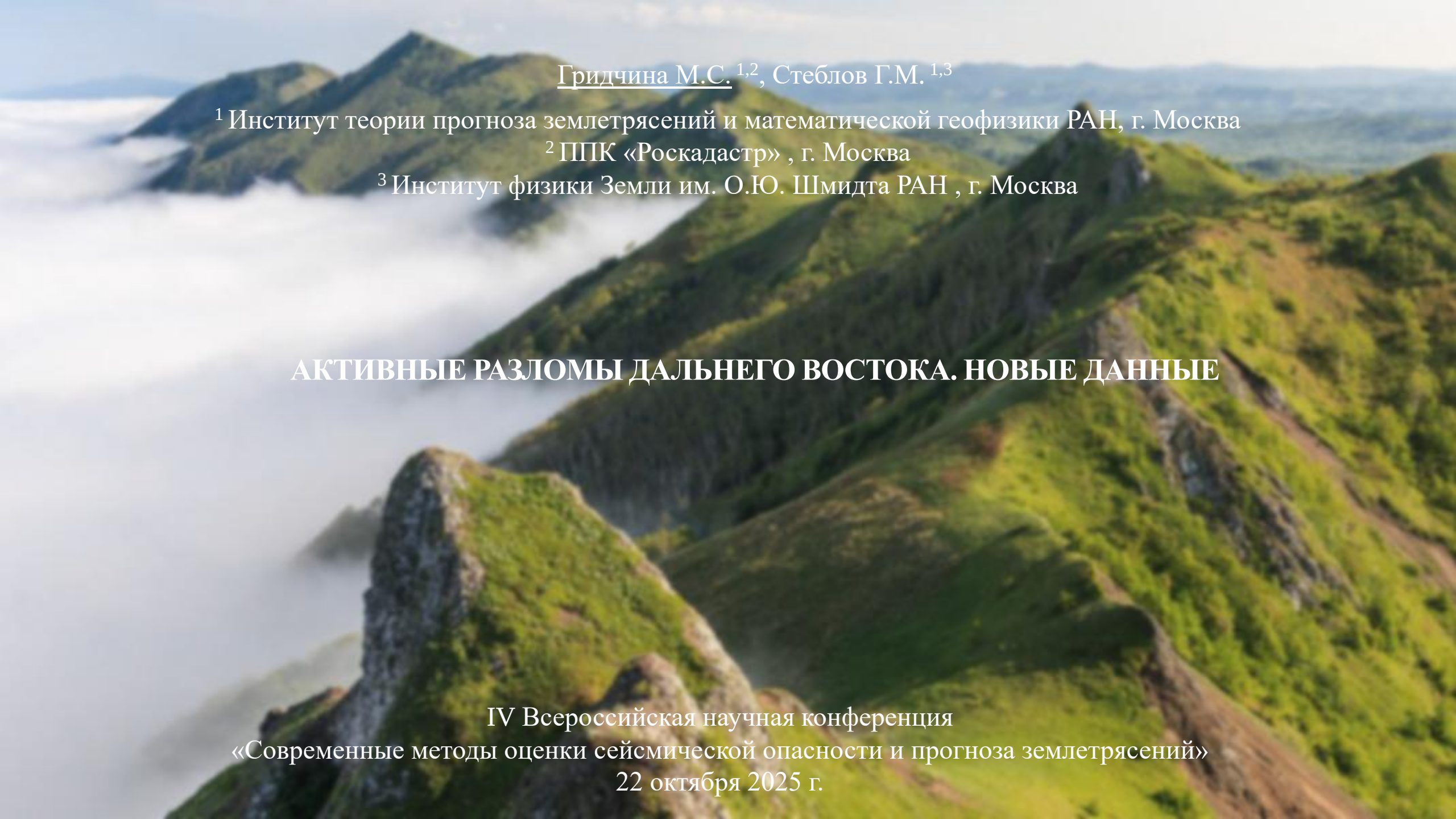




Гридчина М.С.^{1,2}, Стеблов Г.М.^{1,3}

¹ Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва

² ППК «Роскадастр» , г. Москва

³ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН , г. Москва

АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА. НОВЫЕ ДАННЫЕ

IV Всероссийская научная конференция
«Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений»
22 октября 2025 г.

Актуальность

- Высокая скорость субдукции
- Высокая сейсмичность
- Изучение глубинных процессов на основе скоростей ГНСС
- Моделирование механического сцепления на контакте плит
- Изучение предпосылок деформации земной поверхности



Новые данные. Сахалин

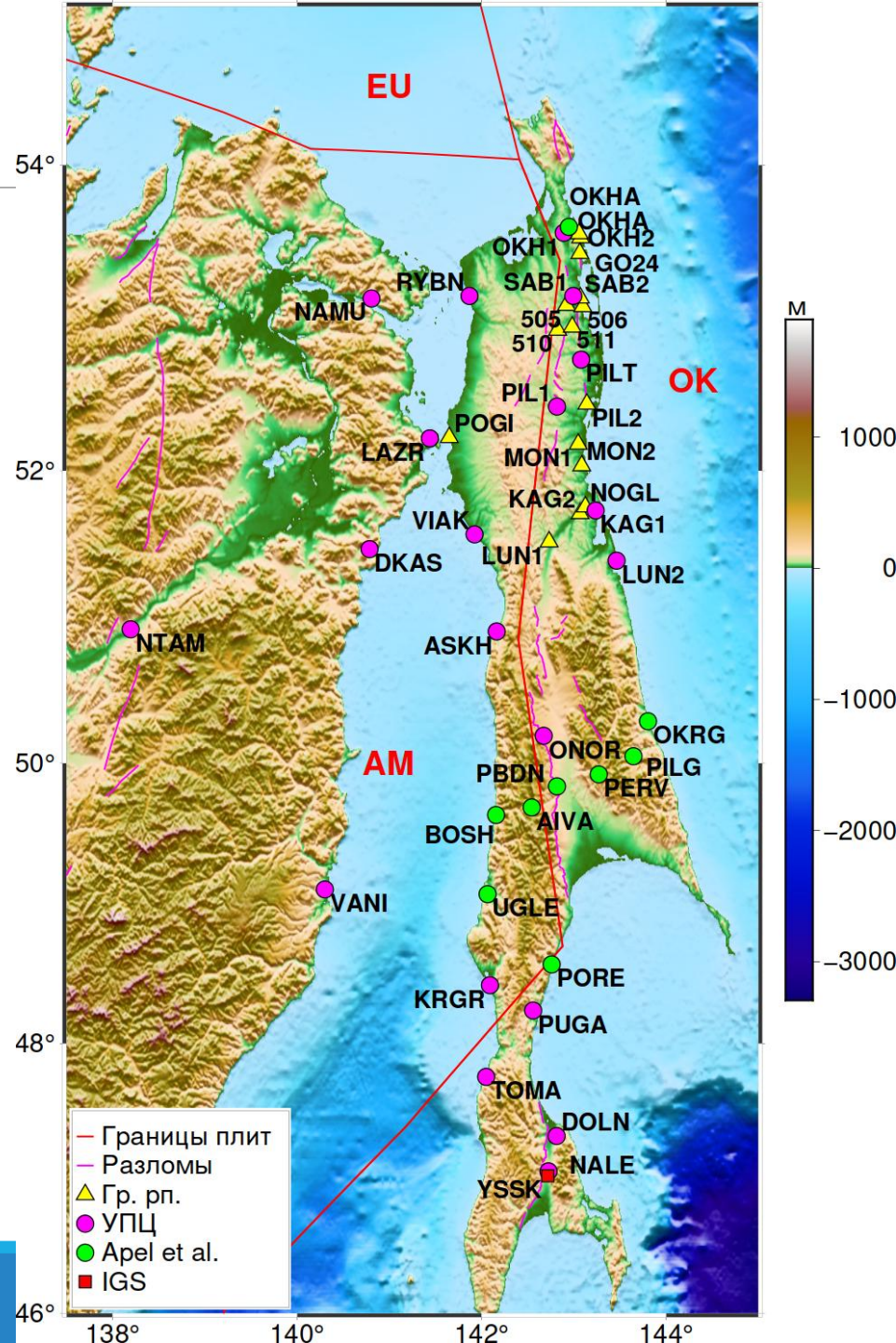
- 23 пункта Северо-Сахалинского геодинимического полигона (ССГДП) Росреестра
- 1 постоянно действующий пункт IGS – YSSK (г. Южно-Сахалинск)
- 9 пунктов из [Apel et al., 2006]

Постобработка первичных измерений

GAMIT/GLOBK [Herring et al., 2010]

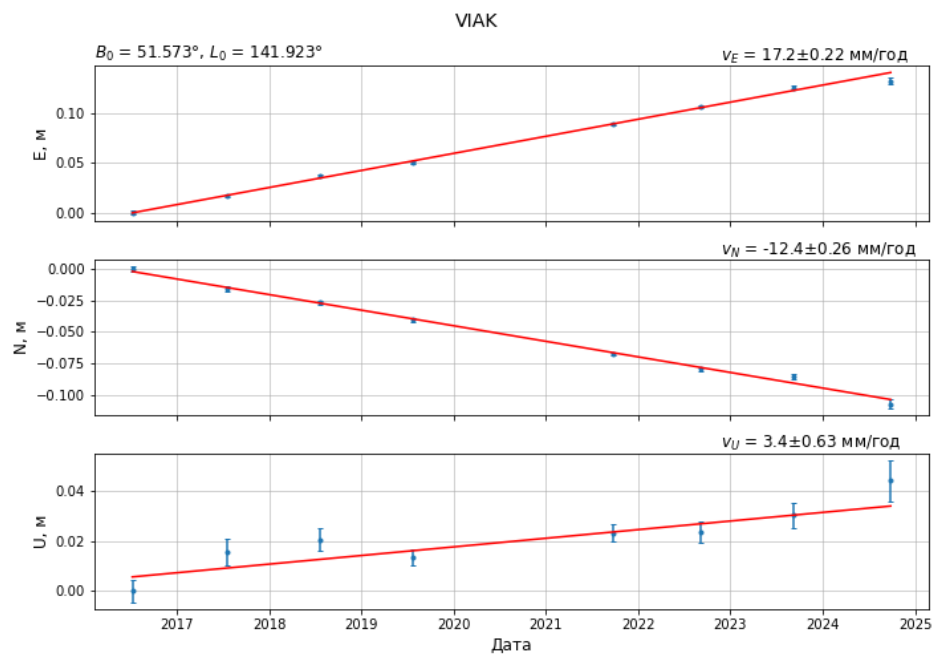
Поправки в ГНСС:

- Приливы
- Вращение Земли
- Атмосферные задержки
- Погрешности орбитальной информации
- Поправки часов



Горизонтальные скорости смещения пунктов

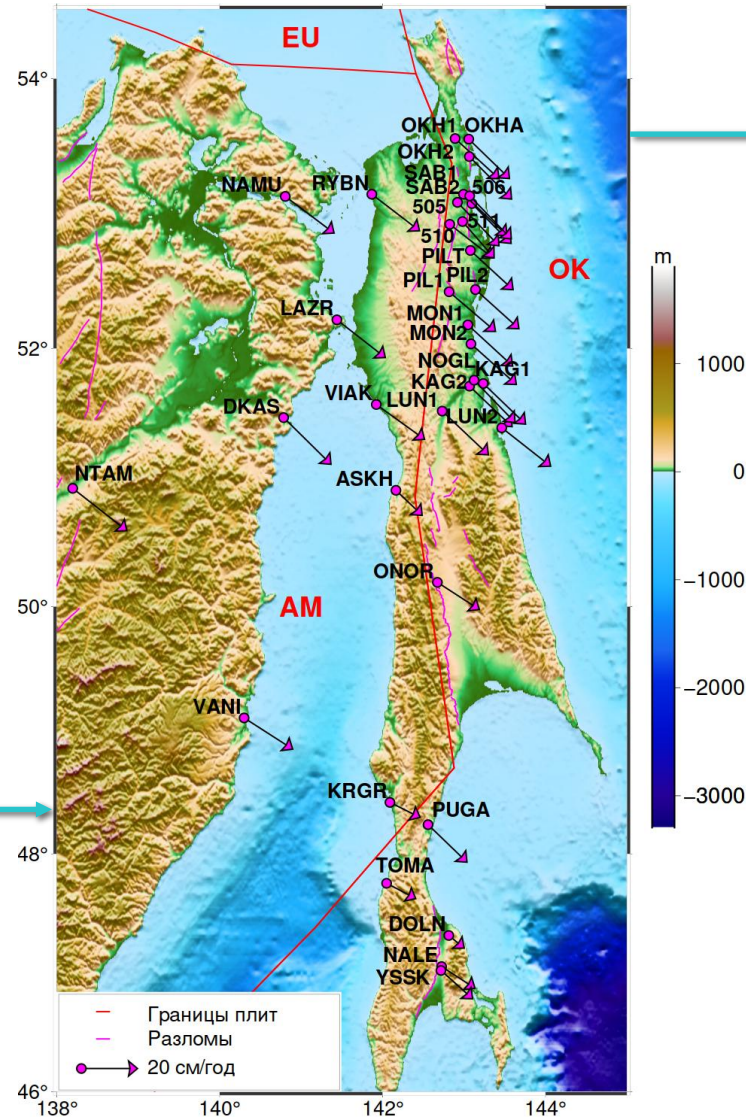
Временной ряд координат пункта Виахту



Скорости движения плиты в точке:

$$v_E^{пл.} = R\omega \cos \varphi (\sin \varphi_{пл.} - \cos \varphi_{пл.} \operatorname{tg} \varphi \cos(\lambda_{пл.} - \lambda)),$$

$$v_N^{пл.} = R\omega \cos \varphi_{пл.} \sin(\lambda - \lambda_{пл.}),$$



Скорости относительно
движения плиты
(остаточные /
деформационные
скорости)

Исходные данные (блоки, их границы и кинематика)

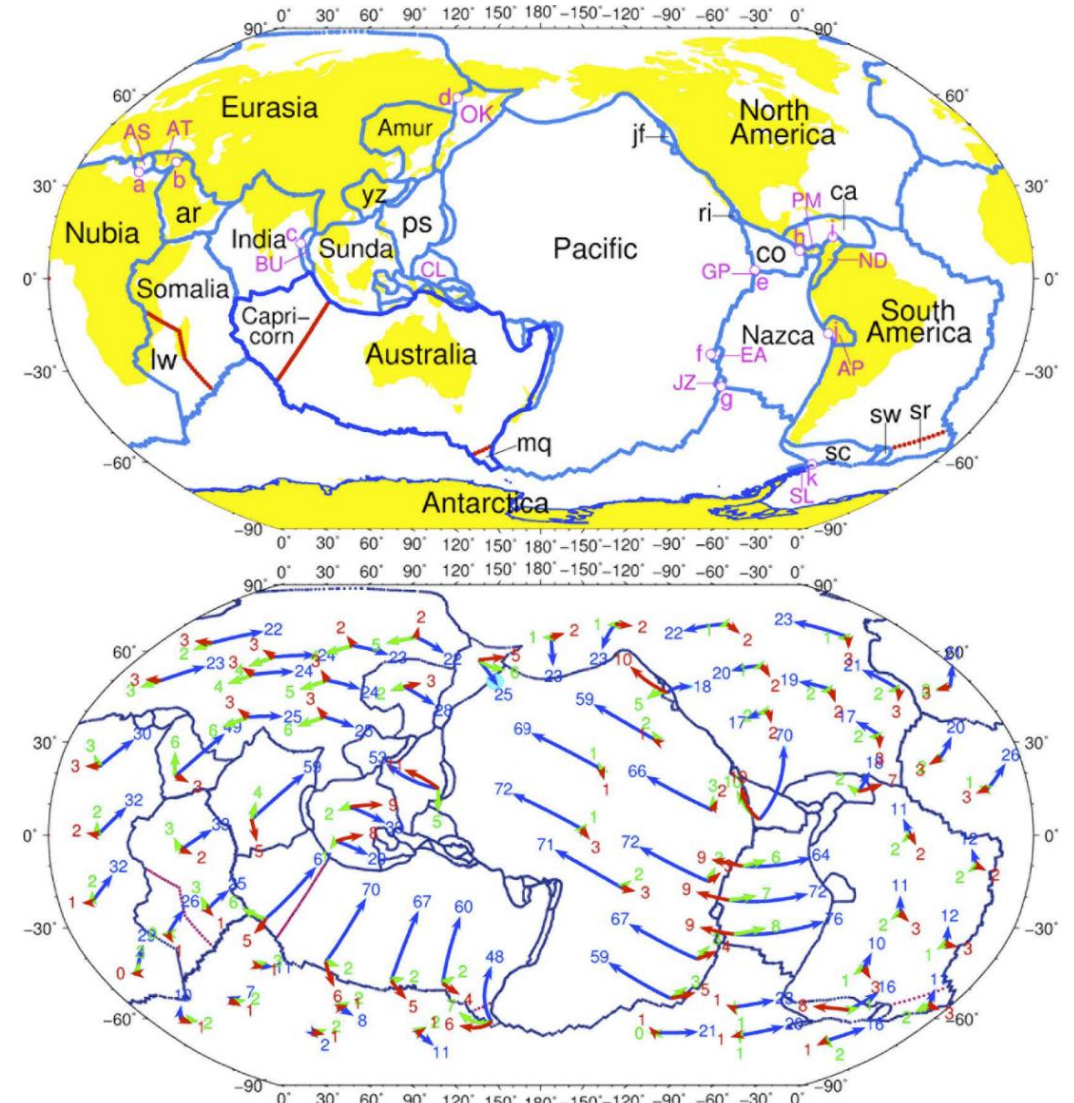
Модель **NNR-MORVEL56**

Контактирующие на плиты:

- Амурская плита (AM)
- Охотоморская плита (OK)
- Северо-Американская плита (NA) в качестве отсчетной основы

Векторы Эйлера плит относительно NA

Блок	Координаты полюса Эйлера		Угловая скорость вращения ω , °/млн. лет
	° с.ш.	° з.д.	
OK	72.313	10.742	0.1398
AM	63.444	41.069	0.3160



[Argus et al., 2011]

Принцип моделирования подвижности на контакте плит

Коэффициент механического сцепления:

$$\varphi = \frac{v_{\text{обр.}}}{v_{\text{мод.}}}, 0 \leq \varphi \leq 1.$$

Метод

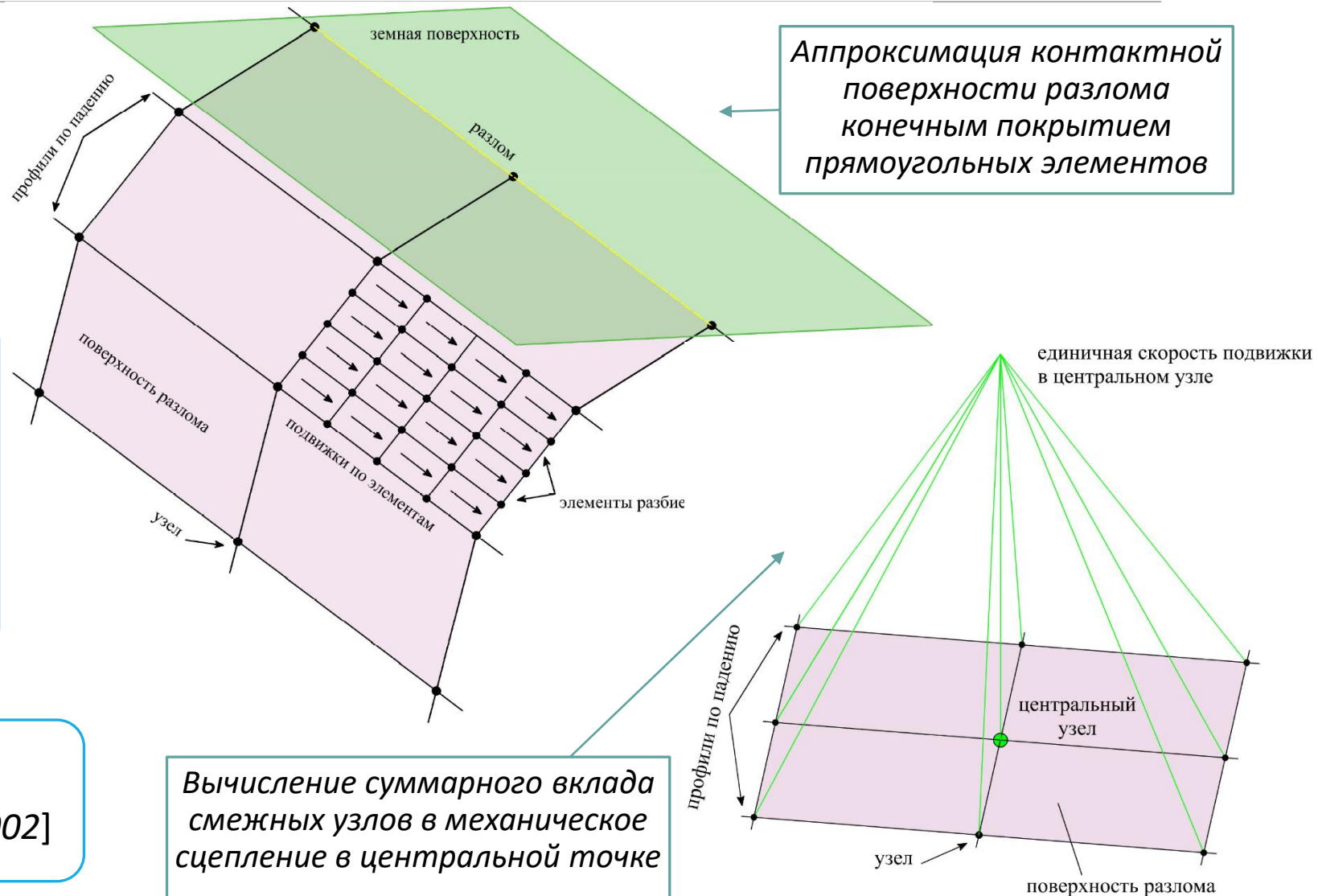
- Подвижки по прямоугольным элементам [Okada, 1985, 1992]

$$v_{\text{деф.}}(r) = \iint_S G(r, r_S) v_{\text{обр.}}(r_S) dS.$$

- Модель [Savage, 1983]

Программный пакет

- TDEFNODE [McCaffrey et al., 2002]



Распределение сцепления на контакте плит

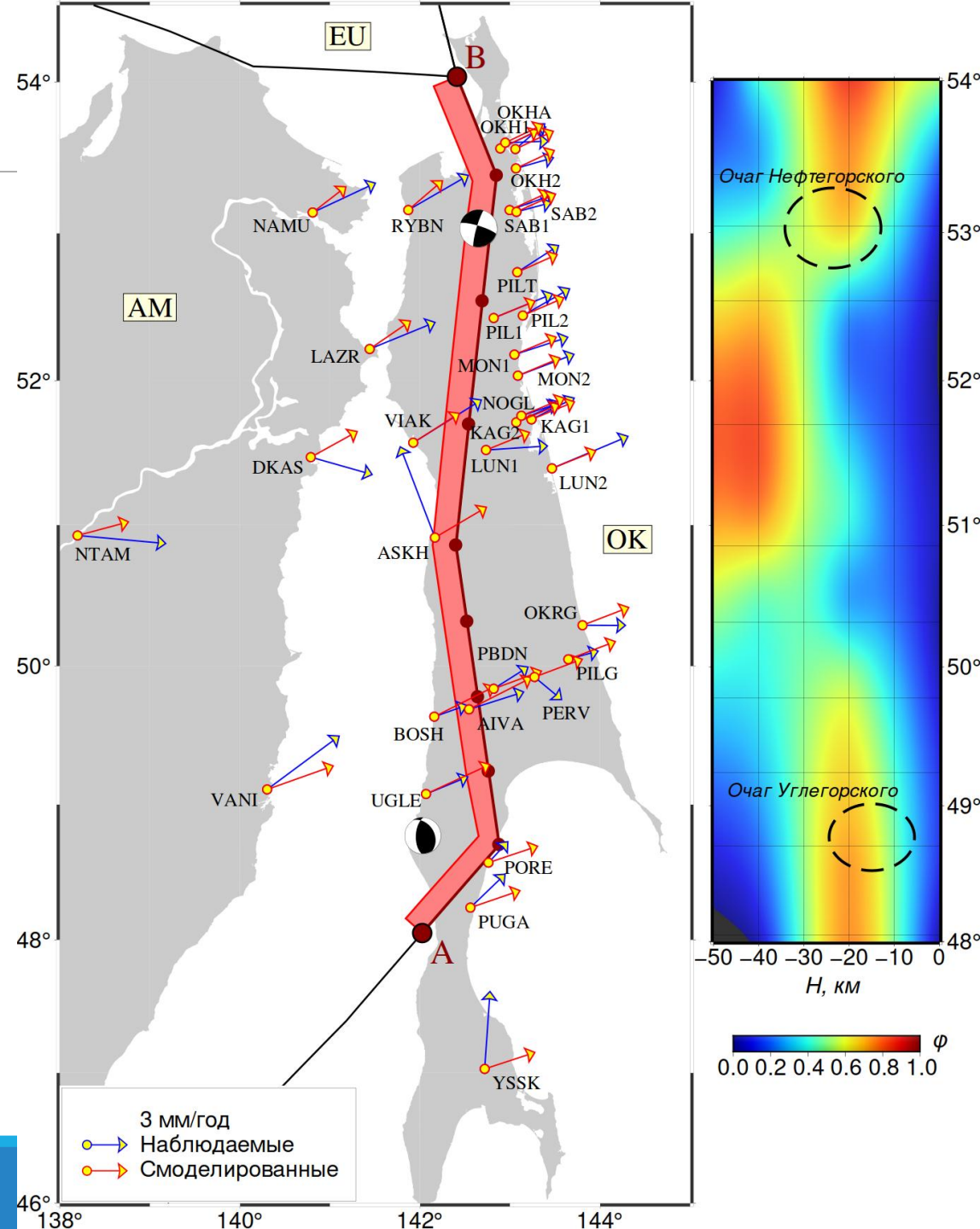
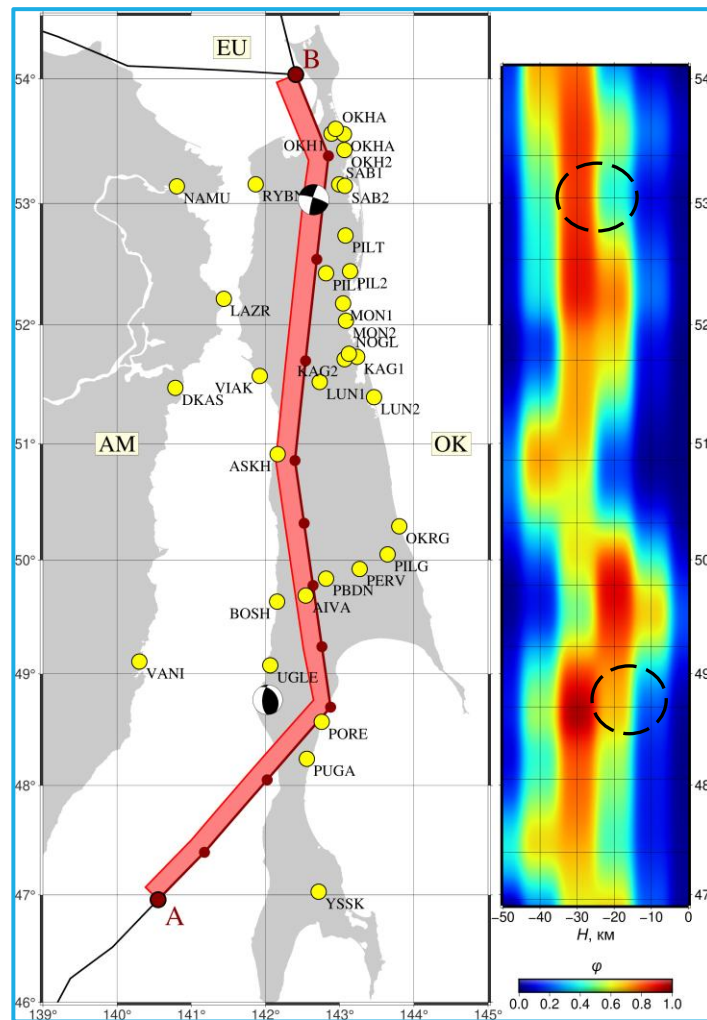
Длины очаговых зон по
простираю и падению
[Резниченко, 1976]:

$$\lg L = 0.440M - 1.289,$$

$$\lg W = 0.401M - 1.448$$

Нефтегорское
землетрясение
(27.05.1995 г., $M_W = 7.0$)

Углегорское землетрясение
(4.08.2000 г., $M_W = 6.8$)



[Гридчина и др., 2023]

Уточненная кинематика блоков

[Гридчина и др., 2023] DOI: 10.21455/gr2023.4-5

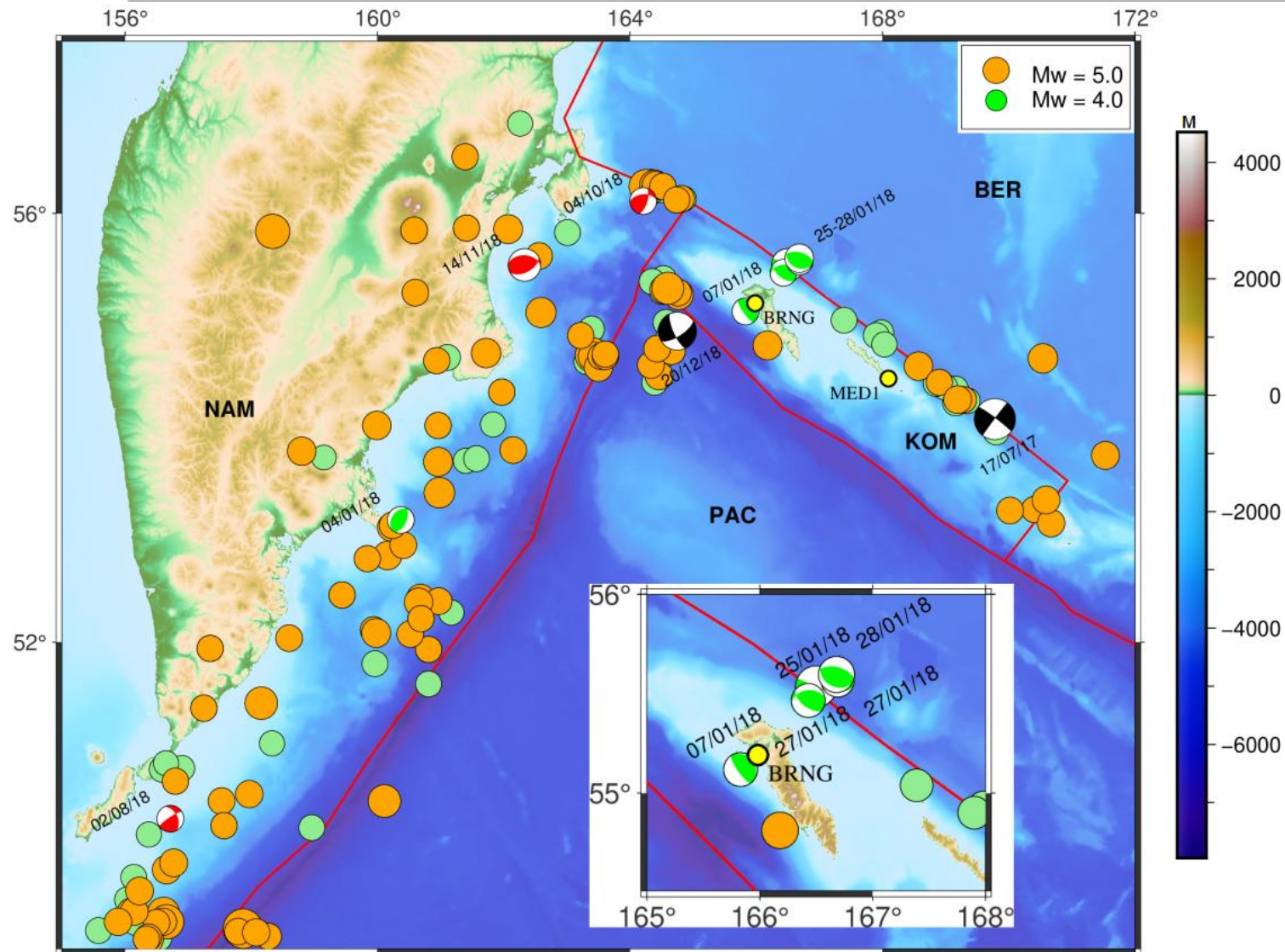
Блок	Координаты полюса Эйлера		Угловая скорость вращения ω , °/млн. лет
	° с.ш.	° з.д.	
ОК	-23.0	16.6	-0.028
АМ	57.6	45.1	0.282
ЕU*	61.8	40.6	0.211

* из модели MORVEL56

Новые результаты

Блок	Координаты полюса Эйлера		Угловая скорость вращения ω , °/млн. лет
	° с.ш.	° з.д.	
ОК	72.9	67.8	0.073
АМ	56.7	44.6	0.342

Исследование движений земной поверхности между циклами землетрясений на Командорских о-вах

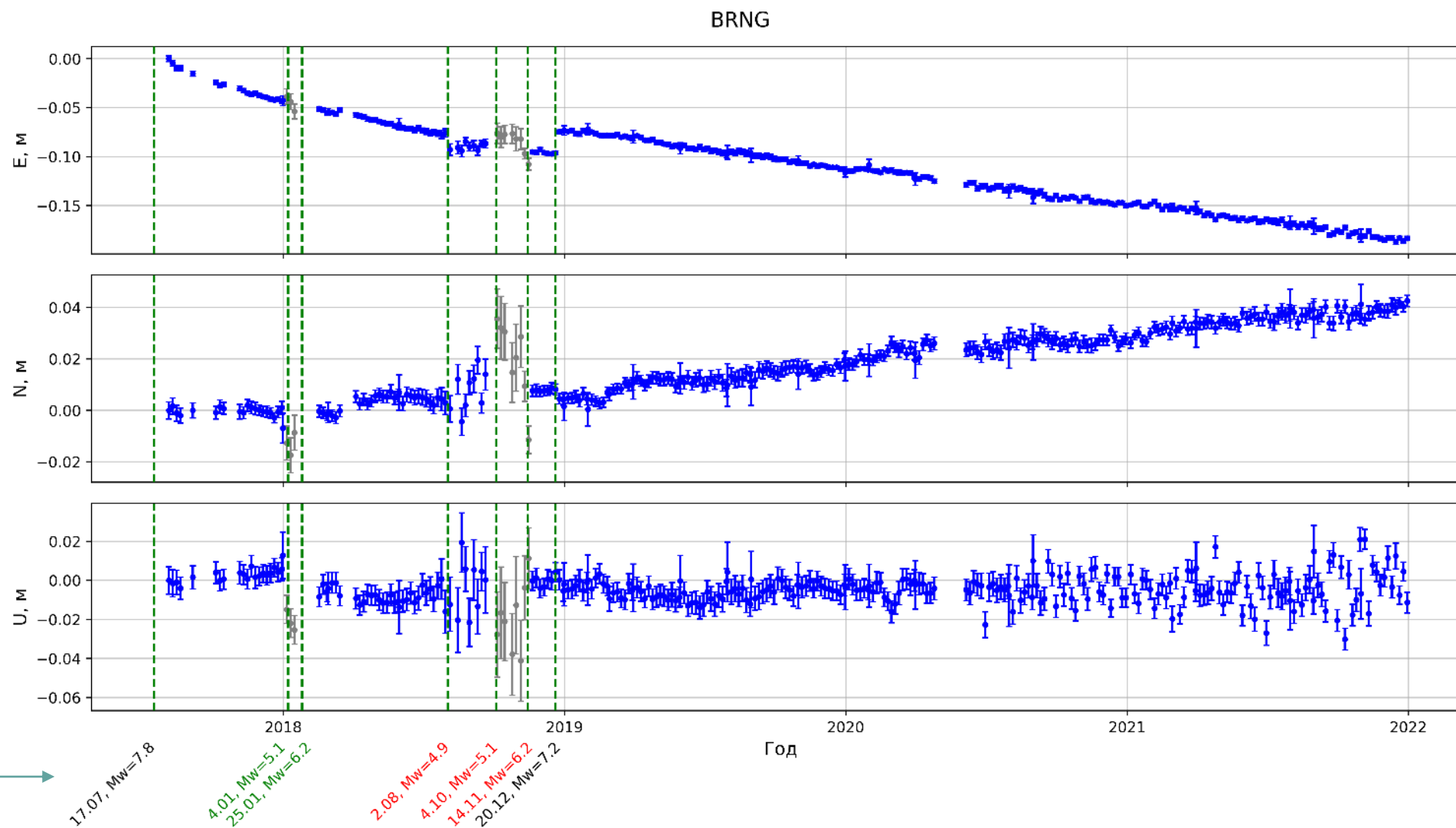


Дата	Координаты гипоцентра			Магнитуда, M_W
	° в.д.	° с.ш.	Глубина, км	
17.07.2017 г.	169.78	54.13	23.2	7.8
04.01.2018 г.	160.37	53.18	58.0	5.1
25.01.2018 г.	166.50	55.54	12.0	6.2
27.01.2018 г.	166.43	55.47	27.4	5.1
27.01.2018 г.	166.69	55.57	12.0	5.0
28.01.2018 г.	166.68	55.60	12.0	5.4
02.08.2018 г.	156.72	50.24	82.5	5.1
04.10.2018 г.	164.21	56.11	19.9	5.1
14.11.2018 г.	162.33	55.54	52.4	6.2
20.12.2018 г.	164.75	54.94	17.6	7.2

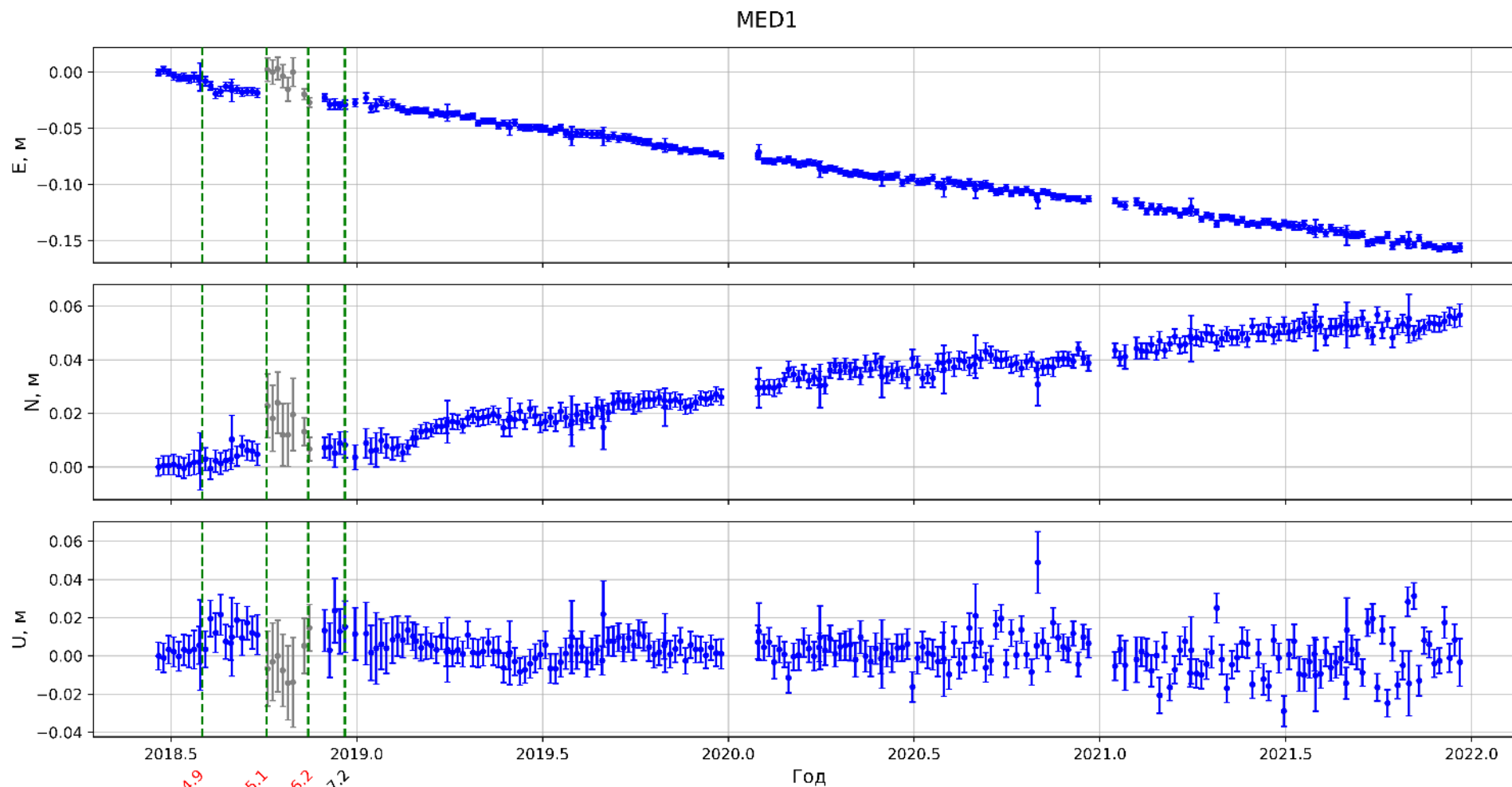
Цель: сравнение движений до и после землетрясения 17.07.2017 г. с $M_W = 7.8$

Землетрясения за рассматриваемый период
по каталогу Global CMT

Временной ряд координат станции «Беринг»

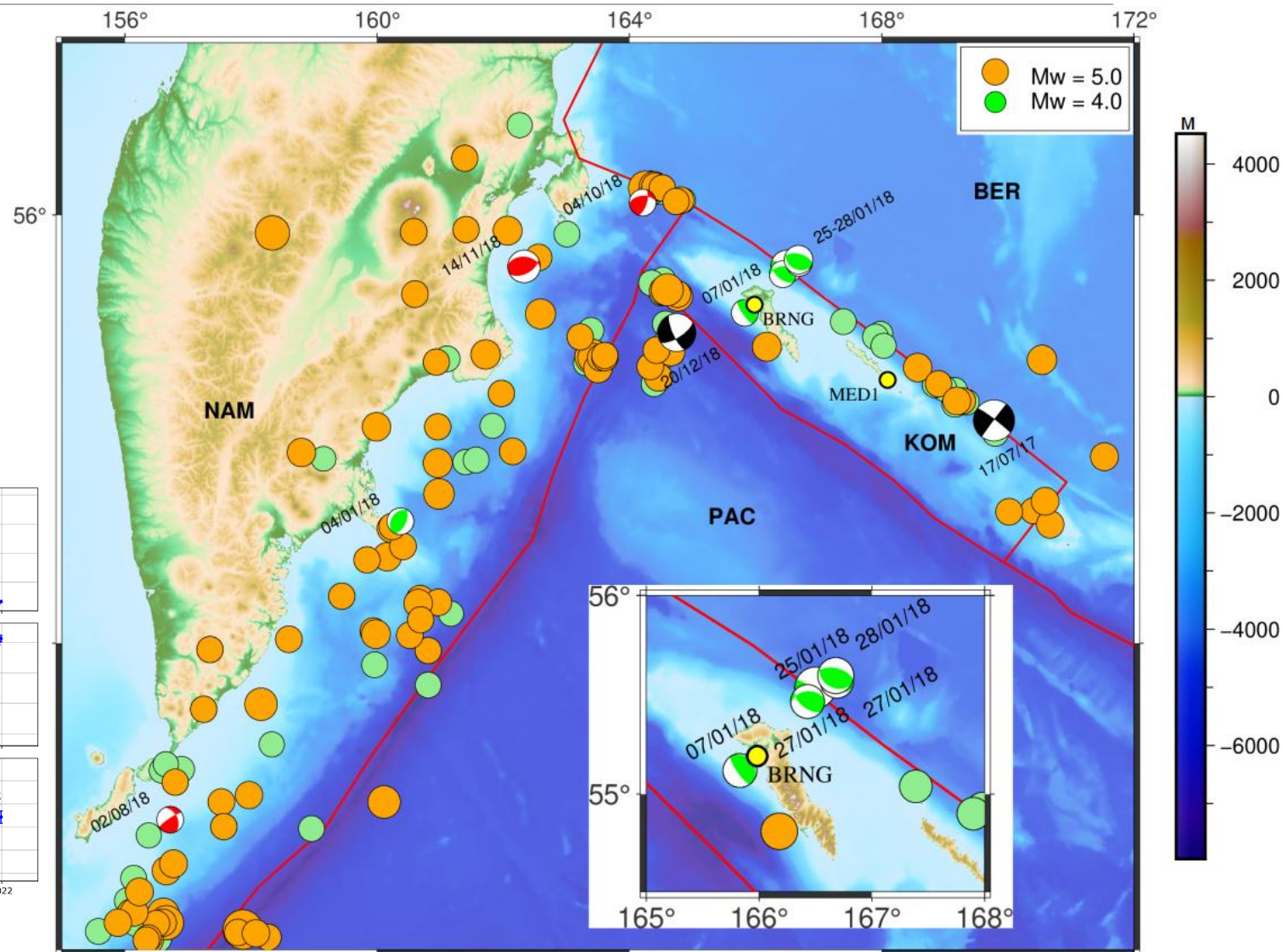
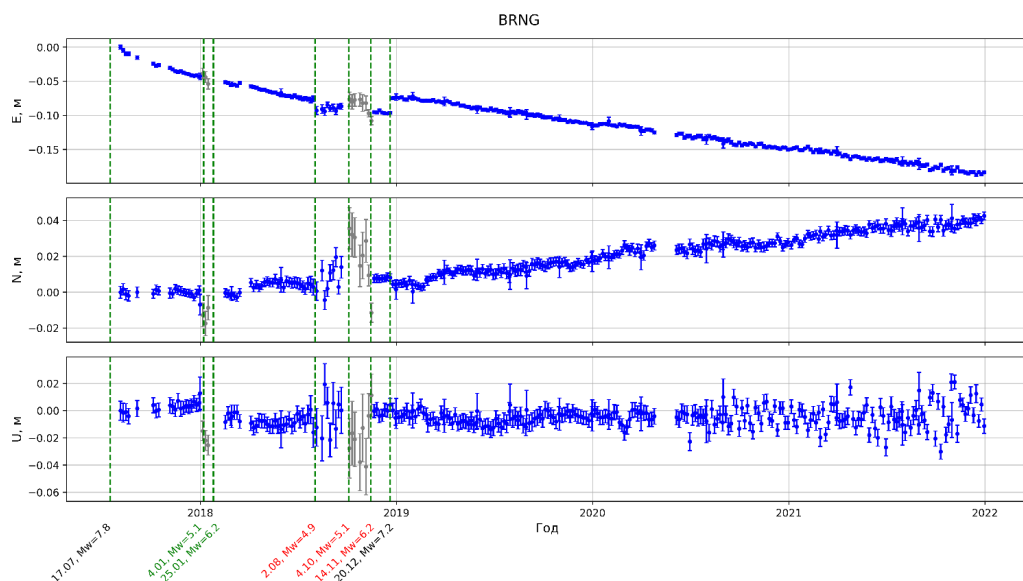


Временной ряд координат станции «Медный-1»



Сейсмические события, отразившиеся на графиках

Дата	Координаты гипоцентра			Магнитуда, M_W
	° в.д.	° с.ш.	Глубина, км	
04.01.2018 г.	160.37	53.18	58.0	5.1
25.01.2018 г.	166.50	55.54	12.0	6.2
27.01.2018 г.	166.43	55.47	27.4	5.1
27.01.2018 г.	166.69	55.57	12.0	5.0
28.01.2018 г.	166.68	55.60	12.0	5.4
02.08.2018 г.	156.72	50.24	82.5	4.9
04.10.2018 г.	164.21	56.11	19.9	5.1
14.11.2018 г.	162.33	55.54	52.4	6.2
20.12.2018 г.	164.75	54.94	17.6	7.2



Землетрясения за рассматриваемый период
по каталогу Global CMT

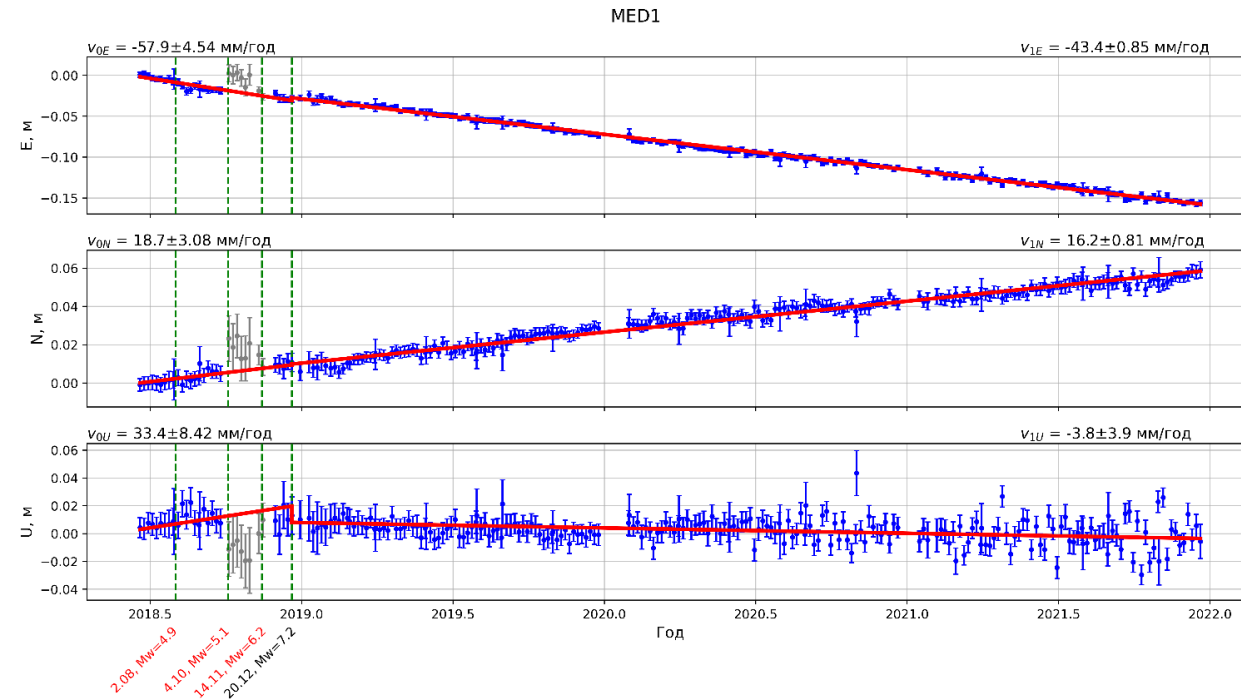
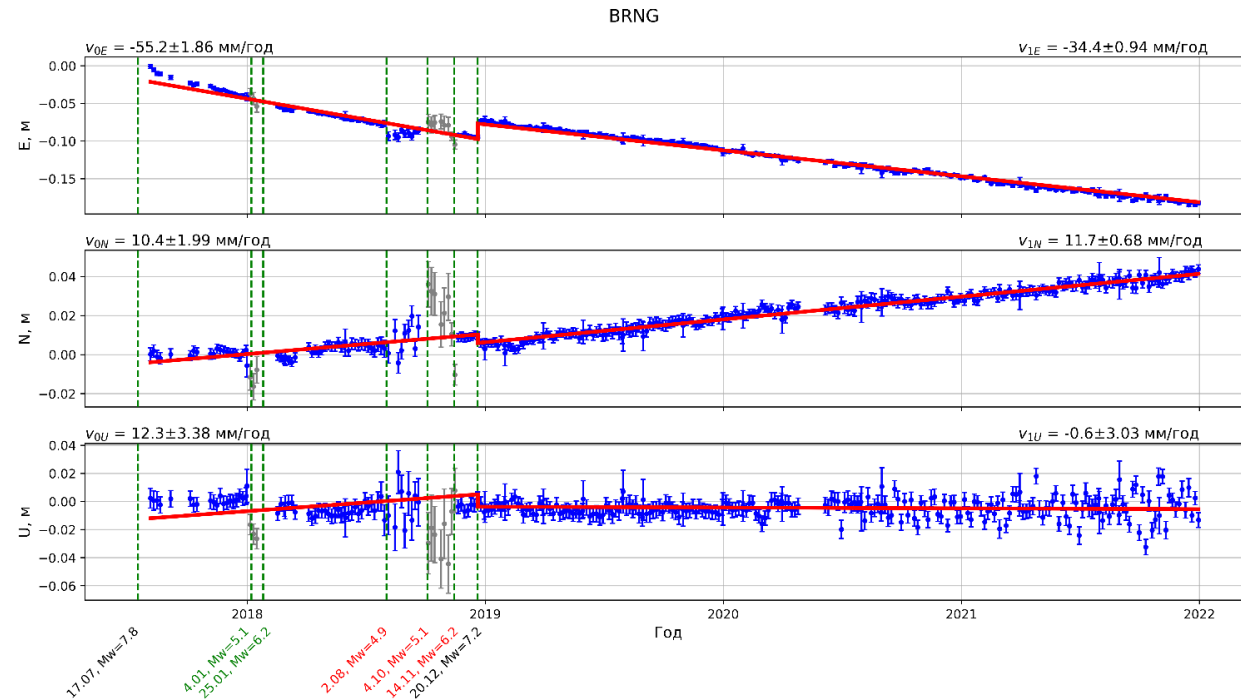
Оценка скоростей смещения станций

Алгоритм оценки:

1. Деление на 2 участка: до и после 20.12.2018 г.
2. Исключение «выбросов»



3. Периодические компоненты по 2-му участку CATS [Williams, 2008]
$$y(t_i) = a + bt_i + c\sin(2\pi t_i) + d\cos(2\pi t_i) + e\sin(4\pi t_i) + f\cos(4\pi t_i) + \sum_{j=1}^{n_h} h_j H(t_i - T_j) + \varepsilon_i,$$
4. Удаление периодики из 1-го участка с учетом ковариаций с помощью GLOBK [Herring, 2010]



Результат оценки скоростей

Сравнение скоростей смещения пунктов

Период / Метод	BRNG (55.194 °с.ш., 165.984 °в.д.)			MED1 (54.505 °с.ш., 168.094 °в.д.)		
	v_E , мм/год	v_N , мм/год	v_U , мм/год	v_E , мм/год	v_N , мм/год	v_U , мм/год
1* только CATS	-68.4±2.84	7.2±2.81	-1.2±5.81	-56.4±6.46	9.1±5.11	41.0±13.84
1 предложенная методика	-55.2±1.86	10.4±1.99	12.3±3.38	-57.9±4.54	18.7±3.08	33.4±8.42
2** CATS	-34.4±0.94	11.7±0.68	-0.6±3.03	-43.4±0.85	16.2±0.81	-3.8±3.9

Примечания: * период между $M_W = 7.8$ и $M_W = 7.2$, ** период после $M_W = 7.2$.

Итог:

- Учет периодических вариаций и ковариационных матриц при оценке скоростей
- Повышение точности итоговых оценок
- Снижение отличий между двумя участками
- Получение более реалистичных оценок скоростей

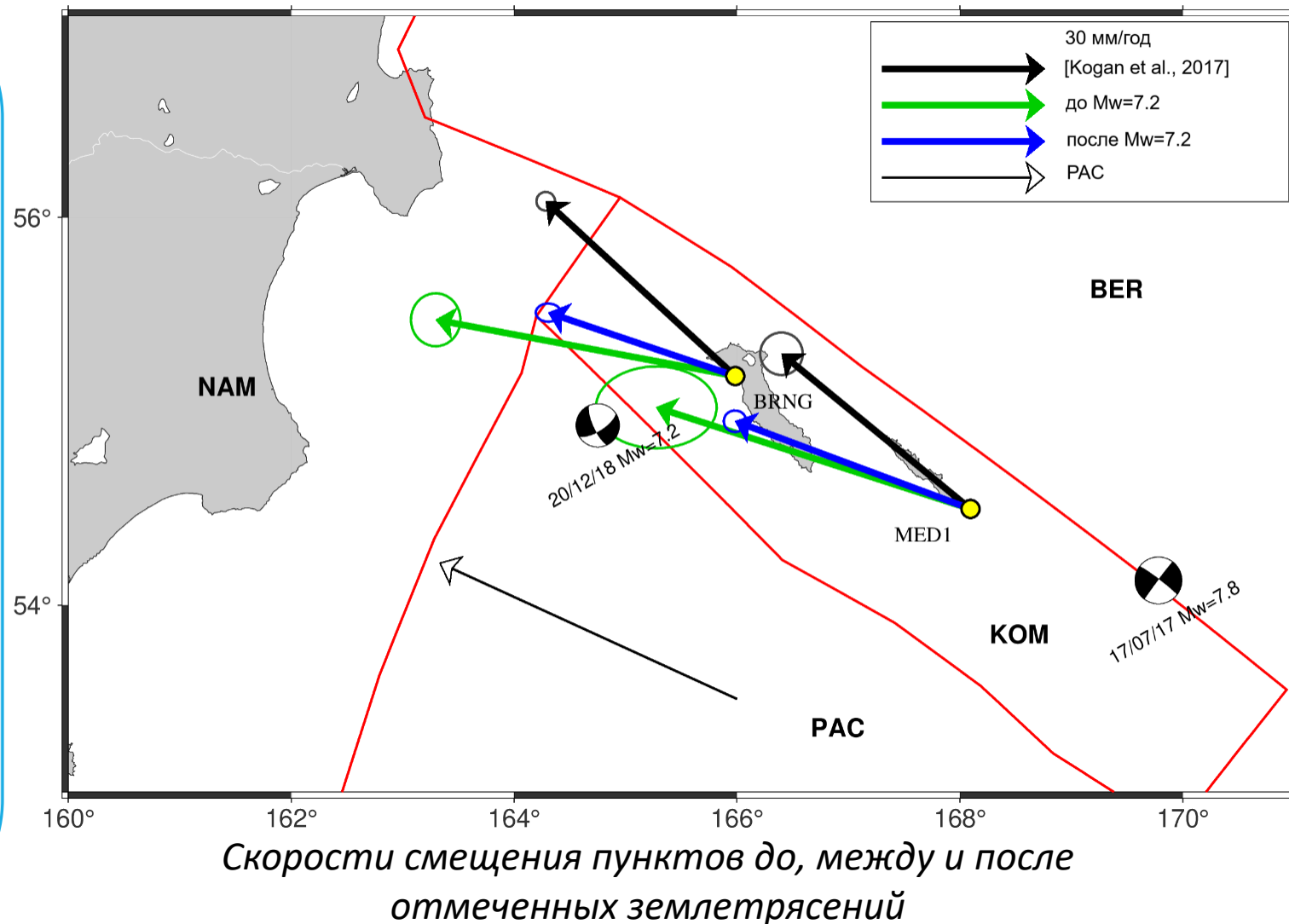
Сравнение движений в разные периоды

Между землетрясениями

- Направление изменилось на 20-30° против часовой стрелки
- Длины увеличились ~ на 27%
- >>> Изменение распределения сцепленных участков, накапливающих напряжения

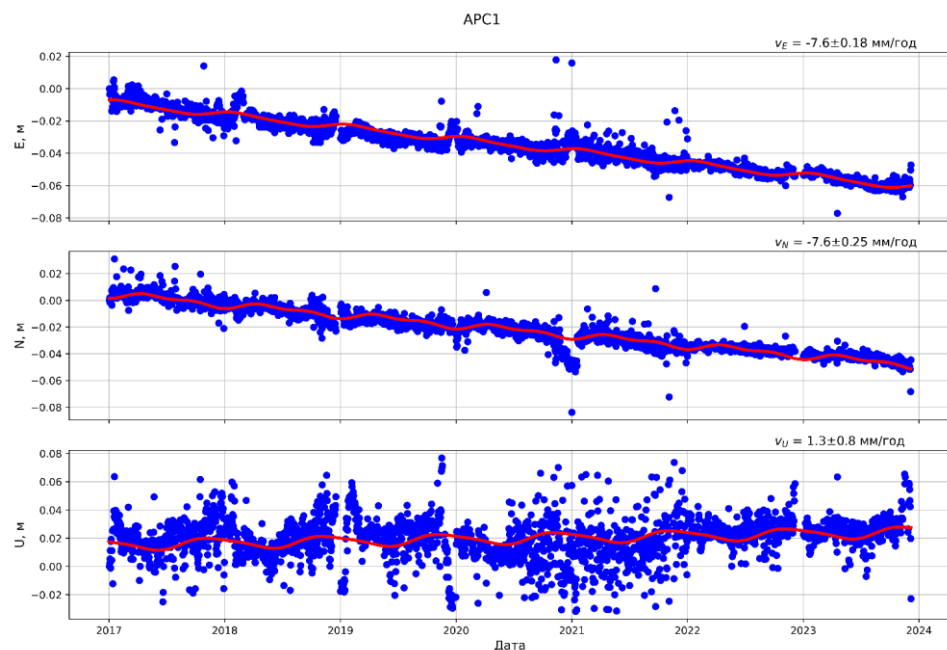
После $M_w = 7.2$

- Направление изменилось ~ на 5° в сторону ранее наблюдаемых
- Длины уменьшились в среднем на 30%
- >>> Повторное перераспределение, что согласуется с отсутствием на дальнейшем рассматриваемом участке сильных землетрясений вблизи о-вов



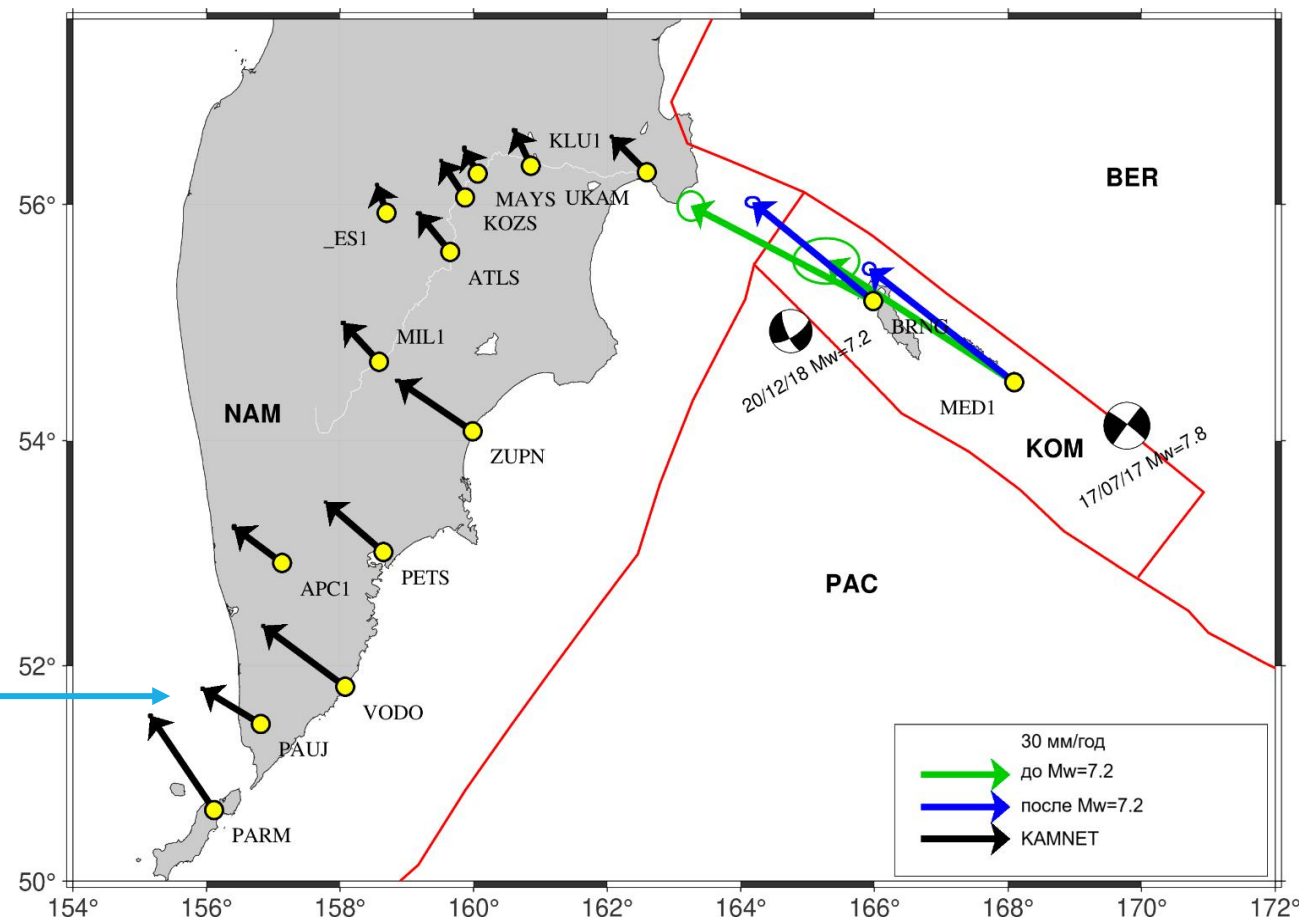
Материалы для дальнейшего моделирования

Временной ряд координат пункта APC1

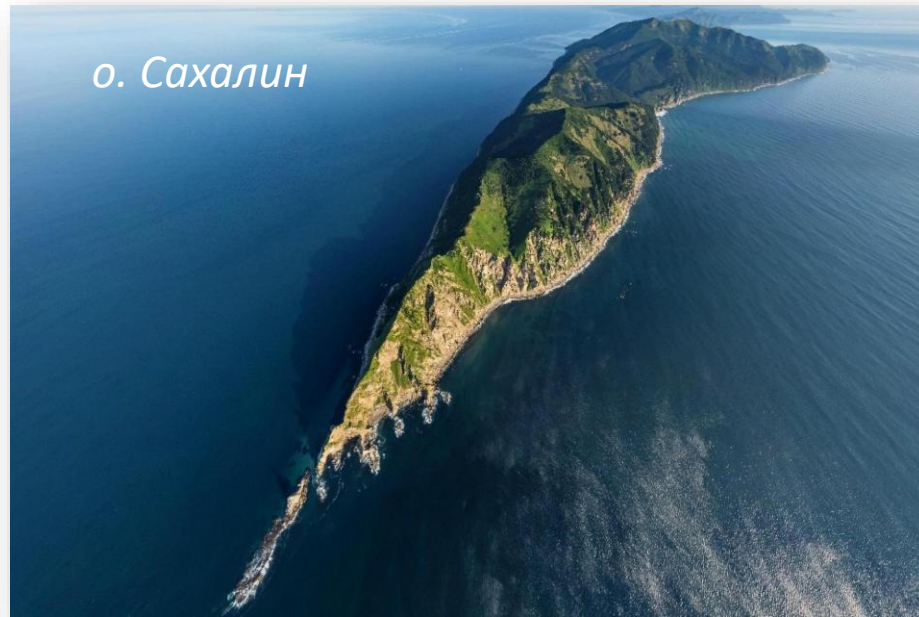


Скорости станций КАМNET и ФАГС на Камчатке с 2014 г. (для некоторых – с 2004 г.)

Расширенный набор скоростей для моделирования



Итоги

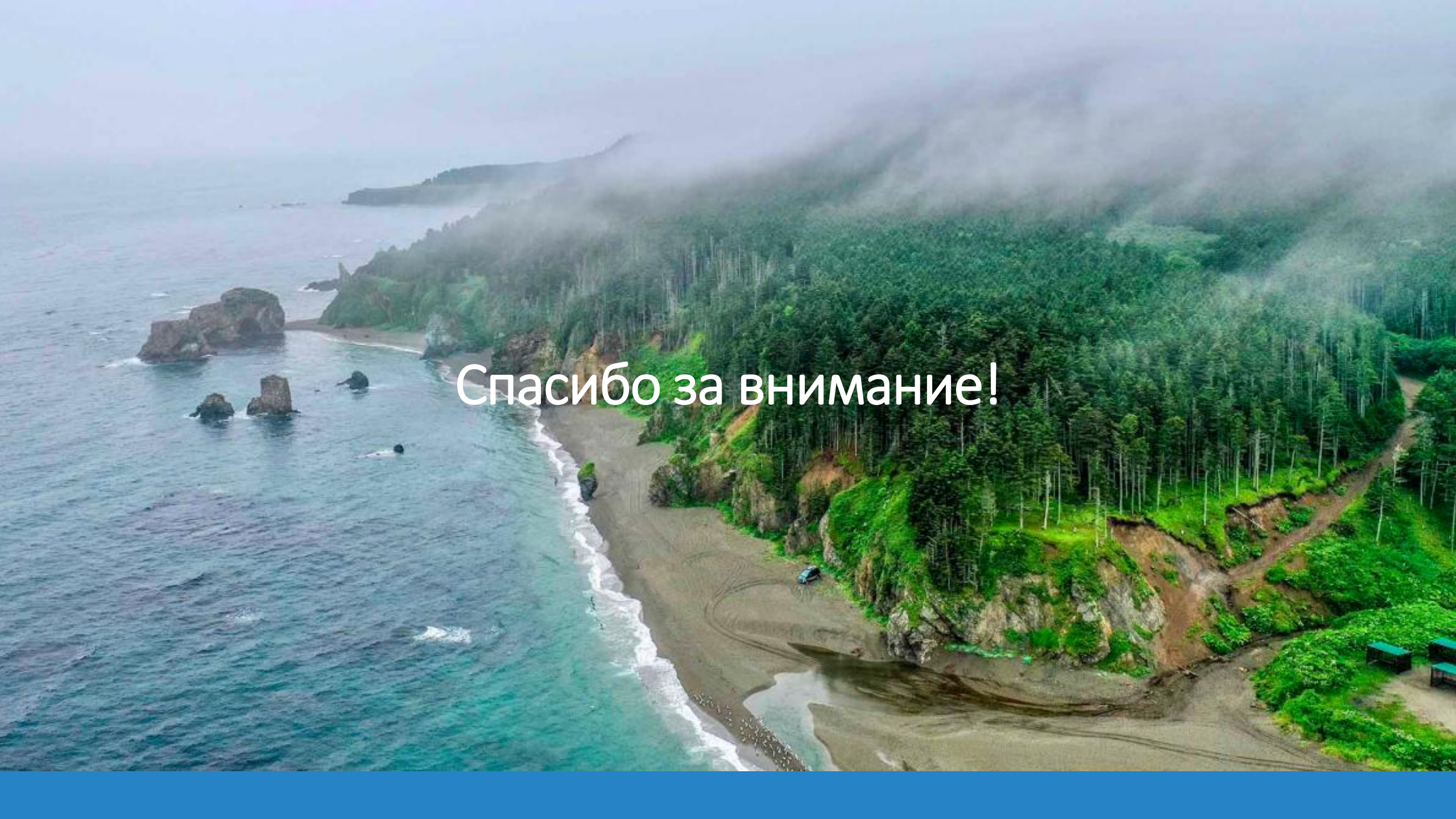


Распределение механического сцепления и поверхностные деформации относительно стабильны после реализации сильных сейсмических событий >>> **дефицит выделения сейсмического момента и высокая вероятность новых сильных землетрясений**



За период 2018-2022 г. – **многократная перестройка режима межплитового взаимодействия**, сопровождающая каждое сильное землетрясение и отразившаяся на наблюдаемых на поверхности движениях

Существенные различия в реакции на сильные сейсмические события структур рассмотренных участков контакта плит на Дальнем Востоке

An aerial photograph of a coastal landscape. On the left, the ocean with dark blue water and white waves meets a dark sandy beach. Several large, dark rock formations are visible in the water. To the right of the beach, a steep, rocky cliff rises, covered in a dense forest of tall, thin evergreen trees. A dirt path winds along the edge of the cliff. In the bottom right corner, there are some wooden benches or picnic tables. The sky is overcast and misty, with some clouds hanging over the forested area. The text 'Спасибо за внимание!' is written in white, sans-serif font across the center of the image.

Спасибо за внимание!