

Двадцатая международная конференция  
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»  
14 - 18 ноября 2022 г. Москва, Россия

# Сопоставление распределений современных движений и деформаций с сейсмической активностью в районе Кандалакшского залива

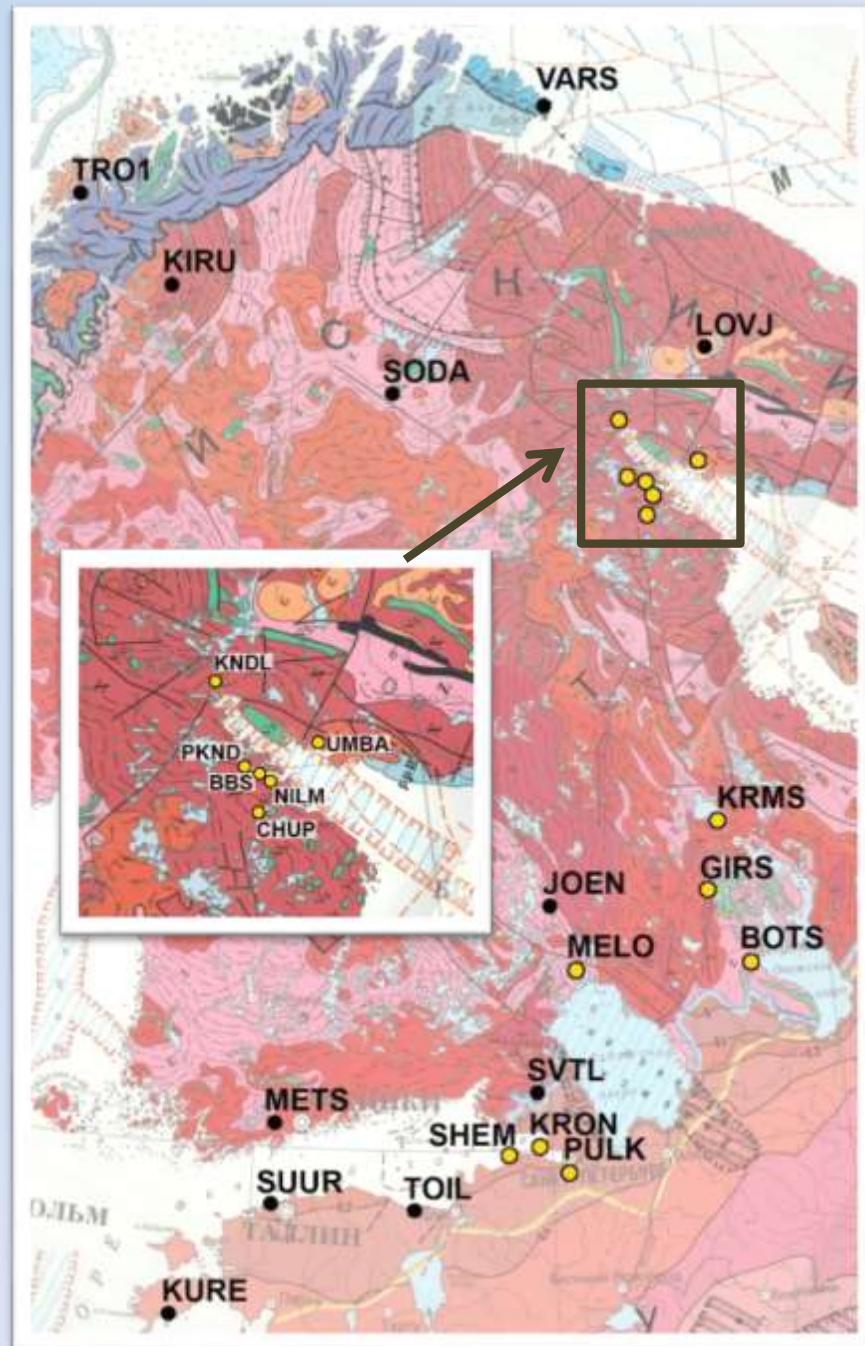
*Гусева Т.В., Крупенникова И.С., Мокрова А.Н.*

Лаборатория спутниковых методов изучения геофизических процессов  
ИФЗ РАН, Москва

Одной из активных структур восточной части Фенноскандии является Кандалакшский грабен — тектоническая впадина Кандалакшского залива Белого моря. Он принадлежит Беломорской палеорифтовой системе, расположенной в зоне сочленения восточной части Балтийского щита и Русской плиты. Зона Кандалакшского залива отличается от прилегающих районов региона более высоким уровнем сейсмической активности.

В исследовании использовались данные со следующих пунктов:

- Геодинамический полигон в Кандалакшском заливе (2015-2021 гг.).
- Геодинамические полигоны Карелия (2006-2021 гг.) и Ленинградской области (2007-2021 гг.)
- 20 постоянно действующих станций спутниковых наблюдений сети IGS в России, Финляндии, Швеции и Норвегии.
- Пункты фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС), расположенные в Мурманске (MURM) и Архангельске (ARKH).



## **Задачи исследования:**

1. Определение современных движений и внутриплитовых деформаций Балтийского щита и, в частности, зоны Кандалакшского грабена по данным спутниковых измерений в разных координатных системах отсчета
2. Сопоставление скоростей современного деформационного поля с потоком сейсмической энергии для района Кандалакшского залива.



Синхронные измерения GPS+ГЛОНАСС на геодинимических сетях выполняются способом дифференциального позиционирования в статическом режиме каждые 2 года в июле-августе сериями по 3-13 суток с помощью двухчастотных приемников Javad Maxor, с интервалом регистрации 30 с. Одновременно используется 6-8 комплектов аппаратуры.

## Станции Международной сети IGS



SVTL, Светлое, Россия



VAAS, Финляндия

В результате выполнения повторных измерений и обработки в программном комплексе Bernese определены среднесуточные и средние на эпоху измерений геоцентрические и геодезические координаты пунктов в ITRF.

При обработке в качестве опорных (перемещаемых во времени с постоянной скоростью) принимались 4 пункта IGS, остальные пункты IGS были включены в расчет качестве определяемых.

## Пункты ИФЗ РАН



GIRS, Гирвас



KNDL, Кандалакша

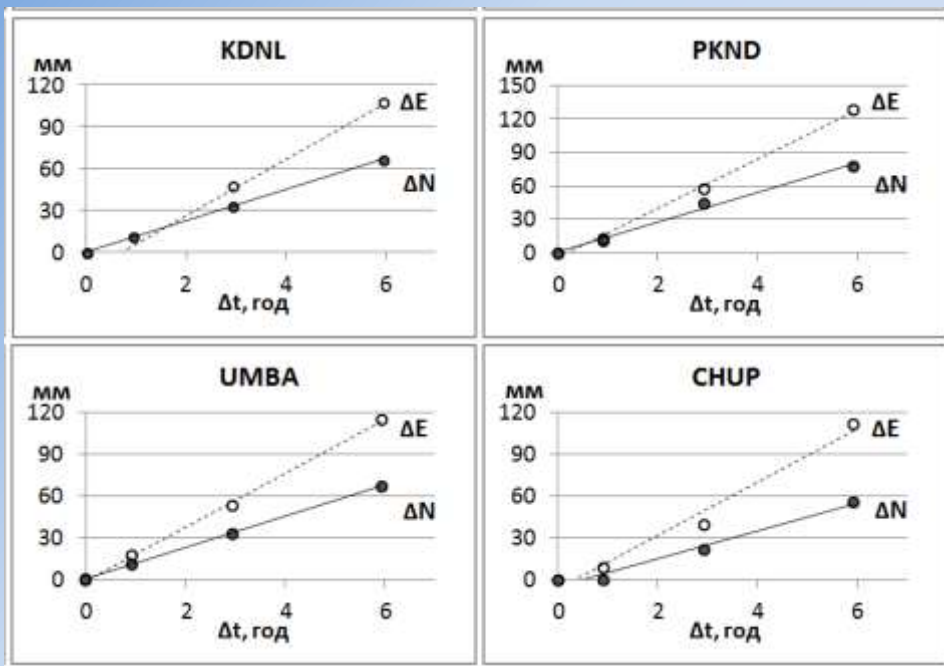


MELO, Сортавала

# Оценка точности определения координат, осредненных за измерительный цикл

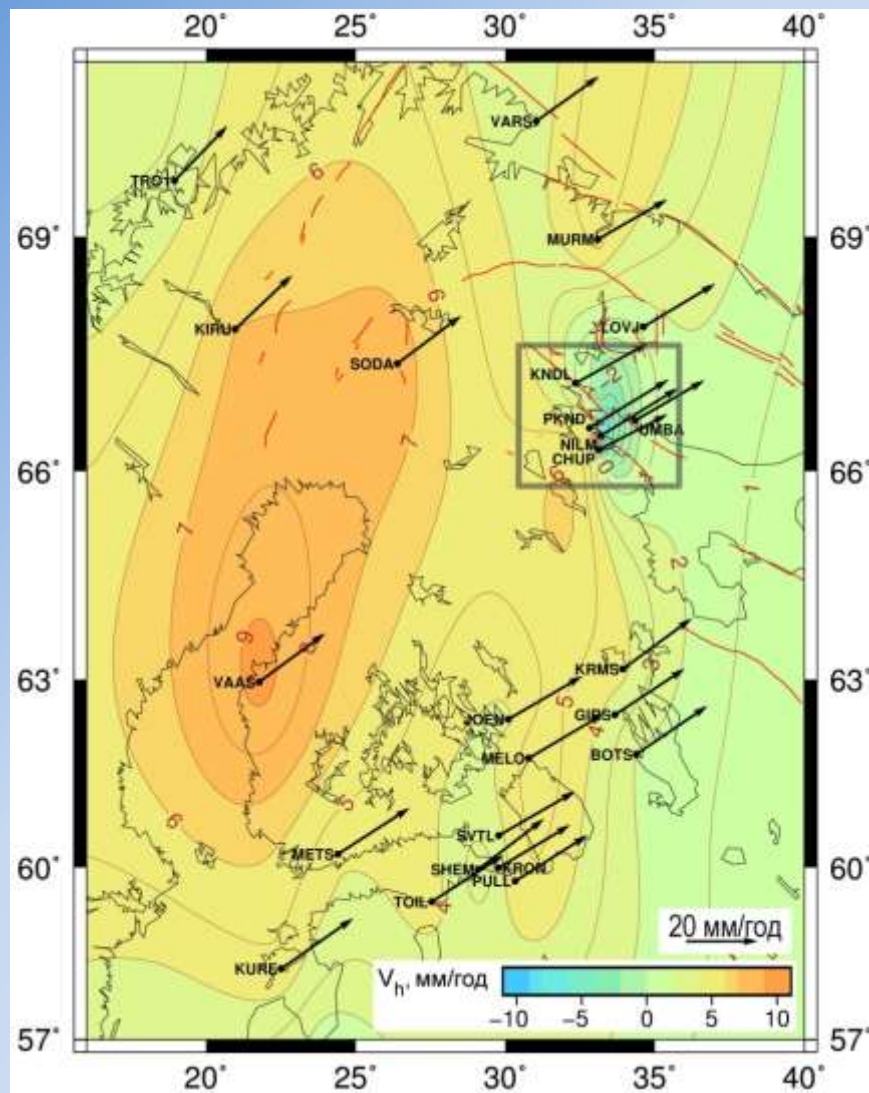
Графики временного хода компонент плановых координат пунктов Кандалакшского залива

Значения отклонений координат от линейного тренда для пунктов ИФЗ (мм/год)



Кандалакшский залив	$\sigma_n$	$\sigma_e$	$\sigma_u$
Среднее	0.5	1.2	1.5
Максимальное	0.9	2.5	2.4
Ленинградская обл.	$\sigma_n$	$\sigma_e$	$\sigma_u$
Среднее	0.7	0.4	1.2
Максимальное	0.8	0.5	1.5
Карелия	$\sigma_n$	$\sigma_e$	$\sigma_u$
Среднее	0.6	0.4	0.7
Максимальное	0.7	0.4	0.8

# Скорости современных движений земной коры за 2006-2021 гг. в ITRF

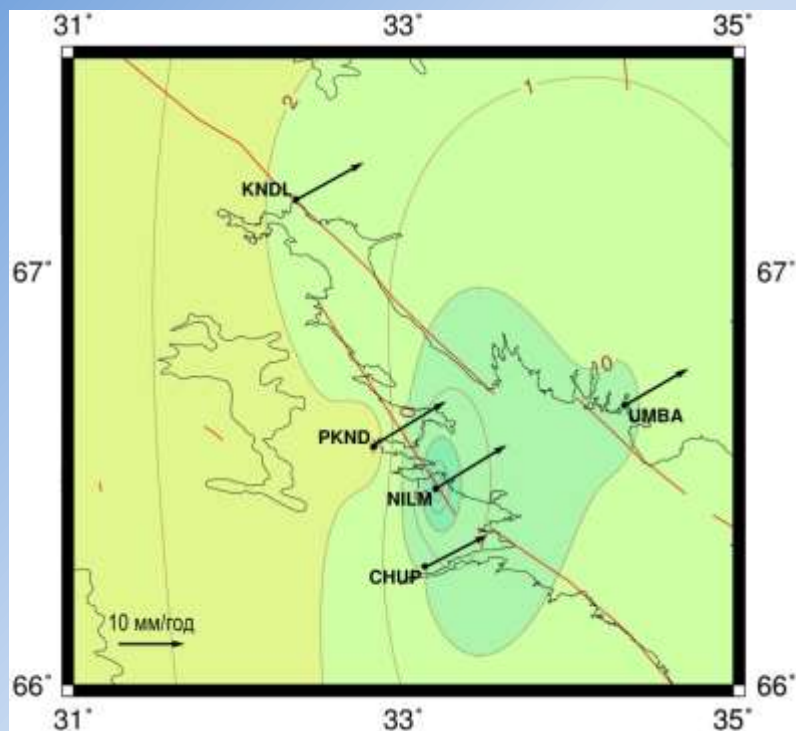


## Территория Фенноскандии

Вертикальные движения отражают процесс сводового поднятия со скоростью до 9.5 мм/год (на российской территории не более 5 мм/год). Горизонтальные смещения происходят в северо-восточном направлении со средней скоростью от 21 мм/год на севере региона до 24 мм/год на юге.

Карта скоростей вертикальных движений (изолинии) и векторов горизонтальных движений (стрелки) за 2006–2021 гг. в международной наземной системе координат ITRF. Красные линии — крупные разрывные нарушения

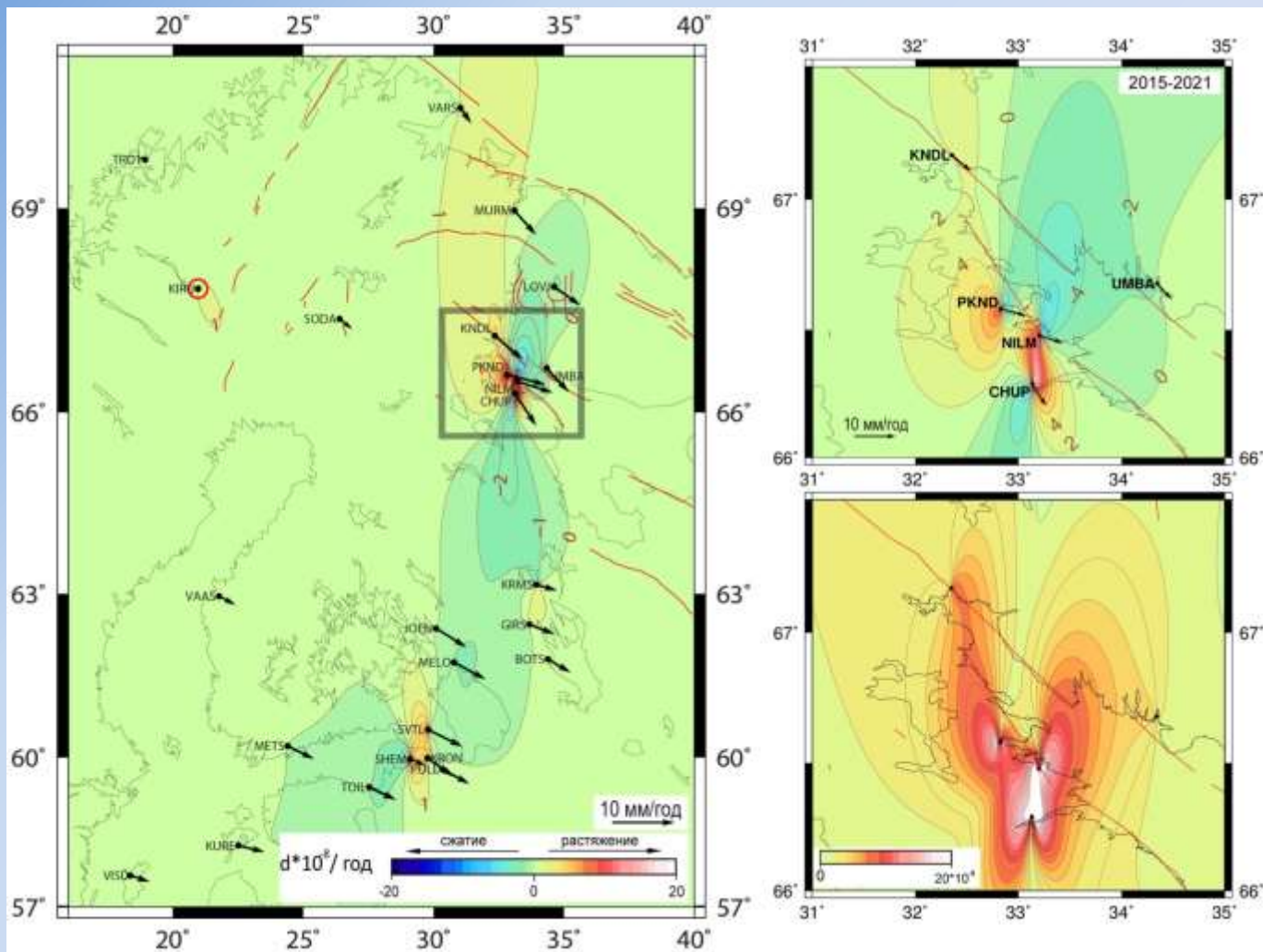
## Скорости современных движений земной коры для района Кандалакшского залива в ITRF



Скорости горизонтальных и вертикальных движений и их ошибки для пунктов района Кандалакшского залива в ITRF

Пункт	$V_N$ , мм	$\sigma_N$ , мм	$V_E$ , мм	$\sigma_E$ , мм	$V_U$ , мм	$\sigma_U$ , мм	$V_S$ , мм
CHUP	9.9	0.8	19.1	1.4	0.2	1.5	21.5
KNDL	11.2	0	20.3	2.5	1	1.6	23.2
NILM	13.2	0.9	21.5	0.9	-6.4	0.4	25.2
PKND	13.4	0.6	22	0.7	3.7	2.4	25.8
UMBA	11.2	0.1	19.3	0.4	-0.5	1.6	22.3

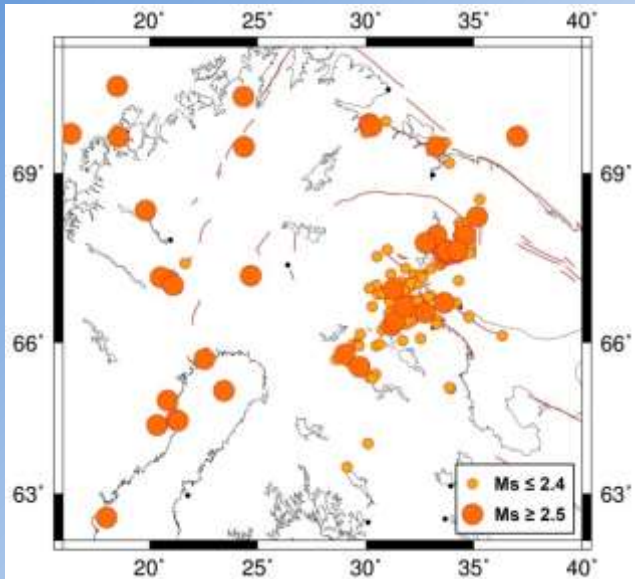
# Внутрирегиональные скорости и деформационное поле



Распределение скоростей площадных деформаций (изолинии) и векторов скоростей (стрелки) горизонтальных смещений относительно пункта KIRU (отмечен красным кружком на левой карте) для территории Балтийского щита – левая карта; для района Кандалакшского залива в более крупном масштабе (на общей карте отмечен серым квадратом) – правая верхняя карта; сдвиговая составляющая – правая нижняя карта



# Сейсмичность



**Использованный каталог:**  
ЕГС РАН (2000-2020гг)

**Вся территория 2000-2020 гг:**

Всего – 212 события

Магнитуды ( $M_s$ ) 0.7 – 4.9

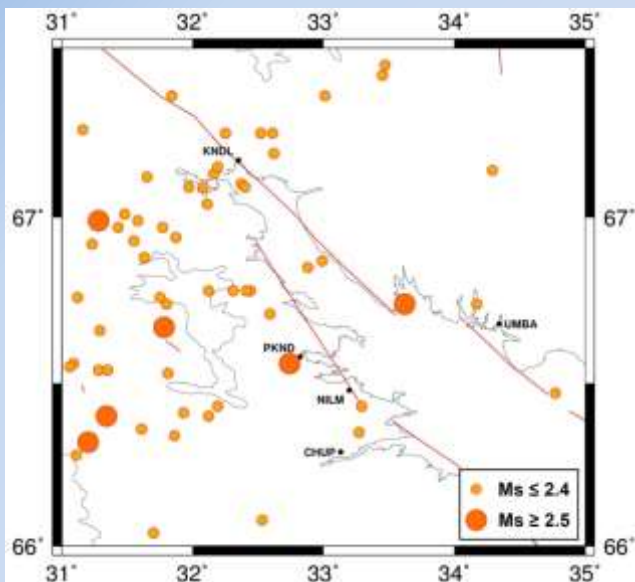
12 событий – с  $M_s > 3.5$

**Кандалакшский залив:**

Всего – 60 событий

Максимальная  $M_s$  – 3.6 (22.10.2001г. оз. Нигрозеро)

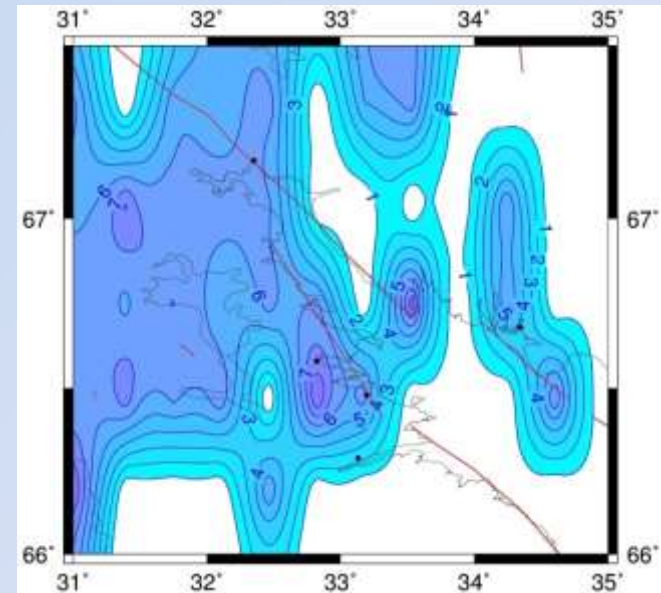
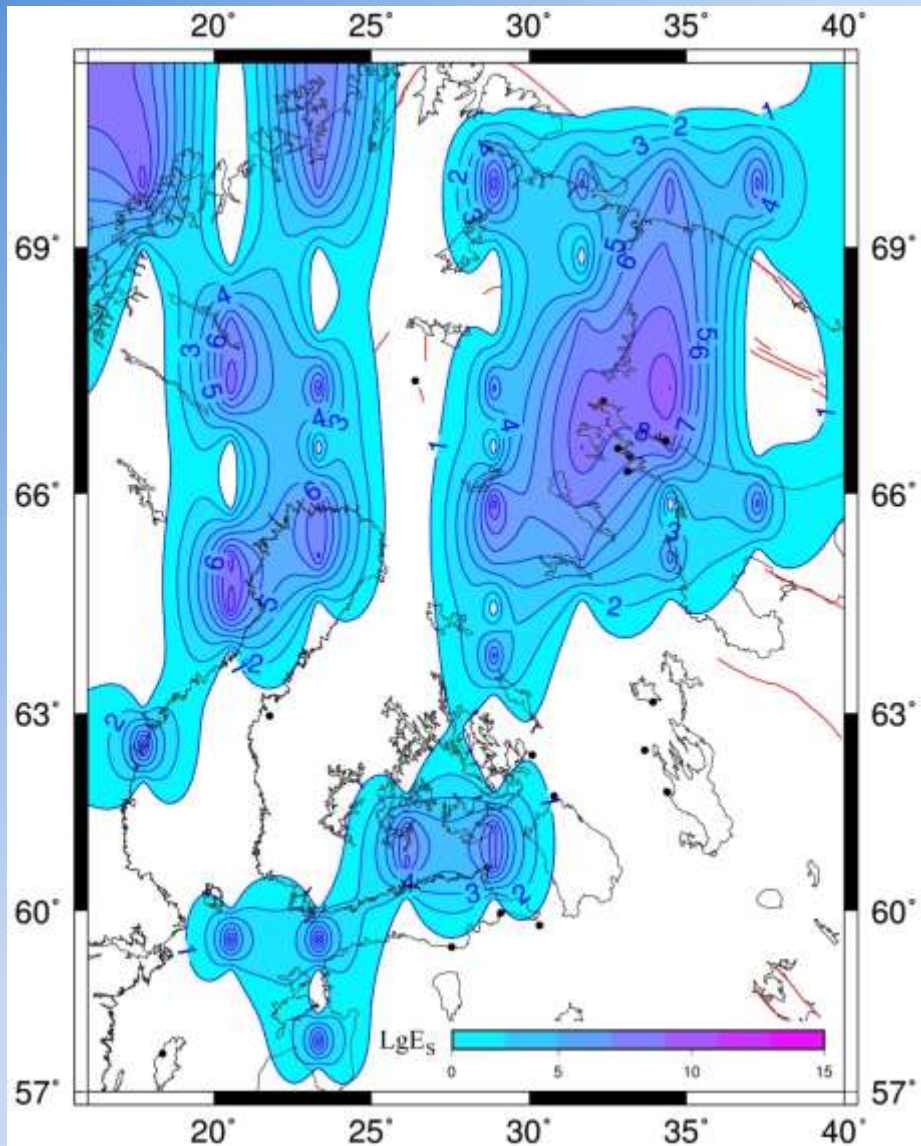
Средняя  $M_s$  – 1.7



Для оценки энергии землетрясений использовалось соотношение Гутенберга–Рихтера:

$$\lg E = 1.5 \cdot M_s + 4.8.$$

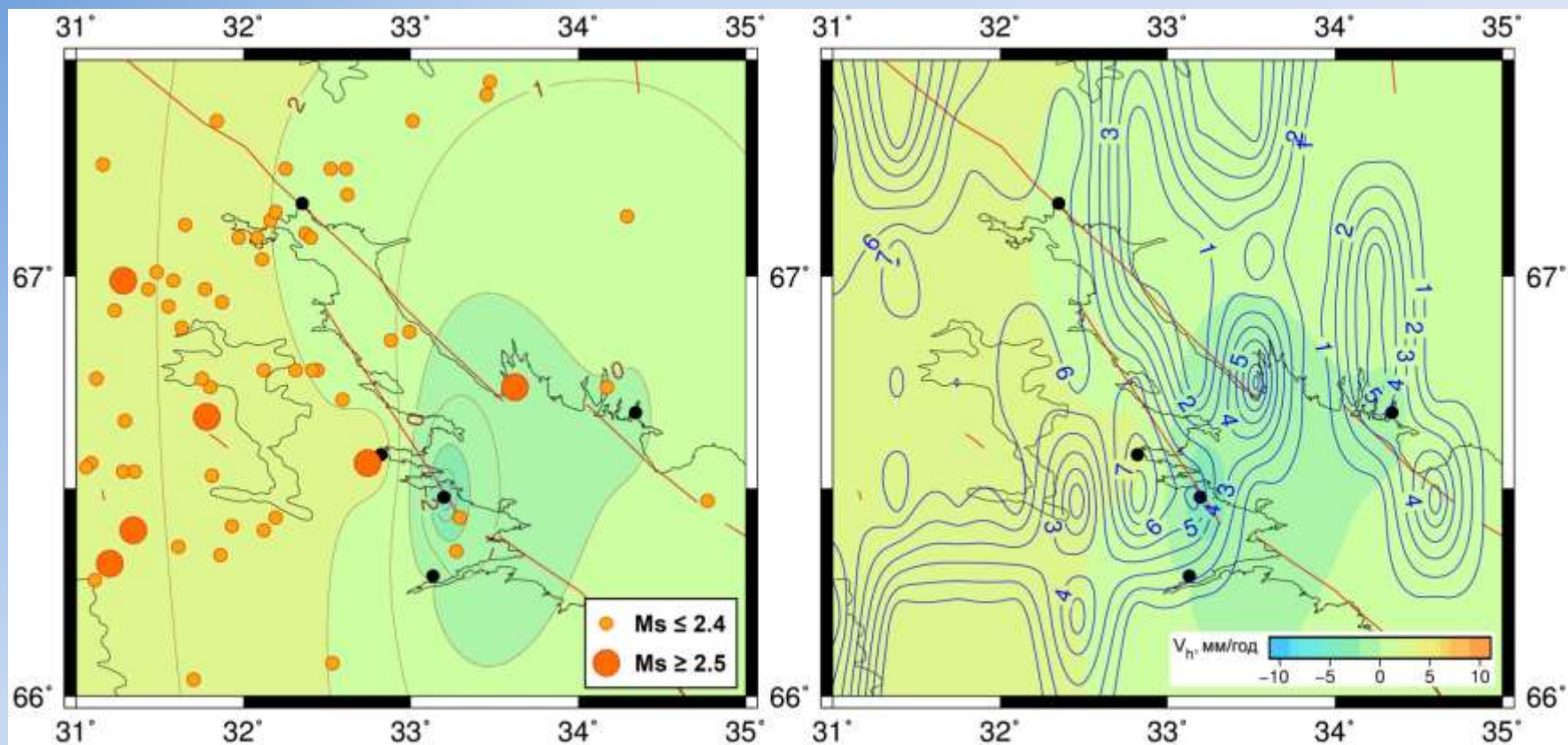
# Поток сейсмической энергии



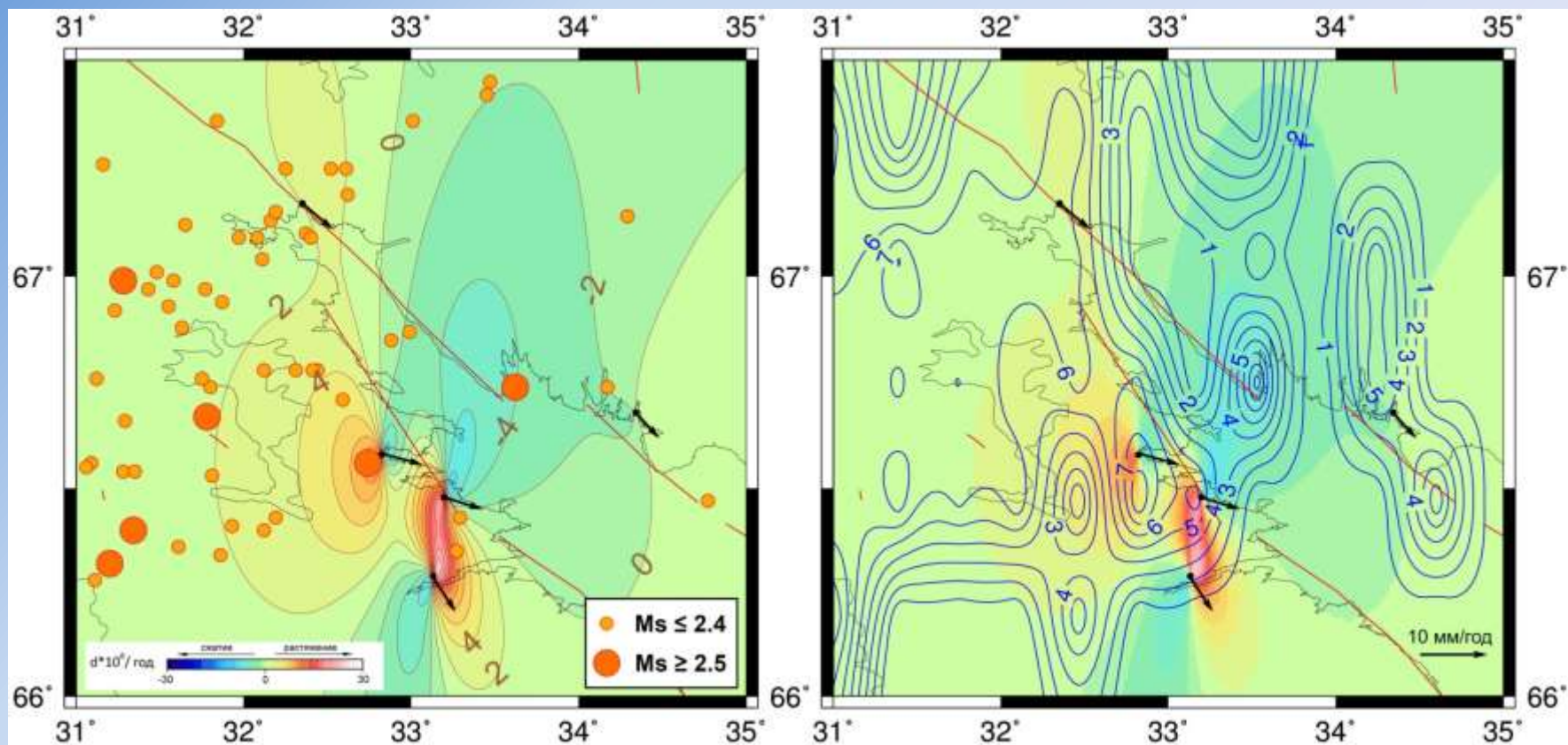
Размер ячейки: для всей территории:  
 $S = 10\,000 \text{ км}^2$ ;  
для Кандалакшского залива –  $S = 500 \text{ км}^2$

Максимальное значение среднегодового  
потока выделившейся энергии для всей  
территории:  $P_E = 10^{10} \text{ Дж/год}$  (Хибины); для  
Кандалакшского залива –  $P_E = 10^9 \text{ Дж/год}$

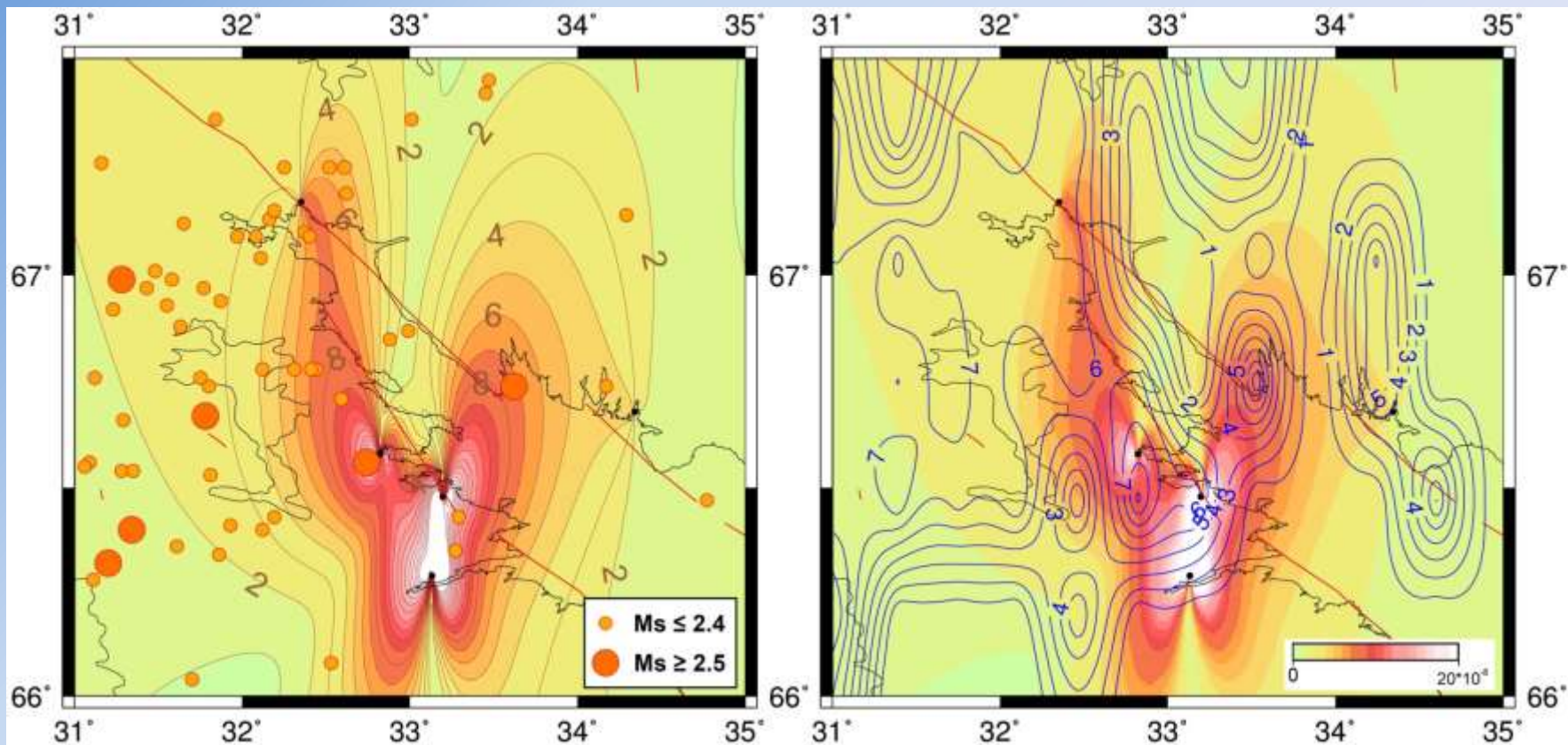
## Сопоставление скоростей вертикальных движений и выделившейся сейсмической энергии для района Кандалакшского залива



## Сопоставление площадного распределения деформаций и выделившейся сейсмической энергии для района Кандалакшского залива



## Сопоставление сдвиговых деформаций и выделившейся сейсмической энергии для района Кандалакшского залива



## Заключение

В результате проведенных исследований современных движений и деформаций земной коры с применением спутниковых технологий и сопоставлении их с местной сейсмичностью можно сделать первые выводы об активности геодинамических процессов в количественном выражении, происходящих в районе Кандалакшского грабена. На фоне общего поднятия зафиксирована область опускания со скоростью до 6 мм/год, возможно отражающая специфику геолого-тектонического развития отдельных структурных элементов грабена. Аномальные значения деформаций, совпадающие с повышенными значениями выделившегося потока сейсмической энергии, подтверждают наличие активных современных процессов в зоне Кандалакшского грабена и свидетельствуют о необходимости продолжать деформационный наблюдения с использованием новейших спутниковых технологий.

**Спасибо за внимание!**

