


Семнадцатая Всероссийская Открытая конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»
11 - 15 ноября 2019 г. Москва, Россия

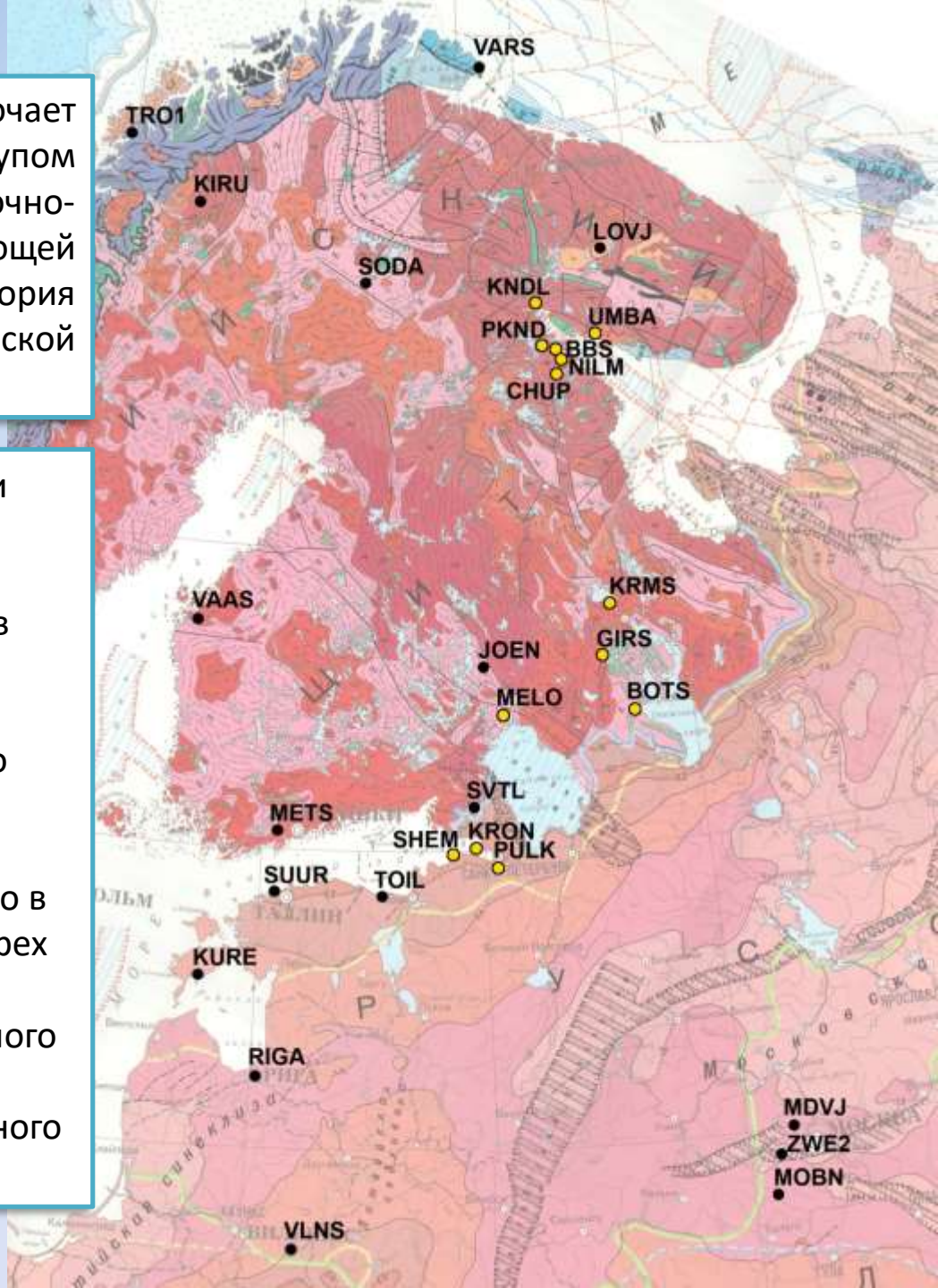
Спутниковый мониторинг Балтийского щита и прилежащих территорий Восточно-Европейской платформы

A GNSS receiver on a tripod is positioned on a rocky shore overlooking a large blue lake. The receiver has a yellow protective cap and is connected to a cable. In the background, there is a dense forest of trees under a clear blue sky.

Гусева Т.В., Крупенникова И.С., Мокрова А.Н., Передерин В.П.
Лаборатория спутниковых методов изучения геофизических процессов
ИФЗ РАН, Москва

Исследуемая территория включает Балтийский щит, являющийся выступом докембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы (ВЕП), с прилегающей частью платформы. Вся территория характеризуется слабой сейсмической активностью.

При исследовании современных движений и деформаций земной коры использованы данные повторных спутниковых измерений ГНСС, выполненных сотрудниками ИФЗ РАН в Карелии (наблюдения 2006-2018 гг.) и Ленинградской области (наблюдения 2007-2018 гг.), а также измерений на 20 постоянно действующих станциях Международной геодинамической сети (IGS) в России, Финляндии, Швеции и Норвегии. Кроме этого в исследовании были использованы данные трех циклов ГНСС измерений (2015-2018 гг.) на пунктах геодезического построения, созданного на побережье Кандалакшского залива для изучения локальных движений в зоне активного грабена.



Задачи исследования:

- 1) определение современных движений и внутриплитовых деформаций земной коры региона по данным спутниковых измерений в разных системах отсчета
- 2) сопоставление скоростей современного деформационного поля с количеством выделившейся сейсмической энергии в едином временном интервале 2006-2018 гг.



Синхронные измерения GPS+ГЛОНАСС на геодинимических сетях проводились каждые 2 года в июле-августе сериями по 3-13 суток с помощью двухчастотных приемников Javad Maxor, с интервалом регистрации 30 с.

Станции Международной сети IGS



SVTL, Светлое, Россия



VAAS, Финляндия

Пункты ИФЗ РАН



GIRS (Гирвас)



KNDL, Кандалакша



MELO (Сортавала)

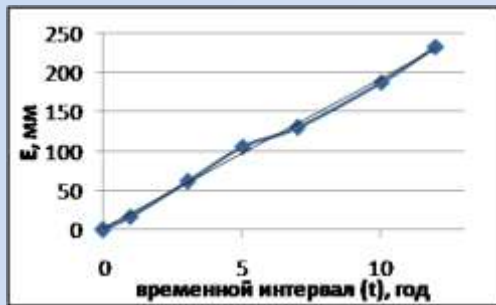
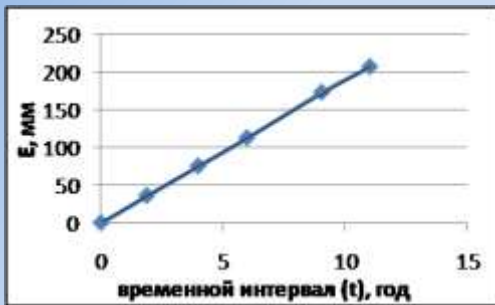
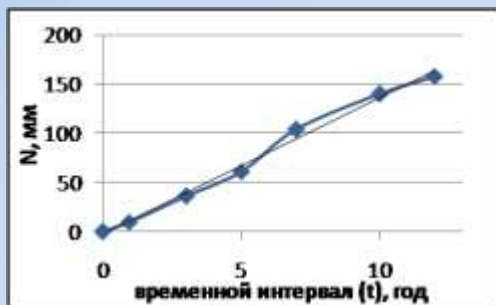
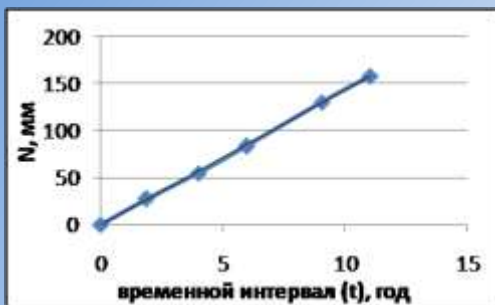
В результате выполнения повторных измерений и обработки в программном комплексе Bernese определены среднесуточные и средние на эпоху измерения геоцентрические и геодезические координаты пунктов в ITRF 2008 и 2014.

При обработке в качестве опорных (перемещаемых во времени с постоянной скоростью) принимались пункты KIRU (Кируна, Швеция), SVTL (Светлое, Россия), VIS0 (Висбю, Швеция), ZWE2 (Звенигород, Россия), остальные пункты IGS были включены в расчет качества определяемых.

Оценка точности определения координат, осредненных за измерительный цикл

Графики временного хода компонент координат

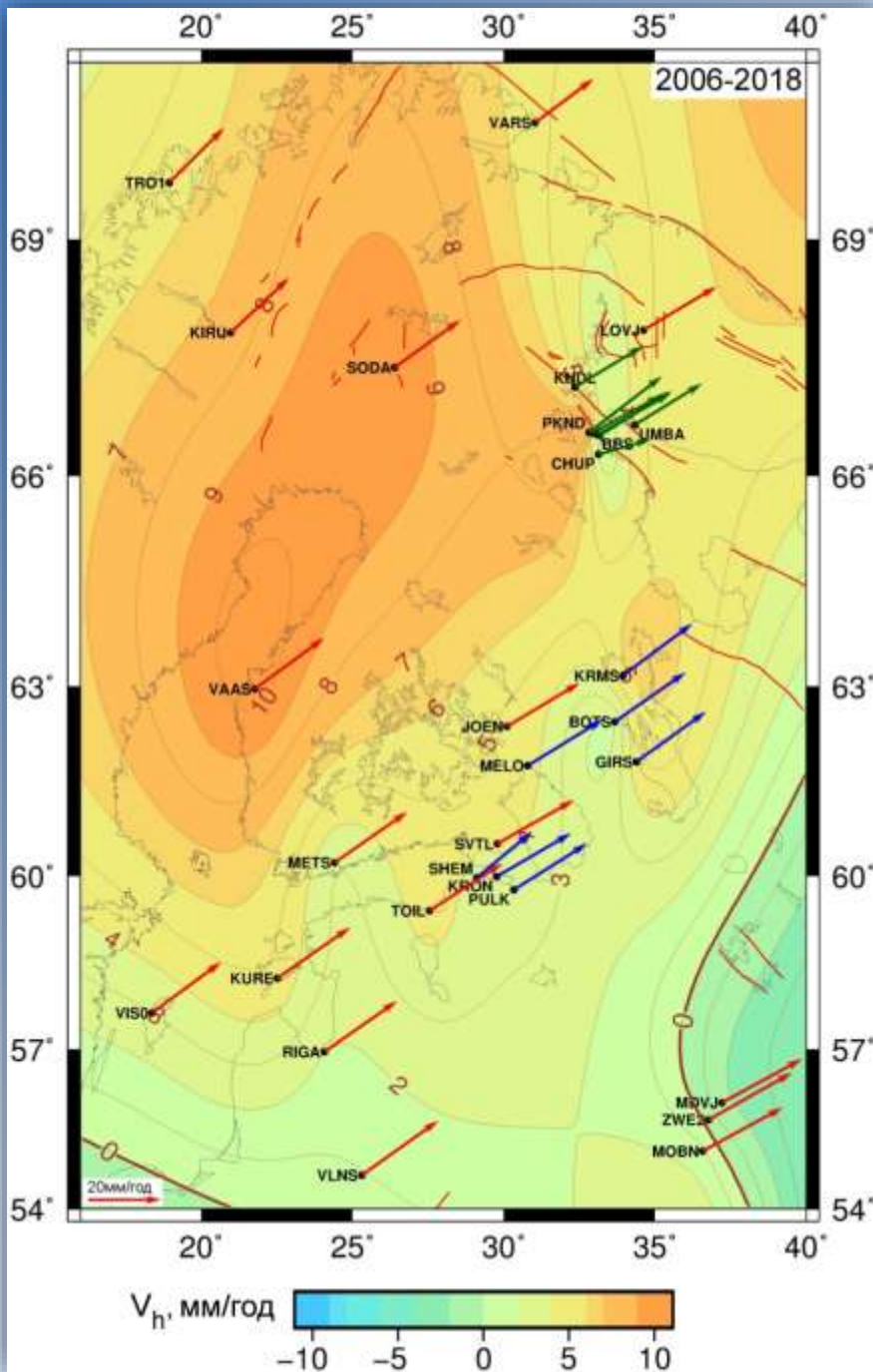
Пункты IGS



Значения отклонений координат от линейного тренда (мм/год)

IGS	σ_n	σ_e	σ_u
Среднее	0.2	0.2	0.7
Максимальное	1.5	0.9	2.0
Ленинградская обл. ИФЗ	σ_n	σ_e	σ_u
Среднее	0.9	0.6	0.9
Максимальное	1.1	0.7	1.6
Карелия ИФЗ	σ_n	σ_e	σ_u
Среднее	0.6	0.5	0.6
Максимальное	0.9	0.5	0.9
Кольский ИФЗ	σ_n	σ_e	σ_u
Среднее	1.4	1.8	1.7
Максимальное	4.7	6.4	4.3

Скорости современных движений земной коры в за 2006-2018 гг. в ITRF

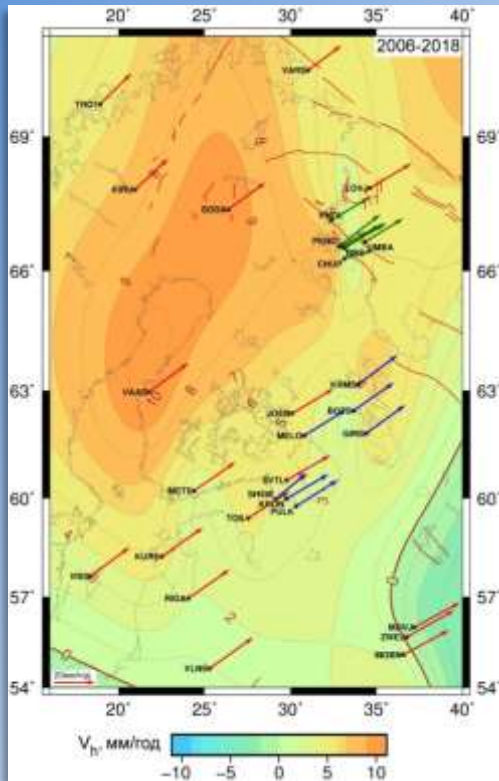


Горизонтальные смещения пунктов GPS на исследуемой части Евразии по результатам линейной аппроксимации значений изменения координат за период 2006-2018 гг. имеют северо-восточное направление и происходят со средней скоростью от 19.9 мм/год на севере региона до 23.9 мм/год на юге.

Вертикальные движения отражают сводовое поднятие со скоростью до 10.4 мм/год, на российской территории не превышая 5-6 мм/год. Подтверждение этому: фиксируемое абсолютными повторными гравиметрическими измерениями уменьшение значений ускорения силы тяжести со скоростью до 2 мкГал в год.

Карта скоростей вертикальных и горизонтальных движений за период 2006-2018 гг. в ITRF 2008. Изолинии скоростей вертикальных движений проведены через 1 мм/год

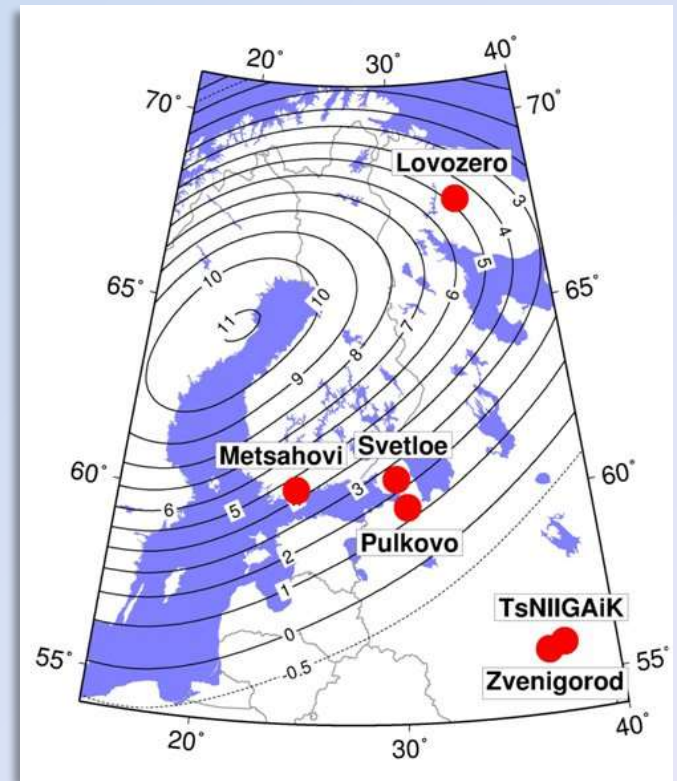
Сравнение скоростей вертикальных движений, полученных разными методами



Спутниковые измерения



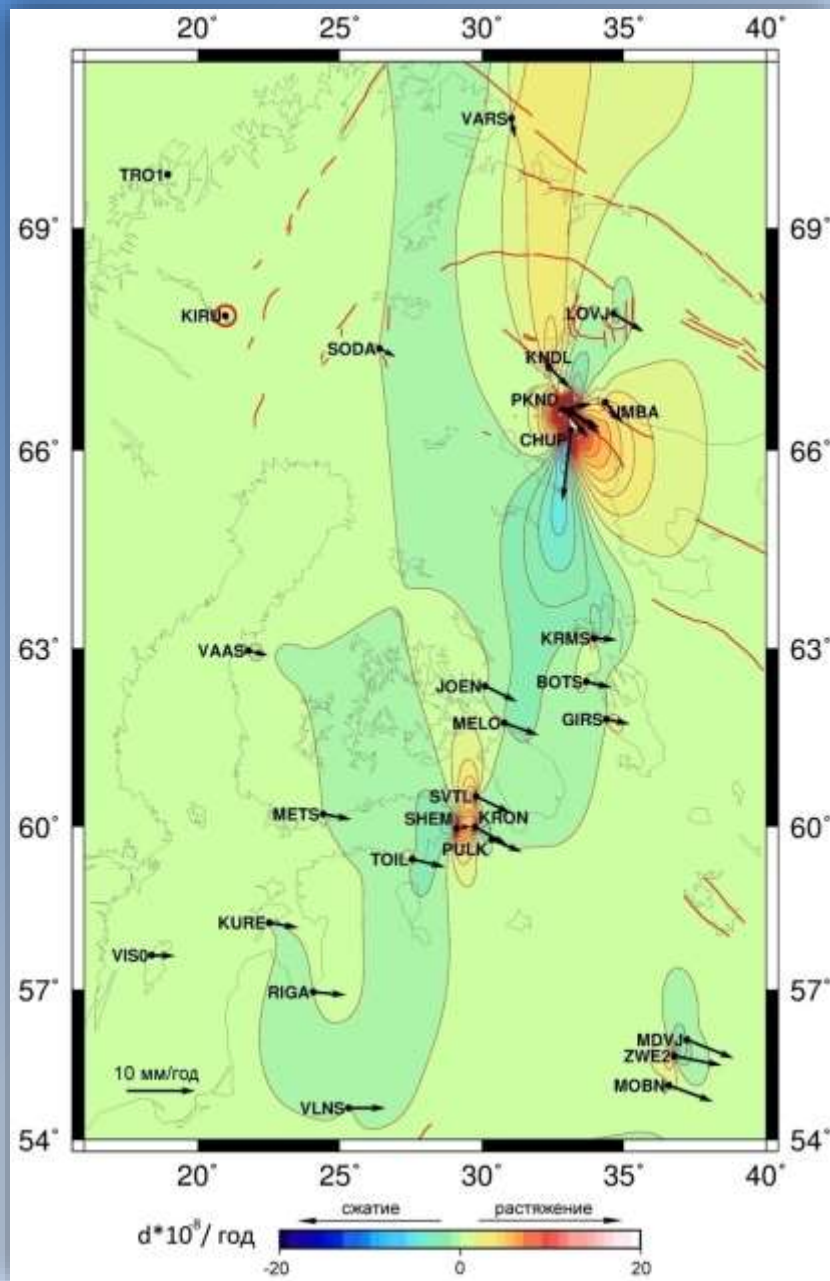
По данным повторного прецизионного нивелирования* и уровневых наблюдений



Изолинии - скорости изостатического поднятия по данным модельных расчетов. Красные кружки - российско-финские станции абсолютных повторных определений ускорения силы тяжести*

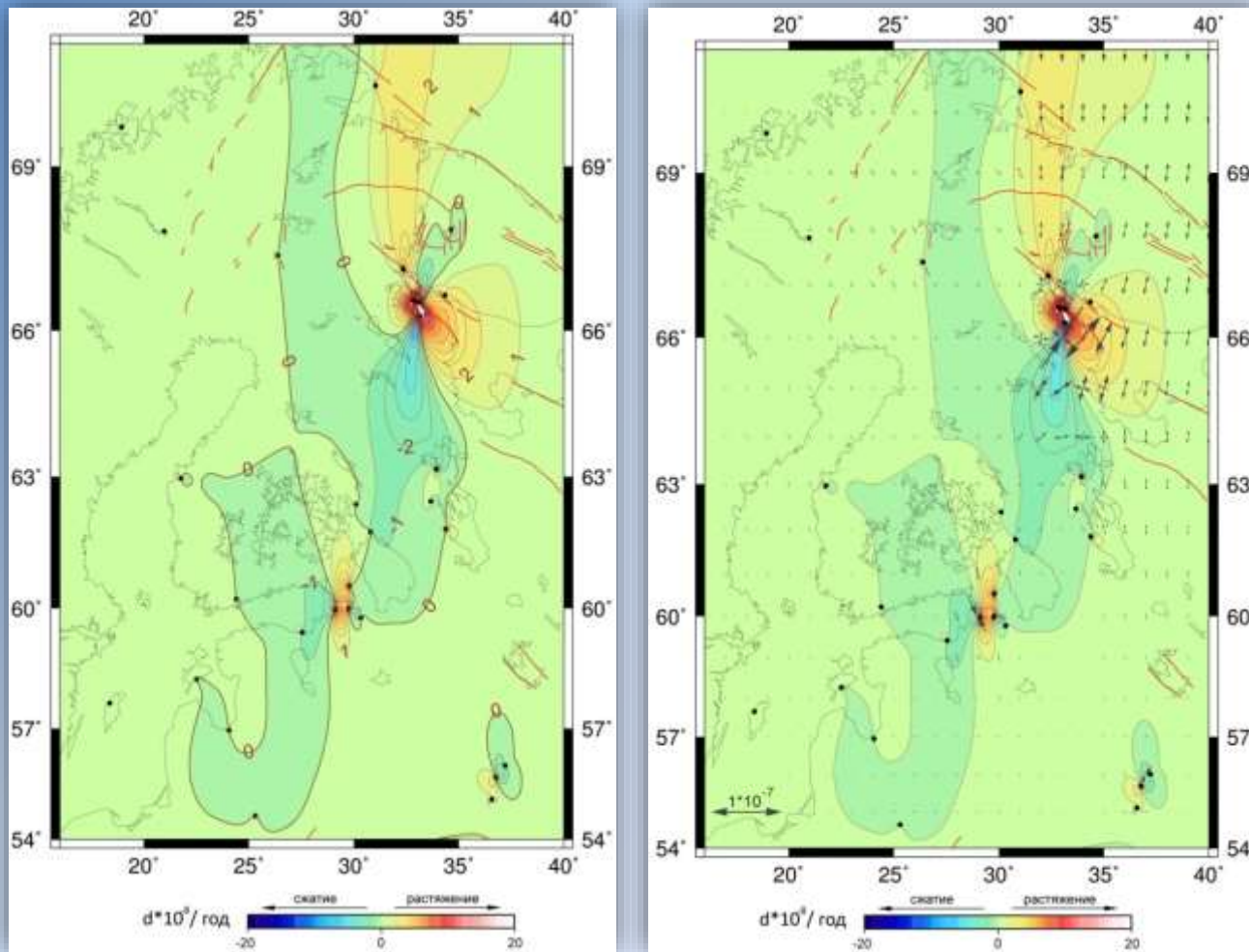
* Kaftan V., Mäkinen J. Fennoscandian uplift study as an example of Russian-Finnish cooperation in Arctic geodesy (Advisory). September 2019, *Russian Journal of Earth Sciences* 19(5)

Внутрирегиональные скорости горизонтальных движений



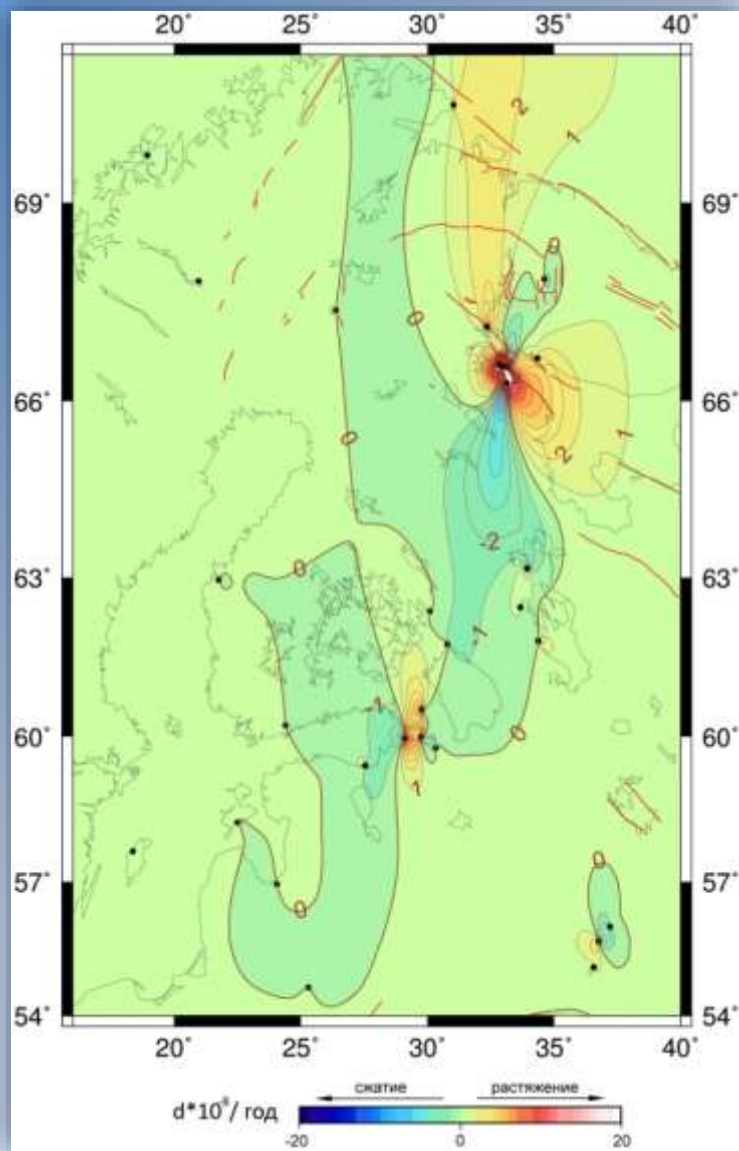
Чтобы оценить значения горизонтальных движений внутри исследуемого региона, выполнен расчет смещений относительно пункта KIRU, находящегося на северо-западе исследуемой территории. Внутрирегиональные скорости горизонтальных перемещений имеют значения от 0.8 мм/год на северо-западе до 5.8 мм/год на юго-востоке, а их направление — преимущественно юго-восточное.

Деформационное поле

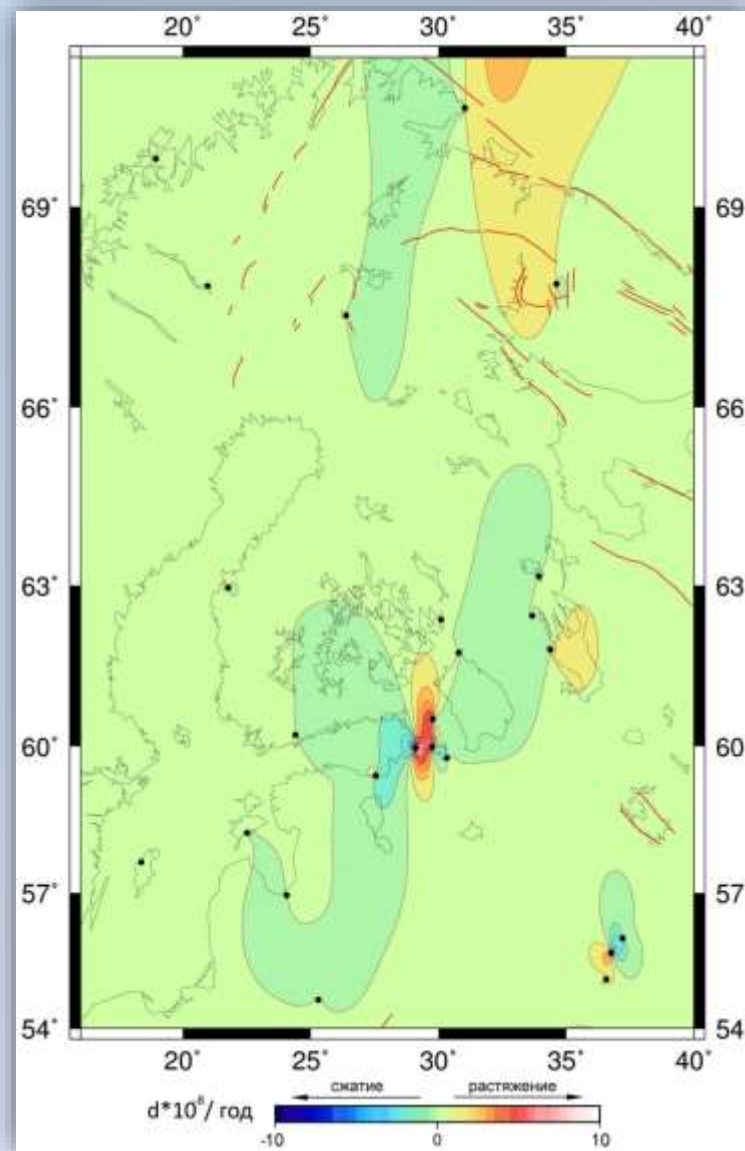


Используя координаты пунктов и скорости их изменений, рассчитан первый инвариант тензора деформаций за рассматриваемый временной интервал. Деформационное поле региона неравномерно, протяженные зоны сжатия и растяжения сменяют друг друга, достигая значений $(-8 \div 16) \times 10^{-9}$ в год. Аномальные проявления деформационного поля выявлены для восточного побережья Финского залива и побережья Кандалакшского залива.

Влияние аномальной зоны Кандалакшского залива на деформационное поле региона

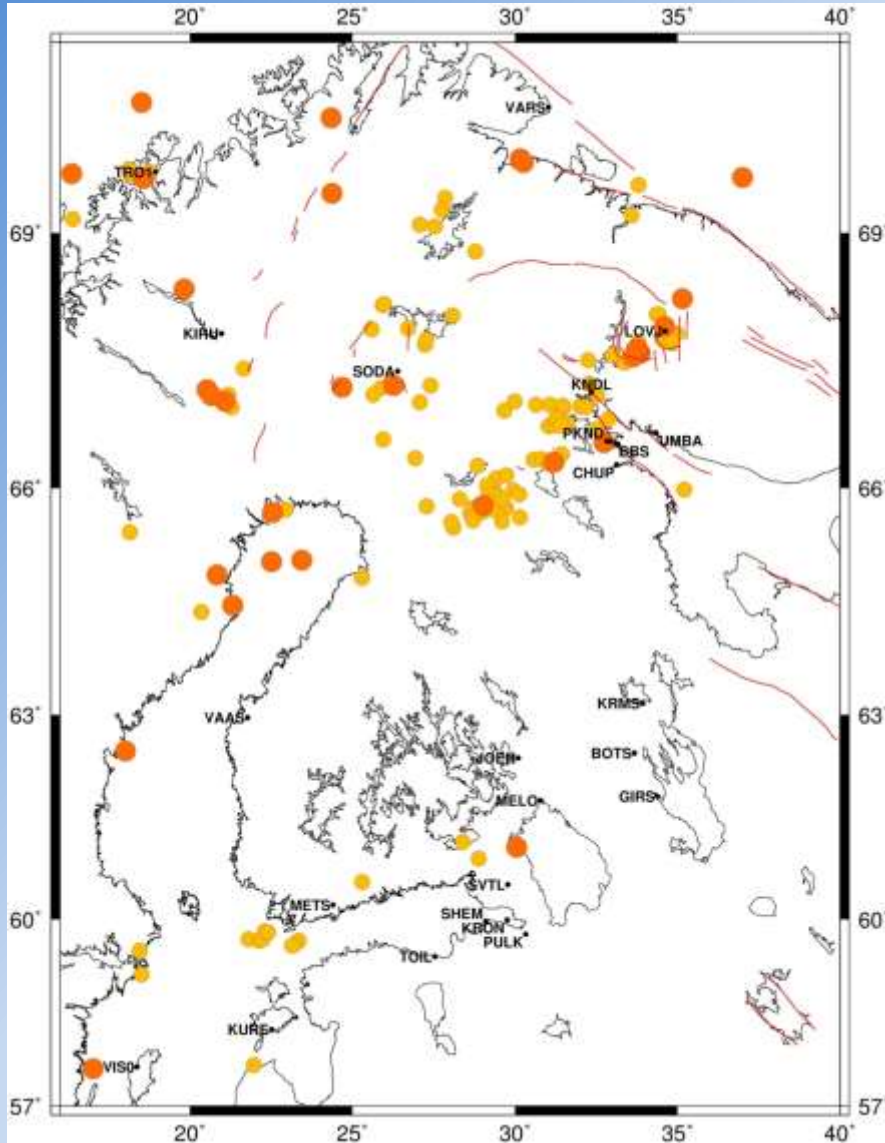


С аномальной зоной



Без аномальной зоны

Сейсмичность

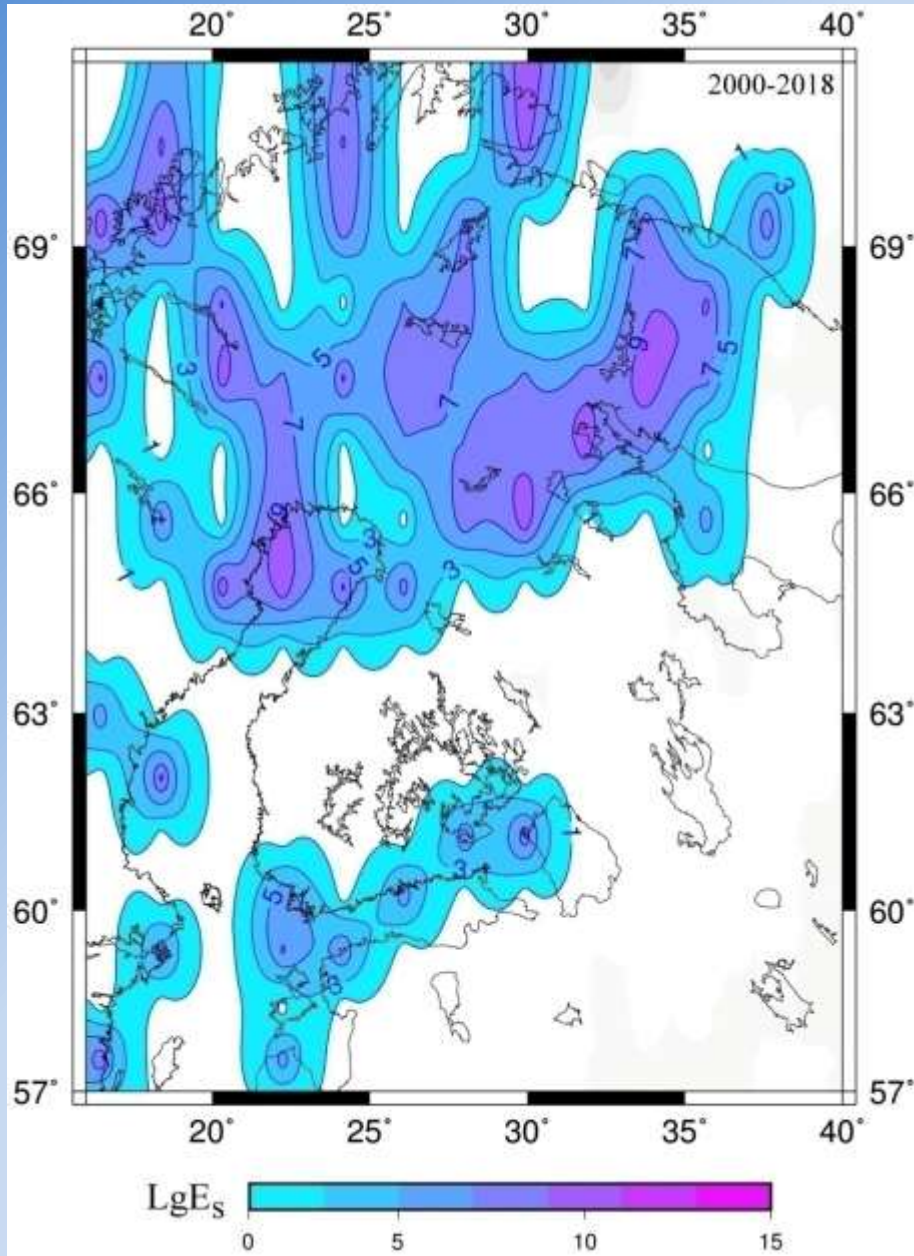


Для оценки сейсмической активности региона использовался каталог землетрясений, предоставленный КоФ ФИЦ ЕГС РАН, и данные USGS (United States Geological Survey). За период 2000–2018 гг. в пределах рассматриваемой территории произошло 192 сейсмических события с магнитудами (M_s) 0.7 – 4.1. В основном это слабые события с магнитудами до 3.3, кроме девяти – с M_s от 3.5 до 4.1.

Для оценки энергии землетрясений использовалось соотношение Гутенберга–Рихтера: $\lg E = 1.5 \cdot M_s + 4.8$.

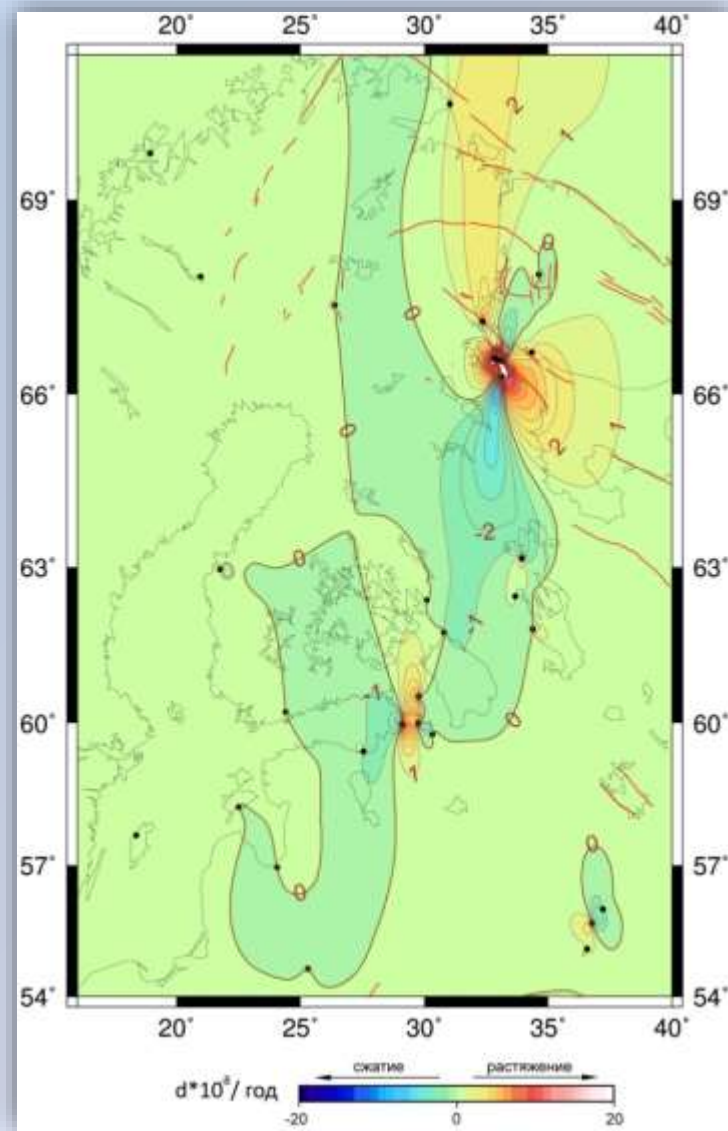
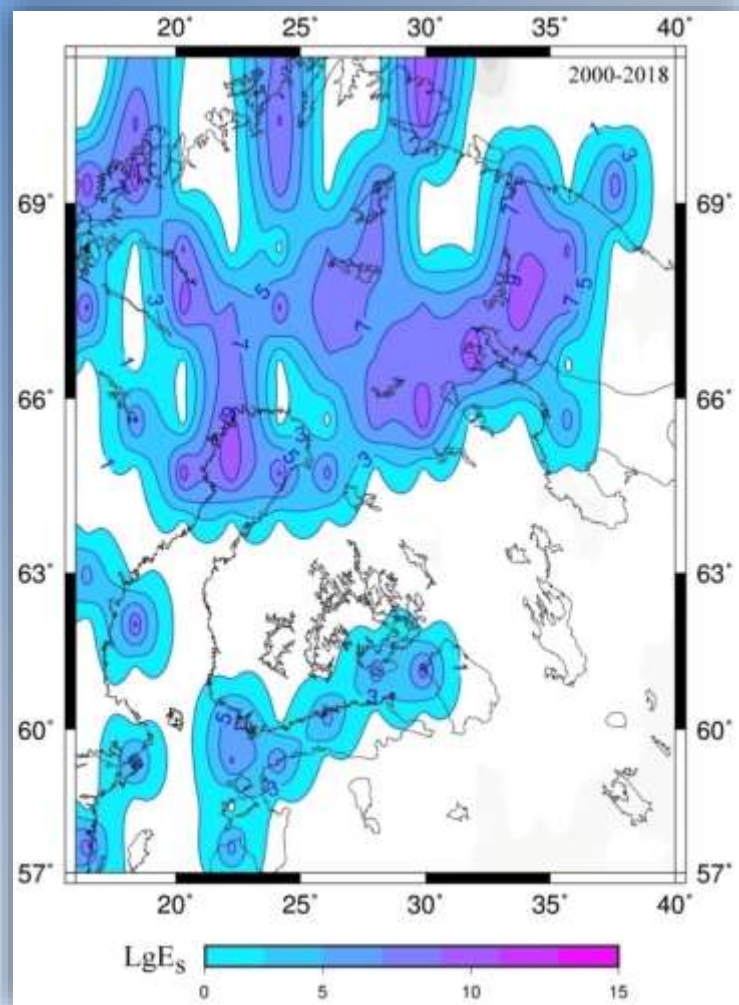
Территория была разбита ячейками по 10 000 км², для каждой из которых проведено суммирование сейсмической энергии всех землетрясений за 2000-2018 гг. Полученные суммарные значения выделившейся сейсмической энергии E_s (Дж/10000 км²) присвоены центру каждой ячейки.

Сейсмичность

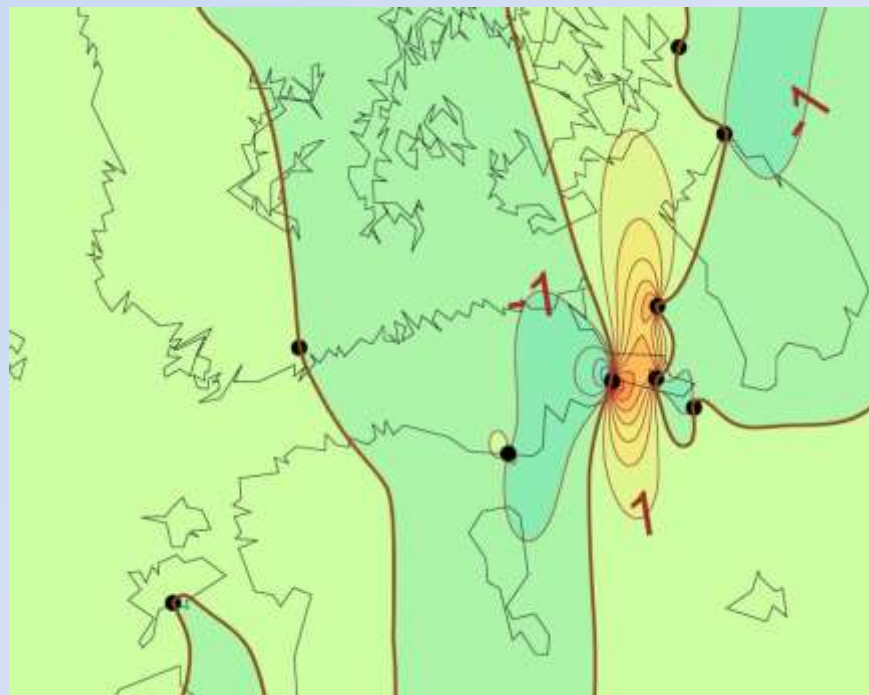
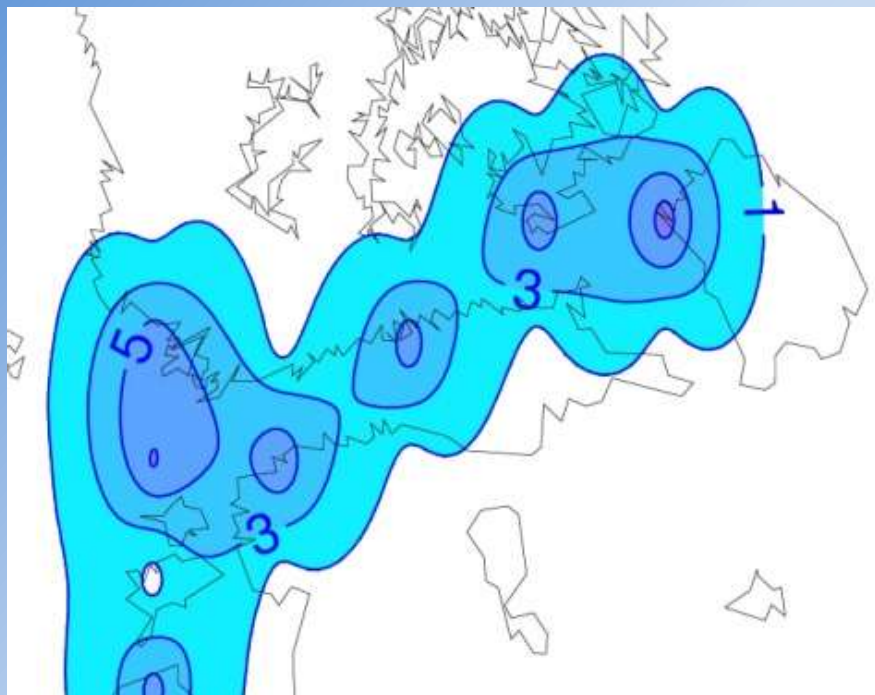


Распределение сейсмической энергии в пределах рассматриваемой области достаточно неоднородно. Наибольшая интенсивность сейсмических проявлений с E_s до 10^{11} Дж/10000 км² характерна для сводового поднятия Фенноскандии. На юго-западе территории наблюдается упорядоченная цепочка элементов сейсмической активности диагональной направленности с ЮЗ на СВ со значениями E_s до 10^8 Дж/10000 км².

Сопоставление площадного распределения деформаций и выделившейся сейсмической энергии



Сопоставление площадного распределения деформаций и выделившейся сейсмической энергии



Балтийско-Ладожская область сейсмической активности с E_s порядка 10^8 Дж/10000 км², вытянутая с юго-запада на северо-восток, приурочена к участку со сменой сжатия-растяжения и маркирует зону перехода от свода к платформе.

Заключение

Результаты выполненных исследований с использованием ГНСС технологий позволяют оценить современную тектоническую активность Фенноскандии и особенности ее проявления.

Предлагаемое сопоставление скоростей перемещений, деформаций и сейсмичности определяет количественные характеристики современной геодинамики исследуемого региона для конкретного временного интервала.



Спасибо за внимание!