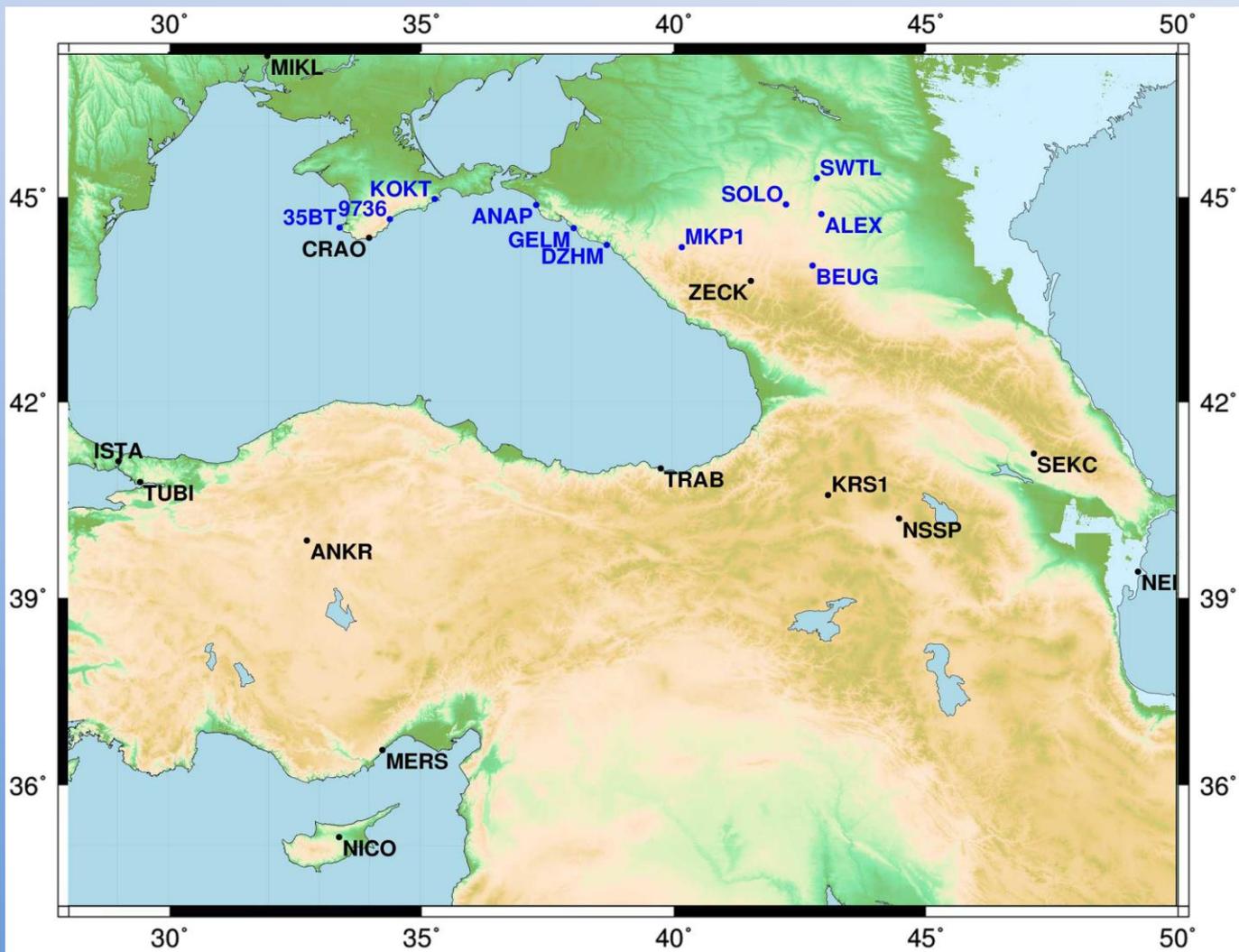


**Двадцать вторая международная конференция
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"
13 - 17 ноября 2023 г., Москва, Россия**

**ДЕФОРМАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА И
СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ
ТУРЕЦКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМ 6.02.2023 Г**

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

Исследуемый регион



Расположение пунктов, использованных в работе: Крымско-Северокавказская сеть ИФЗ РАН, 2005-2022гг (синие); IGS (черные)

Исследуемый регион



Схема расположения плит, оконтуривающих Крымско-Северокавказский регион. Черными стрелками указаны направления движений Аравийской и Анатолийской плит.

Исследуемый регион

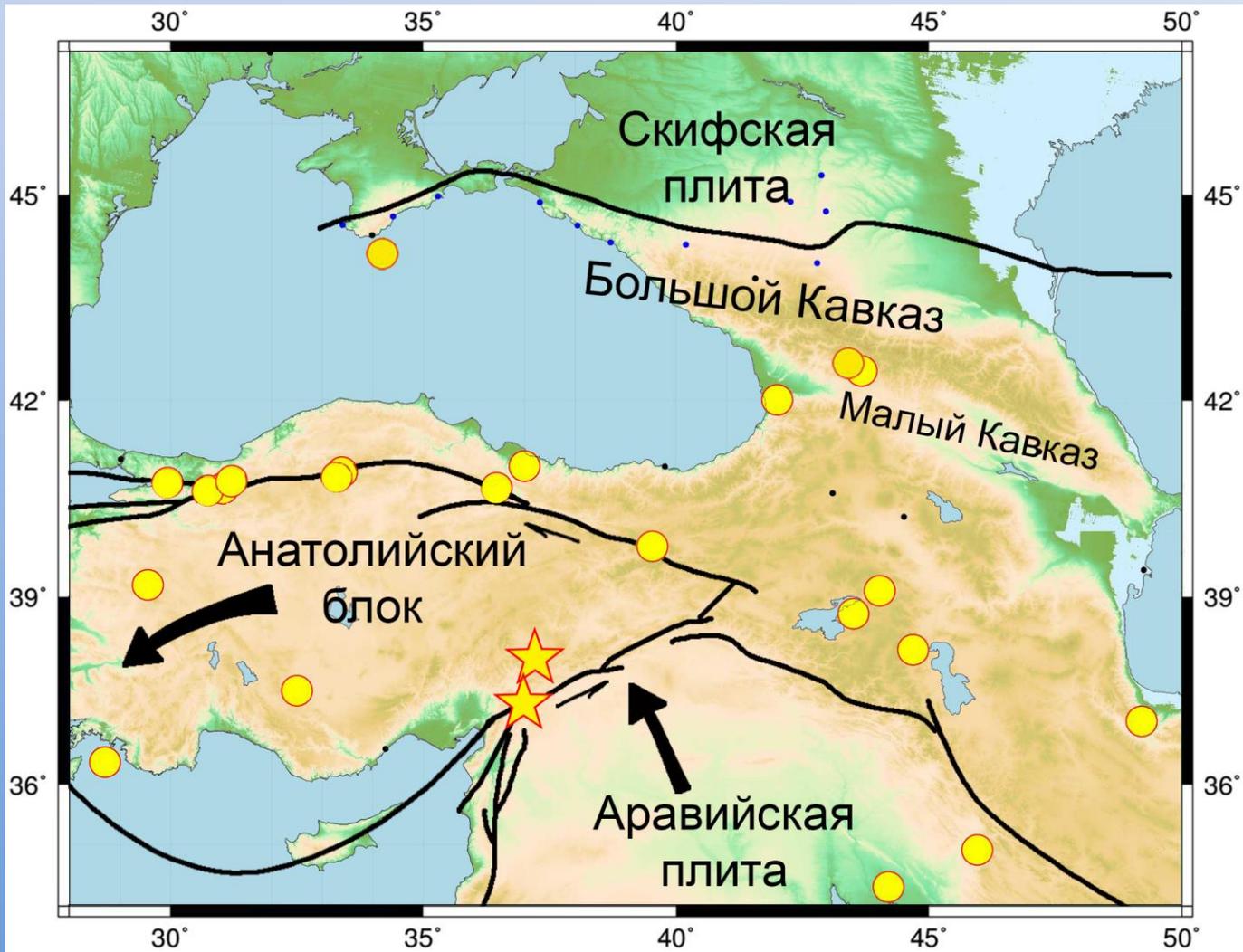
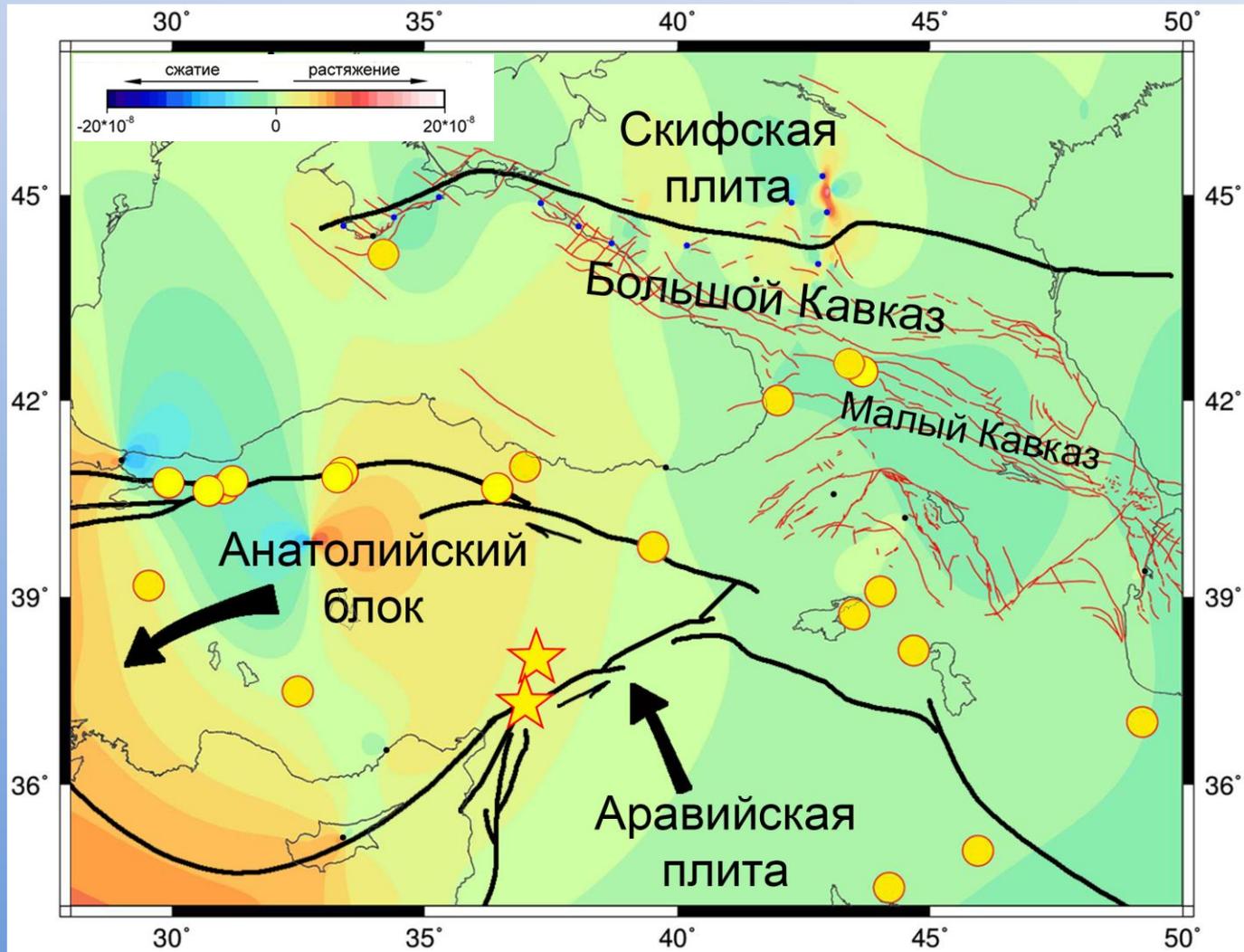


Схема расположения плит, оконтуривающих Крымско-Северокавказский регион. Черными стрелками указаны направления их движений. Кружками показаны эпицентры сильнейших землетрясений за последние 100 лет, звездочками — эпицентры турецких землетрясений 06.02.2023 г.

Исследуемый регион



Деформационное поле региона для временного интервала 2005 – 2022 гг. и схема расположения плит. Черными стрелками указаны направления их движений. Кружки — эпицентры сильнейших землетрясений за последние 100 лет, звездочки — эпицентры турецких землетрясений 06.02.2023 г.

Задачи исследования:

- 1) Анализ сейсмичности региона
- 2) Анализ координат ближайших к эпицентрам пунктов IGS и их изменения во время двух турецких землетрясений 6.02.2023. Зависимость этих изменений от удаления от эпицентров
- 3) Анализ временных рядов продолжительностью от 3 месяцев до 2 лет для определения возможного изменения скоростного режима движения пунктов

Анализ сейсмичности региона

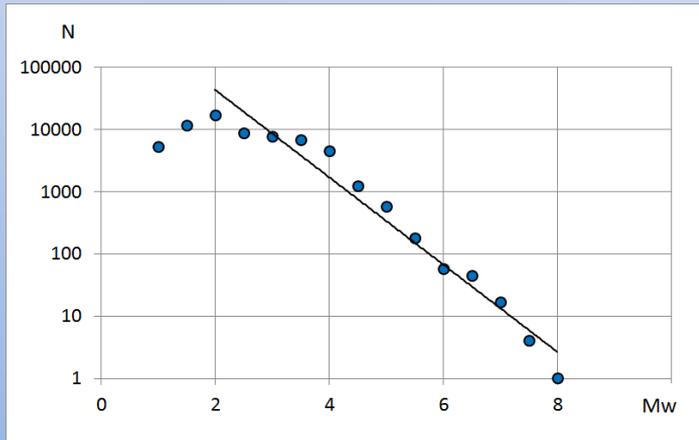
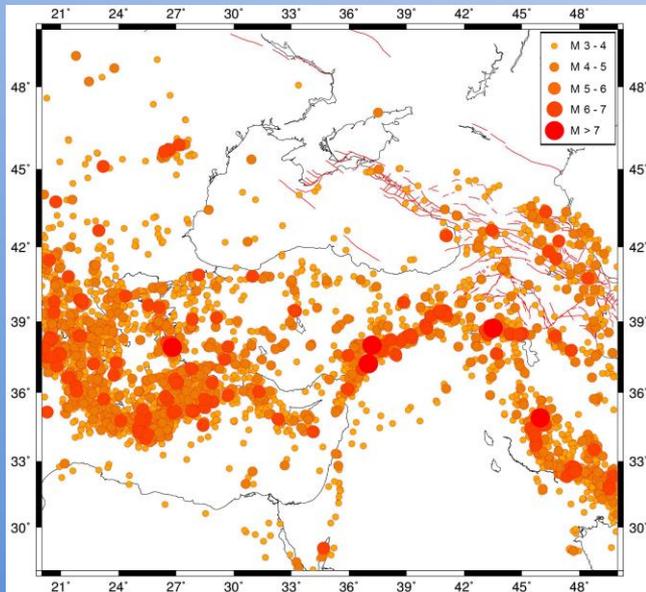


График повторяемости землетрясений



Карта эпицентров землетрясений за 2005-2023гг

Для оценки сейсмической активности региона использовались данные каталога Геологической службы США (USGS) за 1980-2023гг. В каталог вошли более 60 тыс. сейсмических событий.

Представительная часть каталога начинается с сейсмических событий $M_W > 3.5$. В дальнейшей работе рассматривались события с магнитудами более 4.

За временной интервал исследования Кавказа (2005-2023гг) здесь произошло около 50 землетрясений с магнитудами $M_w \geq 6$.

Анализ сейсмичности региона

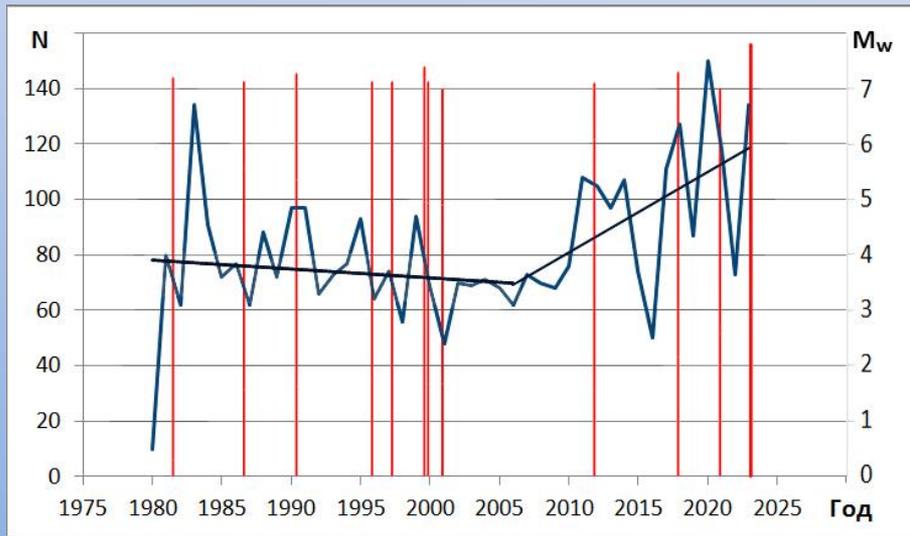


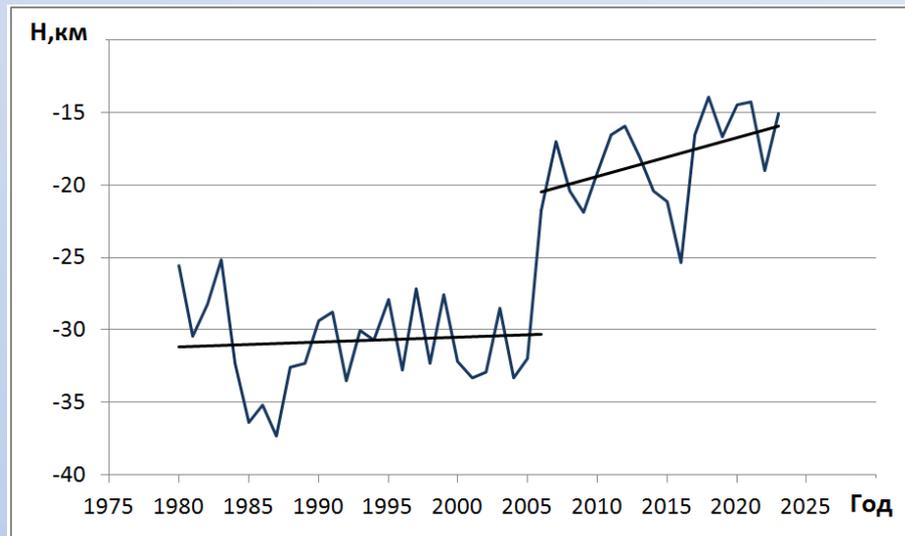
График суммарного годового количества землетрясений за 1980-2023 гг. с $M_w \geq 4$. Красные линии - крупнейшие землетрясения с $M_w \geq 7$.

1980-2001гг - уменьшение временного интервала между крупными сейсмическими событиями

1999-2001гг - серия крупных событий

2001-2011гг - затишье на 10 лет

С 2006 г - возрастание количества событий в год



Средняя глубина землетрясений за год

Угловой коэффициент аппроксимирующей линейной функции:

Левый график:

1980-2005 гг. -0.2

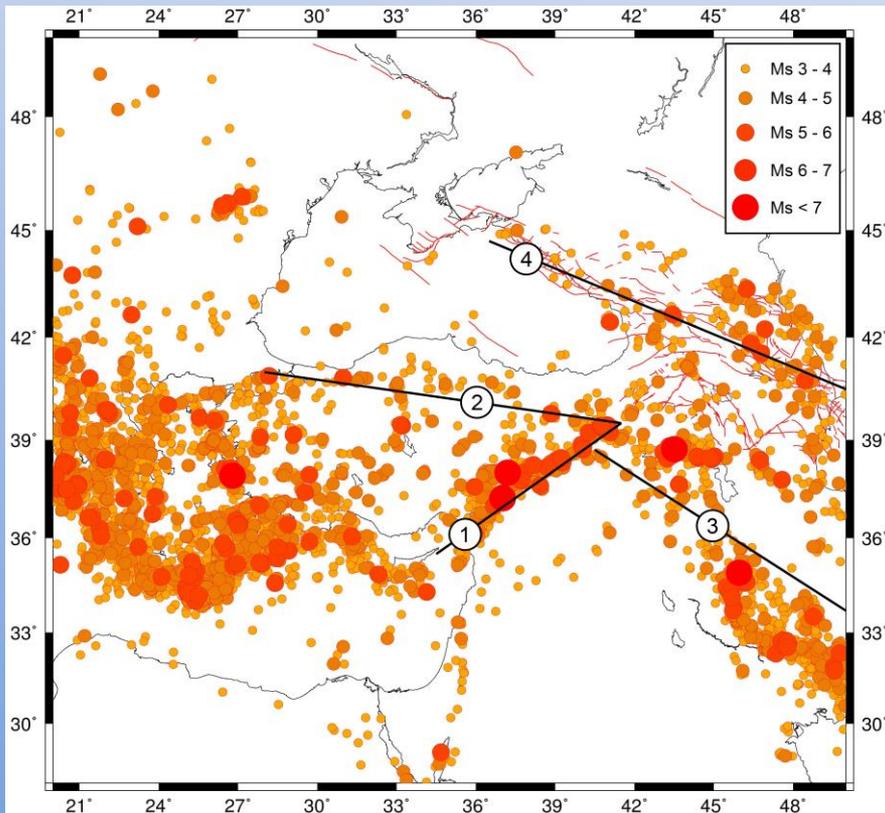
2006 -2023гг 2.9

Правый график:

1980-2005 гг. 0,03

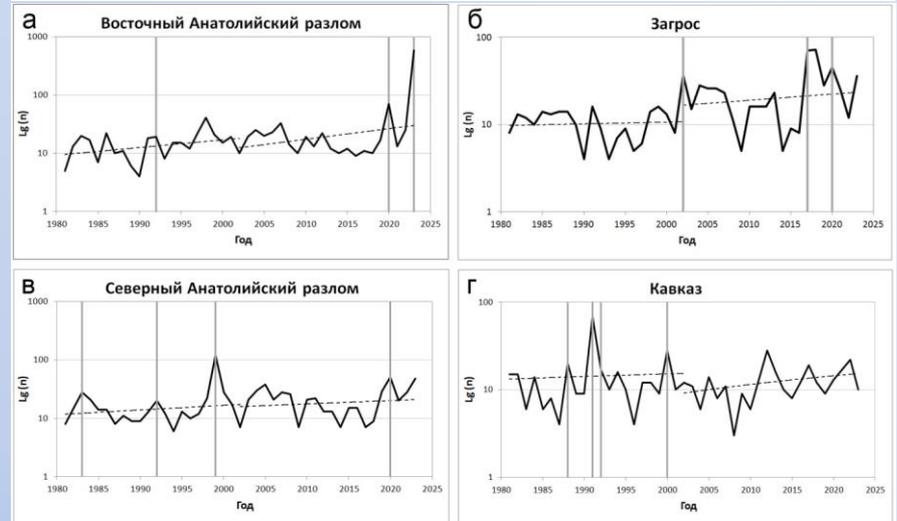
2006 -2023гг. 0,27

Анализ сейсмичности региона

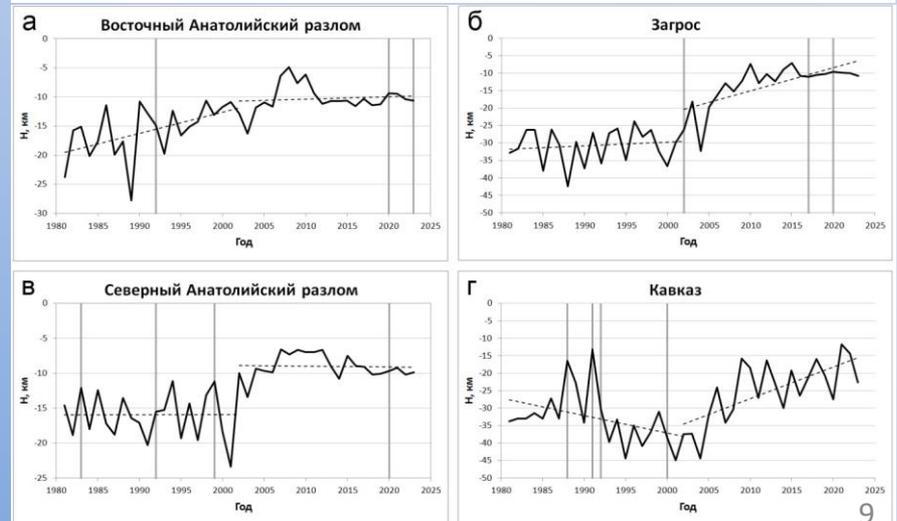


Эпицентры землетрясений, произошедших за период 1981–2023 гг., и схема расположения выделенных профилей: 1 – Восточно-Анатолийский разлом, 2 – Северный Анатолийский разлом, 3 – горная система Загрос, 4 – горная система Кавказ

Суммарное годовое количество землетрясений



Средняя глубина землетрясений за год



Международная ГНСС сеть (IGS)

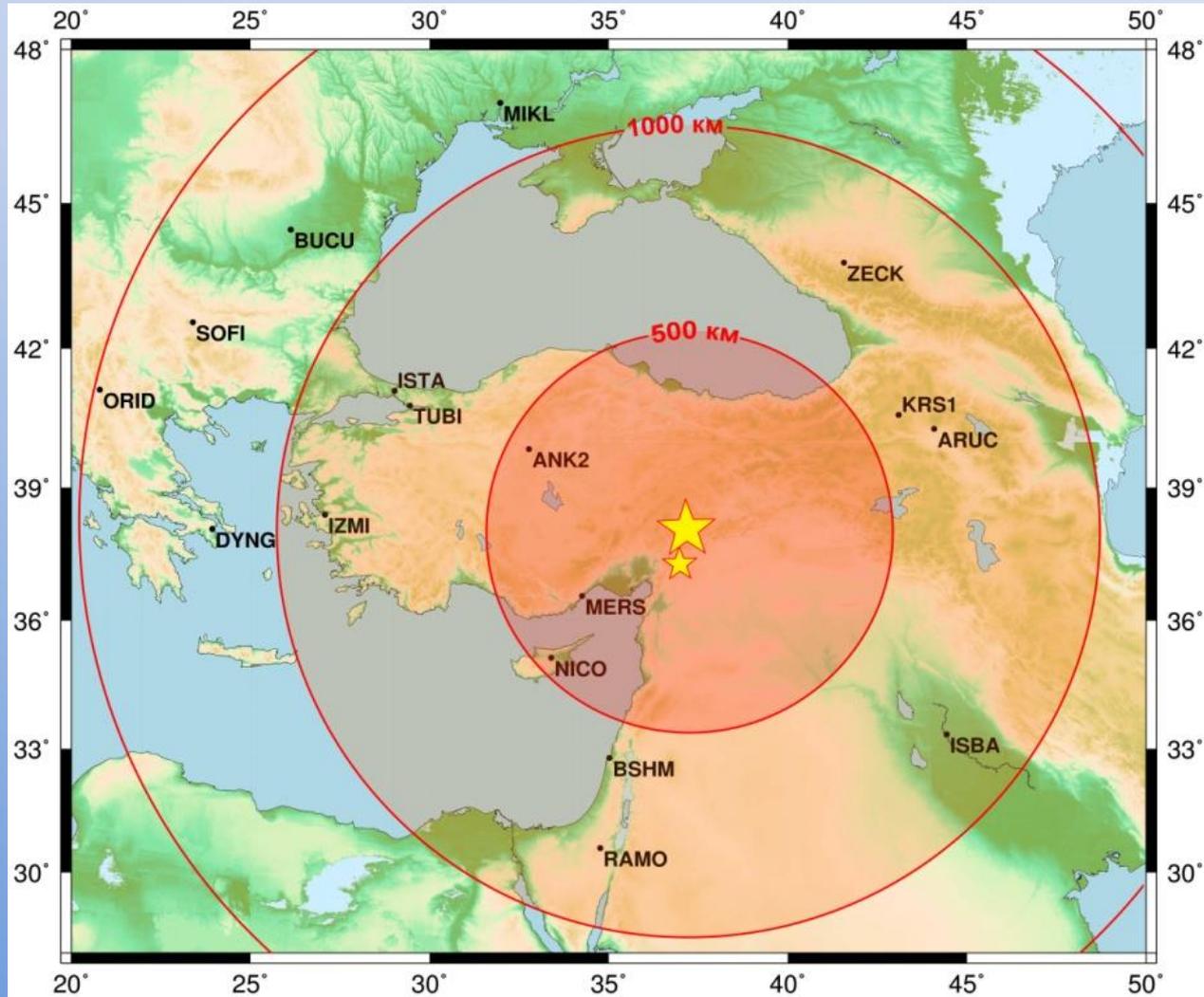
- более 500 пунктов постоянных наблюдений, достаточно равномерно распределенных по всему миру
- реализация международной системы координат (ITRF),
- предоставление сырых непрерывных данных наблюдений, орбитальных и ионосферных продуктов
- исследование деформаций земной коры, влияния приливов,
- определение и поддержание орбит спутников,
- передача стандарта времени и частоты.

Данные ГНСС используются при определении скоростей смещений земной поверхности, что, в свою очередь, позволяет выявлять и исследовать пространственные изменения и по ним изучать геодинамические процессы.



Станции IGS слева направо: ZECK , ARUC и IZMI

Подготовка и обработка данных



Расположение пунктов IGS, использованных в анализе. Красным кругами показаны области на удалении 500, 1000 и 1500 км от эпицентров землетрясений (желтые звездочки)

Изменение координат пунктов во время землетрясения

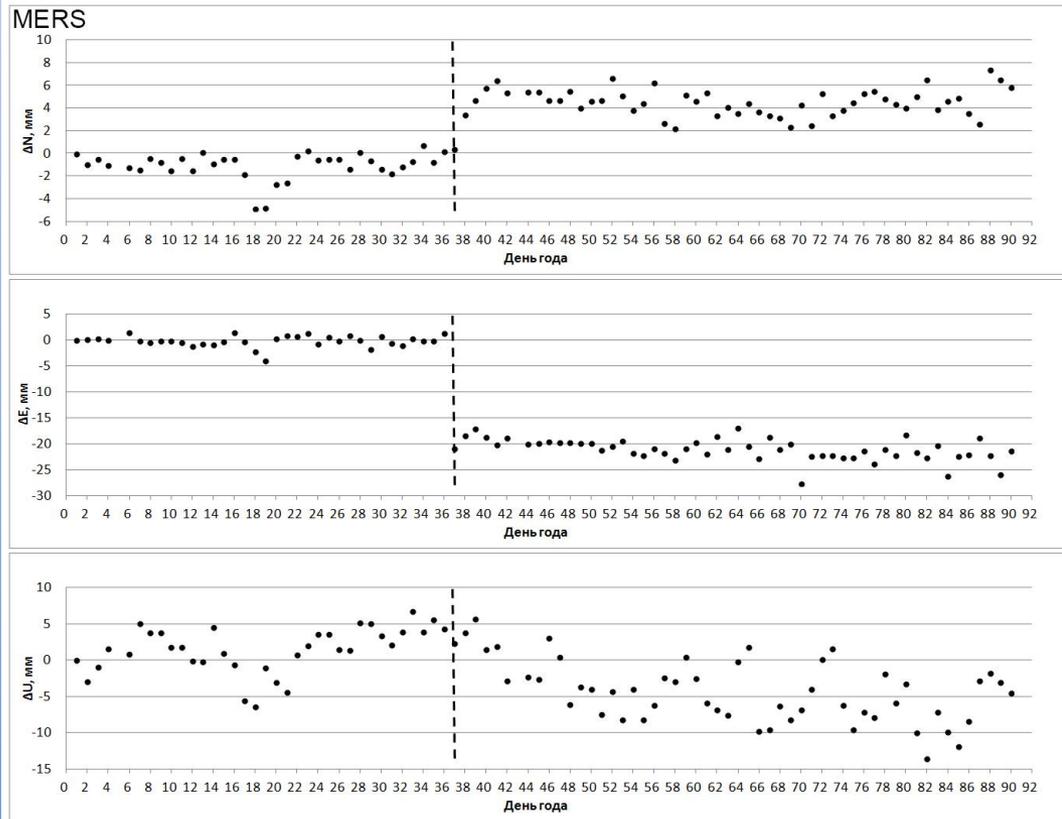
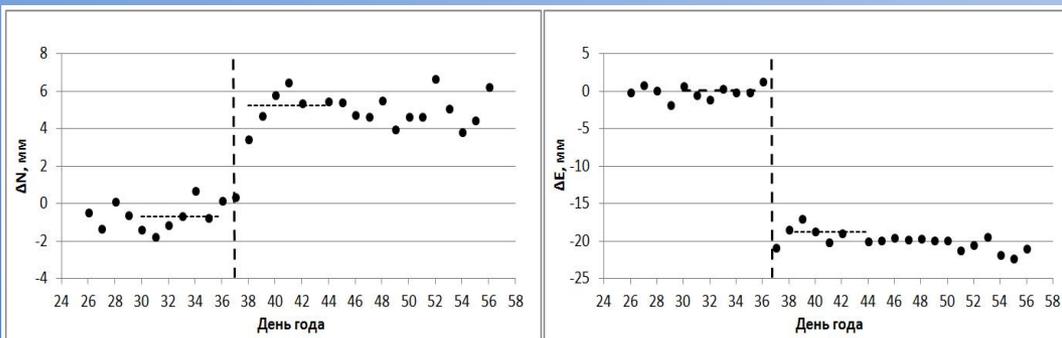
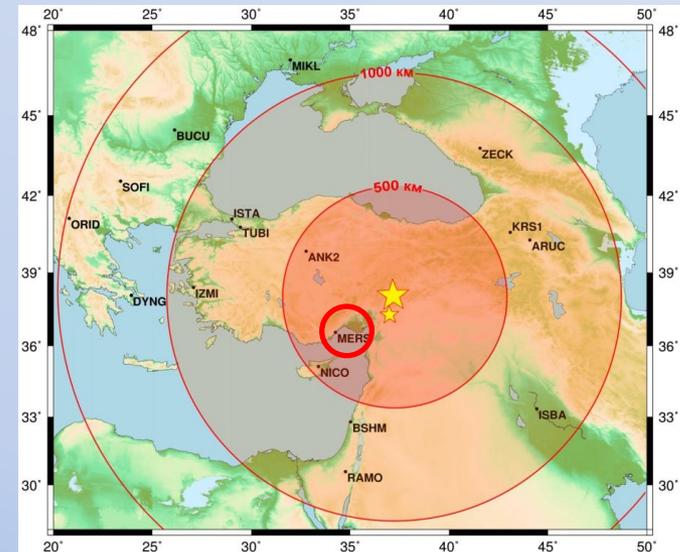


График изменения среднесуточных значений геодезических координат пункта MERS

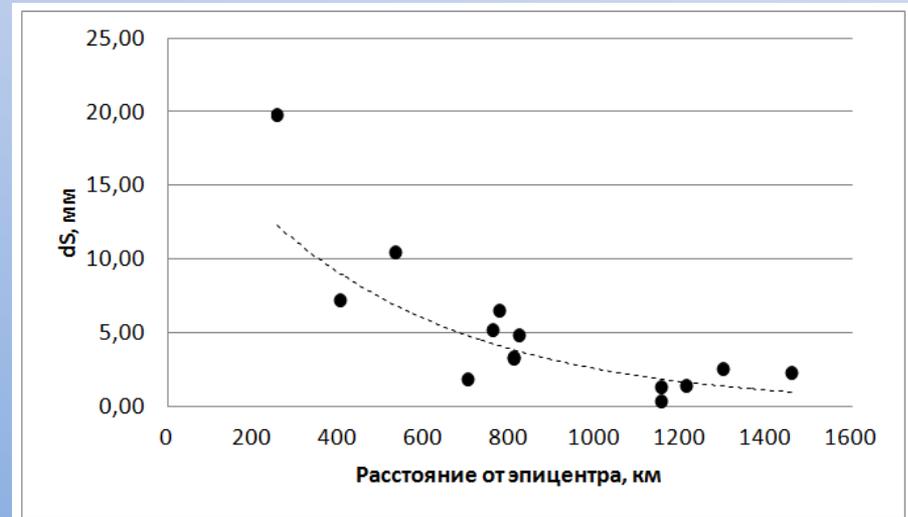
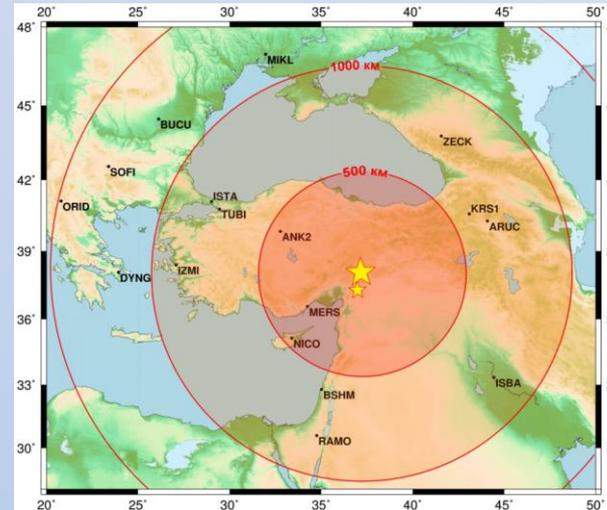


Фрагмент верхнего графика, соответствующий времени землетрясения (37 день года). Горизонтальными пунктирными линиями показаны усреднения координат за семидневный интервал до и после сейсмического события.

N увеличилась на 6 мм
E уменьшилась на 19 мм

Изменение координат при удалении от эпицентров землетрясений

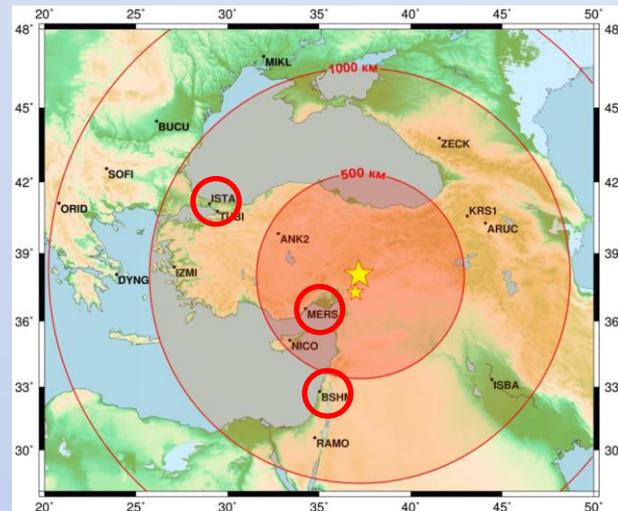
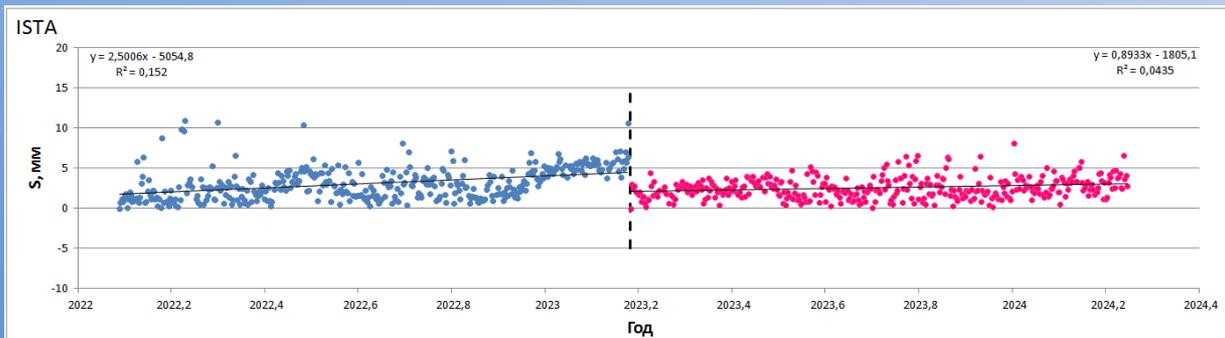
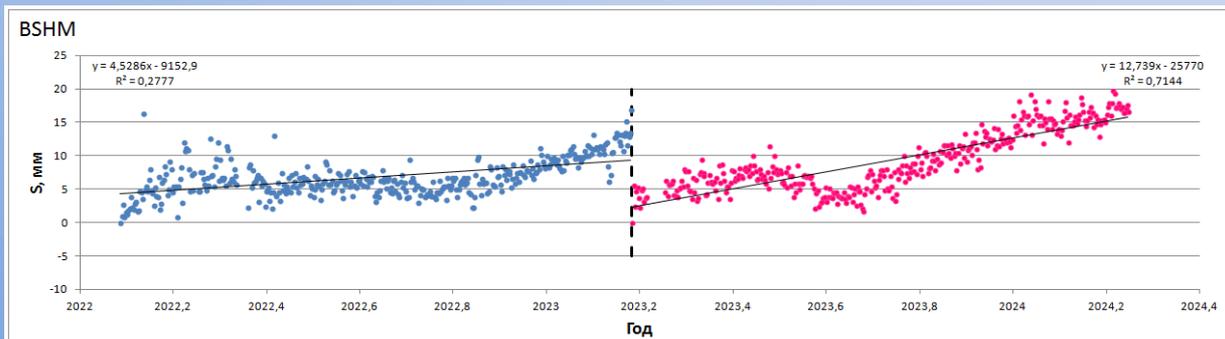
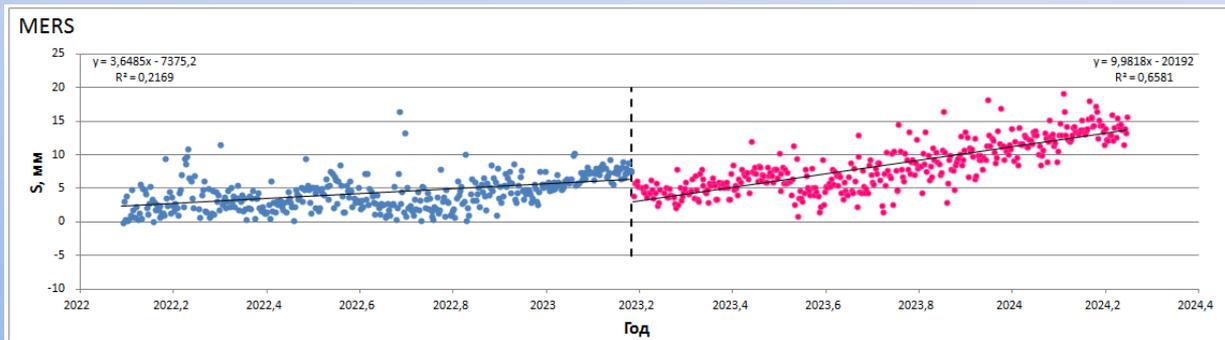
Расстояние от эпицентра, км	Пункт	dN, мм	dE, мм	dU, мм	dS, мм
255	MERS	5.89	-18.92	-3.01	19.82
401	NICO	6.11	-3.96	4.44	7.28
530	BSHM	10.42	1.52	3.87	10.53
700	ARUC	0.46	-1.80	2.97	1.86
757	TUBI	3.32	-4.06	-1.97	5.25
772	RAMO	6.35	1.57	3.73	6.54
806	ISBA	0.43	3.27	-1.28	3.30
806	ISTA	2.79	-1.89	0.63	3.37
819	ZECK	-3.18	-3.65	2.02	4.85
1150	DYNG	1.33	-0.34	2.82	1.38
1152	MIKL	0.32	-0.26	-2.61	0.41
1210	BUCU	1.43	0.30	-3.63	1.46
1296	SOFI	2.36	1.00	2.74	2.56
1456	ORID	1.75	1.55	1.03	2.34



Расстояние от эпицентров, значения изменения координат (по усредненным данным) и модуля планового вектора смещения

Зависимость изменения модуля вектора планового косейсмического смещения пунктов при удалении от эпицентров землетрясений

Временные ряды, рассчитанные двумя циклами



Примеры временных рядов для некоторых пунктов, рассчитанных на два цикла по году до и после турецкого землетрясения

Изменение координат во времени для пункта ZECK

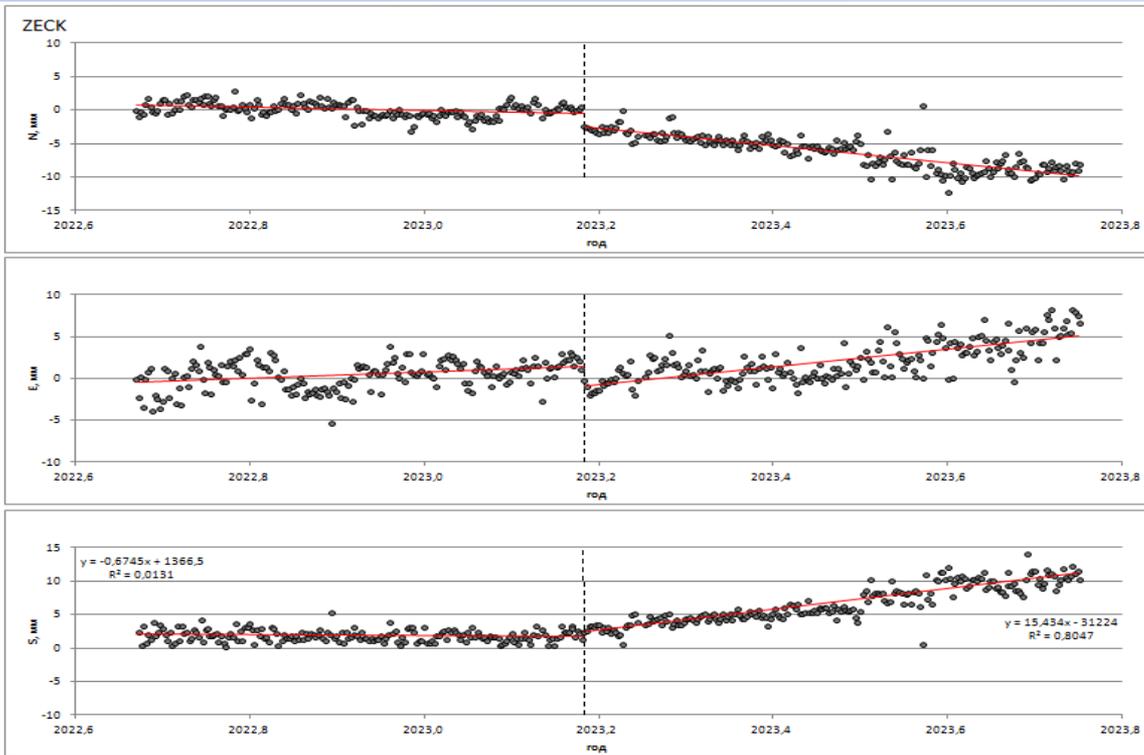
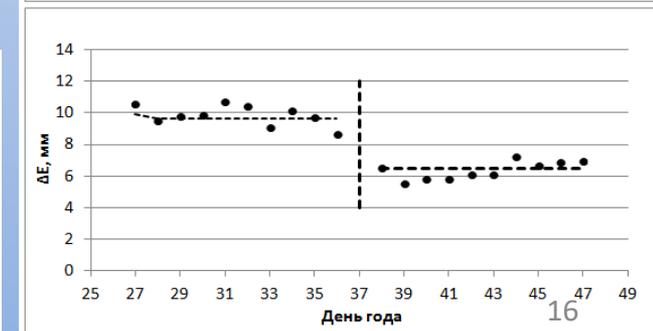
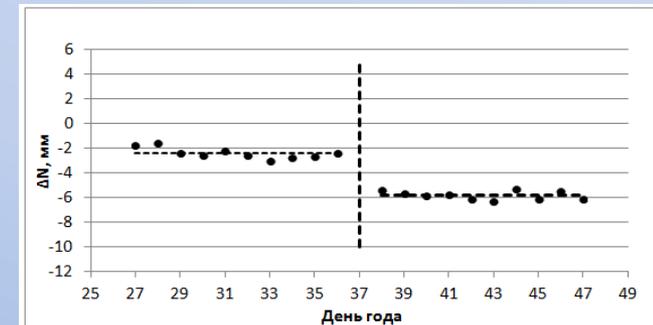
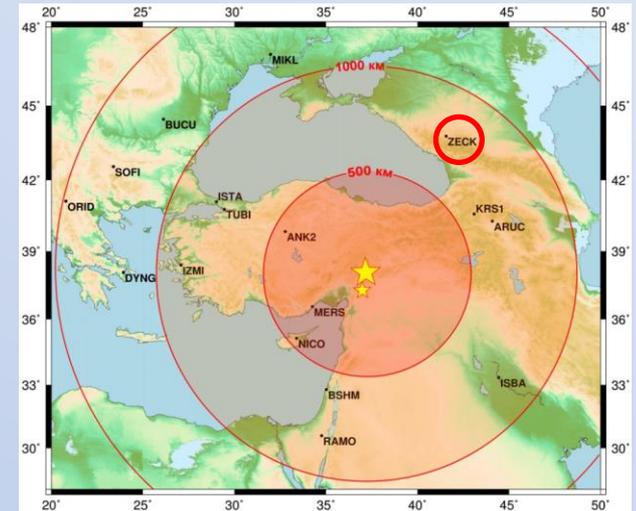


График изменения среднесуточных значений геодезических координат пункта ZECK в течение года для полного вектора смещения и его северной и восточной составляющих

(Справа) График, соответствующий времени землетрясения (37 день года). Горизонтальными пунктирными линиями показаны усреднения координат за десятидневный интервал до и после сейсмического события.

N уменьшилась на 2.4 мм
E уменьшилась на 5.8 мм



Изменение координат во времени для пункта ZECK

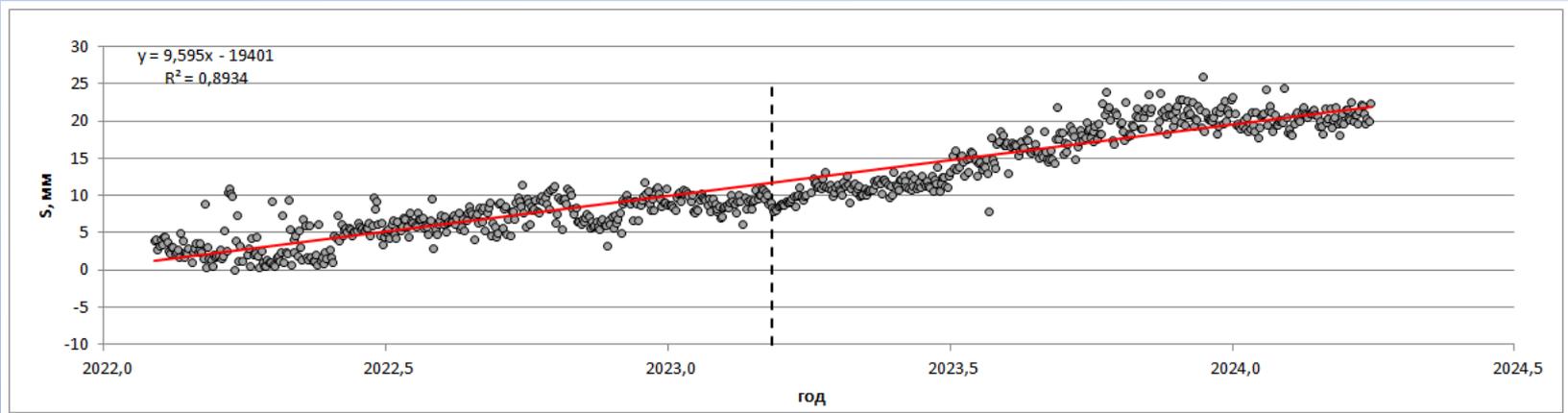


График изменения полного вектора смещения для пункта пункта ZECK за два года

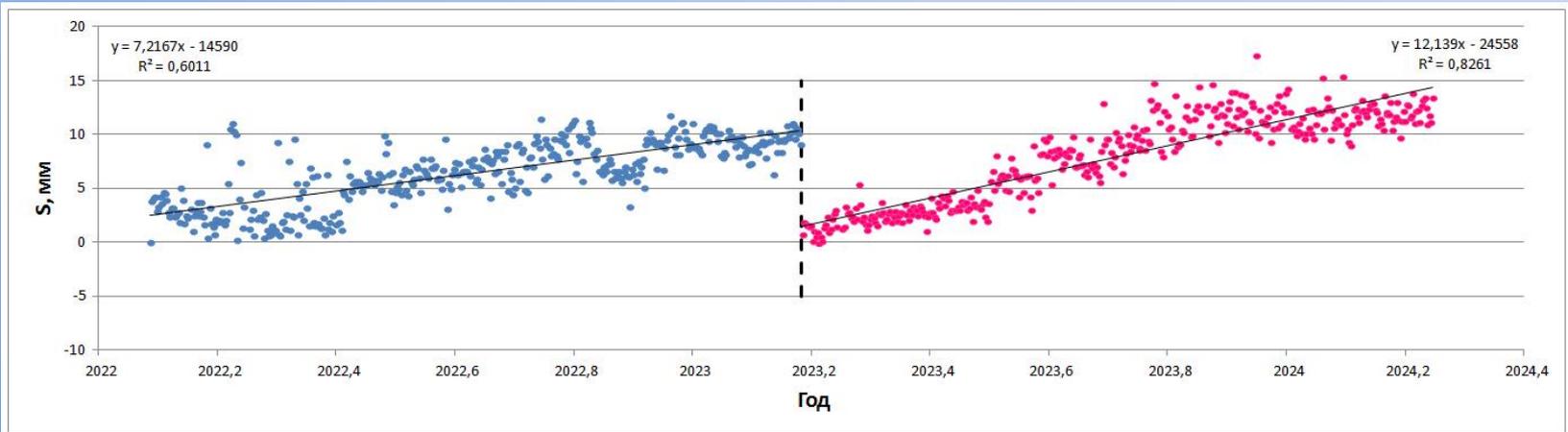


График изменения полного вектора смещения для пункта ZECK по двум циклам (год до и год после землетрясений)

Выводы

Анализ сейсмичности региона показал увеличение количества землетрясений с $M \geq 4$ за последние 10 лет, что может свидетельствовать об активизации тектонических процессов на границах Аравийской плиты.

Выделены 4 профиля вдоль основных геологических структур региона. Для них зафиксировано изменение глубин с 2002 г. в среднем на 10 км в сторону более поверхностных процессов.

Анализ временных рядов пунктов IGS показал:

- Наличие зависимости уменьшения косейсмических смещений земной коры при удалении от эпицентра землетрясения на расстоянии от 250 до 1500 км.
- Резкие скачкообразные изменения координат пунктов на графиках временного хода во время турецких землетрясений
- Изменение характера движения пунктов на рядах, продолжительностью в два года.

Пункт ZECK, выбранный нами опорным при обработке данных с пунктов Крымско-Северокавказского геодинамического полигона ИФЗ, как и сам исследуемый регион, попадает в 1000-километровую зону вокруг эпицентров турецких землетрясений, произошедших 6.02.2023, и как показывает данное исследование, испытывает определенное воздействие с их стороны.

На территории Кавказа можно ожидать некоторых изменений в устойчивом режиме деформаций, сложившимся за последние 20 лет. Для последующих работ необходимо учитывать резкие изменения координат пунктов в результате землетрясения, в первую очередь попадающих в 1000-километровую зону. А также продолжать наблюдения за характером движения опорных пунктов.

Использованная литература

Открытые базы данных: <https://cddis.nasa.gov>, <https://igs.bkg.bund.de>

Reilinger R.E., Hamburger M.W., Prilepin M.T., Guseva T.V. Epoch Geodynamic GPS Measurement Across the Caucasus Collision zone (abstract). AGU. Fall Meeting. Program. Dec. 9-13. 1991. San-Francisco. California. 1991. Pp. 112.

Галаганов О.Н., Гусева Т.В., Крупенникова И.С., Мельник Г.Э., Мокрова А.Н., Передерин В.П., Передерин Ф.В., Розенберг Н.К. Сопоставление деформационного поля и сейсмического потока территорий Крыма и Северного Кавказа в зоне коллизии Евразийской и Аравийской литосферных плит // Мониторинг. Наука и технологии. Общество с ограниченной ответственностью Центр сопряженного мониторинга окружающей среды и природных ресурсов (Махачкала), 2023. № 1, с. 6-15.

Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии / Под ред. Грачева А.Ф. М.: ПРОБЕЛ, 2000. 487 с.

Шевченко В.И., Гусева Т.В., Лукк А., А Мишин А.В., Прилепин М.Т., Рейлинджер Р.Э., Хамбургер М.У., Шемпелев А.Г., Юнга С.Л. Современная геодинамика Кавказа (по результатам GPS измерений и сейсмологическим данным) // Физика Земли. 1999. № 9. С. 3–18.

Спасибо за внимание!