

**Шестнадцатая Всероссийская Открытая конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»**

12 - 16 ноября 2016 г. Москва, Россия

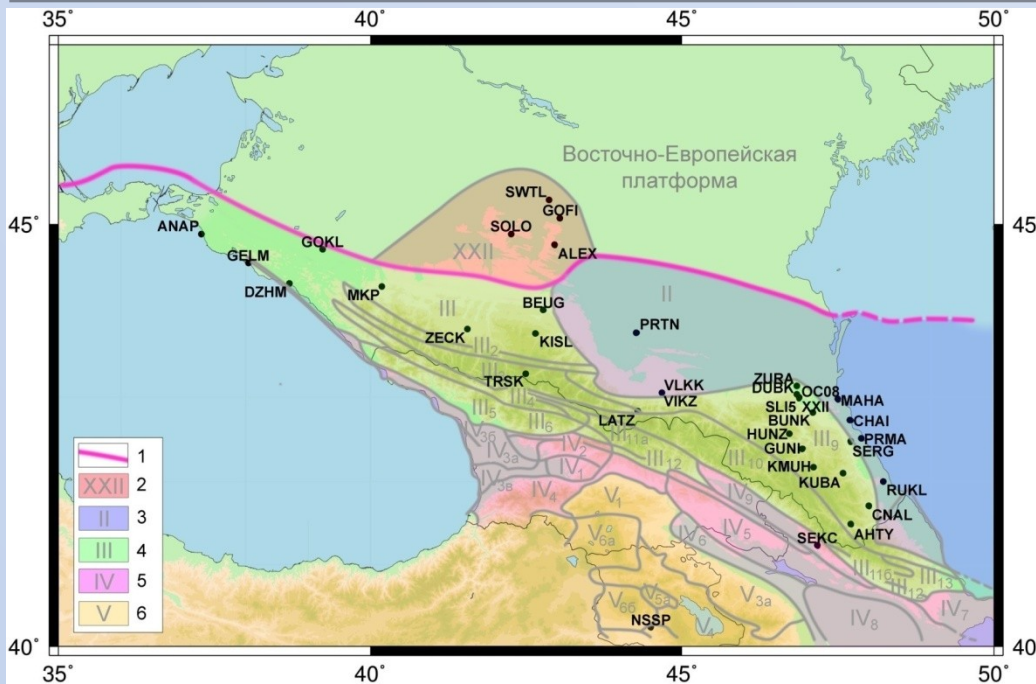
**РАЗВИТИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
В КАВКАЗСКОМ РЕГИОНЕ
ПО ДАННЫМ ГНСС ИЗМЕРЕНИЙ**

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

**Лаборатория спутниковых методов изучения геофизических процессов
ИФЗ РАН, Москва**

Кавказский регион является частью подвижного Альпийско-Гималайского пояса. Это сложный геологический объект, развитие которого в настоящее время рассматривается как результат взаимодействия двух крупных литосферных плит – Евразийской и Аравийской. Ему свойственны образование складчато-надвиговой структуры с активными движениями земной коры, сложные системы разломов, вулканизм, сейсмичность.

Расположение пунктов GPS-ГЛОНАСС измерений относительно структурных зон Кавказа и ВЕП



Актуальность представленных исследований связана с необходимостью систематизировать и обобщить накопленные данные геодезических спутниковых наблюдений GPS/ГЛОНАСС на пунктах геодинимической сети региона.

1 – Граница ВЕП

2 – Ставропольский выступ ВЕП (по В.В. Бронгулееву)

Основные структурные зоны Кавказа [Рогожин и др., 2011]:

3 – Терско-Каспийский прогиб; 4 – мегантиклинорий Большого Кавказа; 5 – Закавказский межгорный пояс; 6 – мегантиклинорий Малого Кавказа.

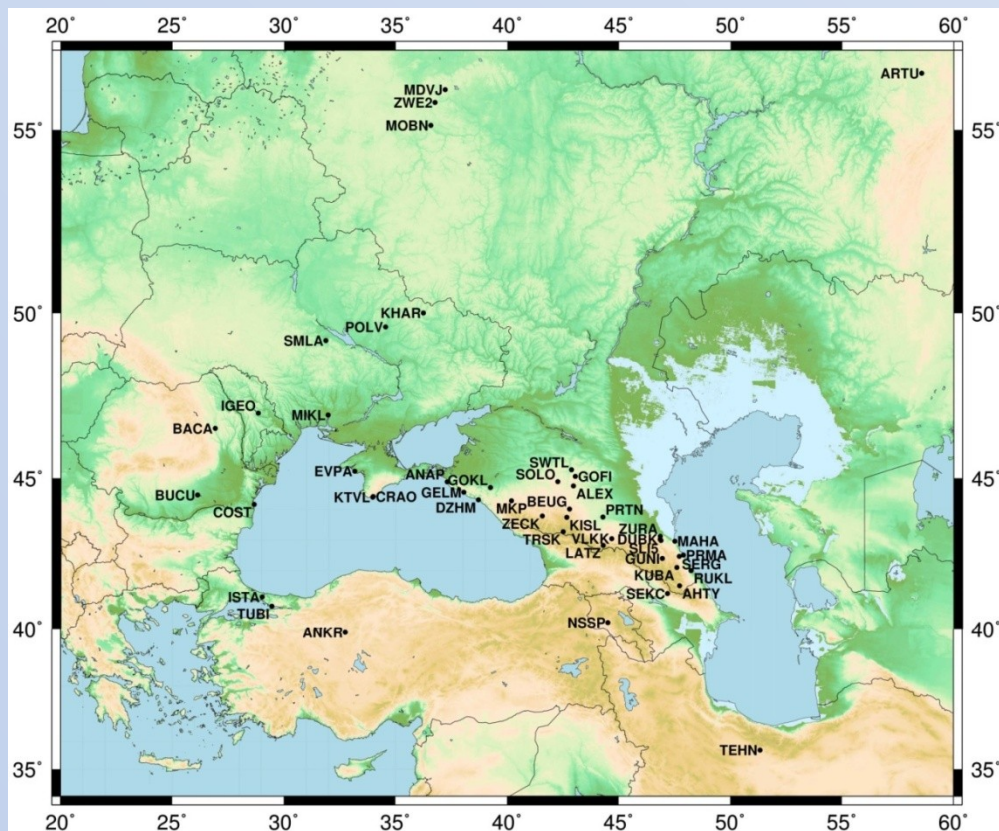
Первые GPS наблюдения на территории Северного Кавказа были проведены сотрудниками ИФЗ РАН при участии американских специалистов после Рачинского землетрясения (Грузия) 29 апреля 1991 г. $M_s=7-7.2$ – сильнейшего из инструментально зарегистрированного сейсмического события на Западном Кавказе. В последующие годы российская Северо-Кавказская сеть GPS была расширена и модифицирована, стала частью Среднеземноморской геодинамической сети по международному изучению деформаций Альпийско-Гималайского подвижного пояса и процесса проявления взаимодействия тектонических плит.

Для доклада использованы данные измерений GPS на расширенной Северо-Кавказской геодинамической сети пунктов от Крыма до Дагестана, выполненные сотрудниками ИФЗ РАН или при их участии, а также данные по сейсмической активности региона за период 2004-2014 гг.



Задачи исследования:

- 1) определение современных движений и деформаций земной коры Кавказского региона по данным спутниковых измерений в разных системах отсчета;
- 2) сопоставление скоростей современного деформационного поля с количеством выделившейся сейсмической энергии в едином временном интервале (2004-2014 гг).



Местоположение пунктов, использованных в работе

В исследовании использованы результаты регистрации синхронных спутниковых сигналов GPS/ГЛОНАСС на 50 пунктах, из которых 20 пунктов являются постоянно действующими станциями Международной геодинимической сети (IGS), данные которых в качестве базовых-референчных, взяты из открытых банков данных (cddis.nasa.gov, sopac.ucsd.edu). На остальных пунктах повторные измерения GPS/ГЛОНАСС выполнялись сотрудниками Лаборатории спутниковых методов изучения геофизических процессов ИФЗ РАН.



Установка прибора на пункте ANAP (Анапа, морская гидрометеорологическая станция)



Внешний вид установленных антенн

Прецизионные синхронные измерения GPS+ГЛОНАСС проводились ежегодно или каждые 2 года в сентябре, сериями по 4-20 суток с помощью двух системных двухчастотных приемников Javad Махор, с интервалом регистрации 30 с.

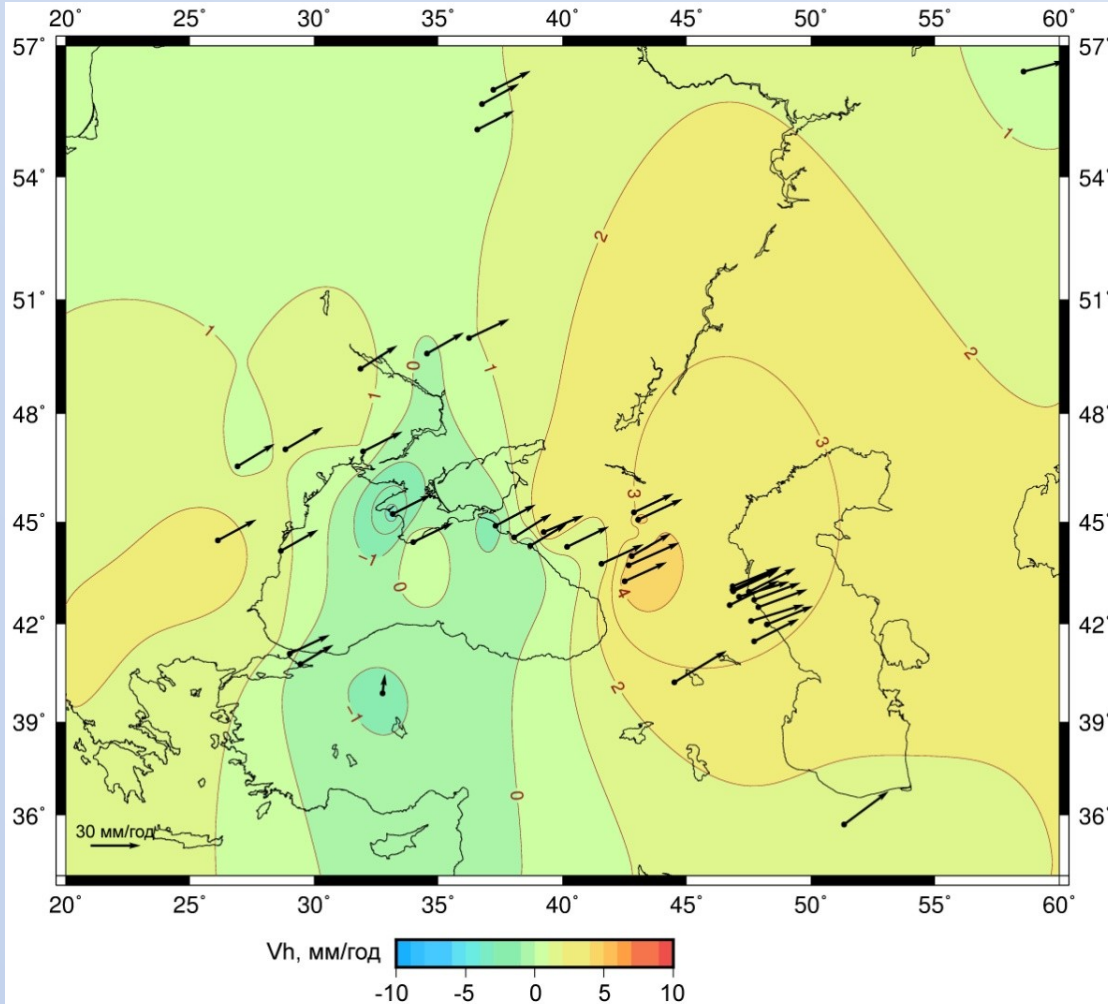


Специальная астрофизическая обсерватория РАН (пункт ZECK)



В результате выполнения повторных измерений и обработки с помощью программного комплекса Bernese 5.0, были определены среднесуточные и средние на эпоху геоцентрические и геодезические координаты пунктов в координатной системе ITRF 2008 для пунктов отдельных геодинамических сетей, причем в качестве опорных (перемещаемых во времени с постоянной скоростью) были приняты пункты IGS.

Скорости современных движений земной коры Кавказа и смежных территорий за 2004-2014 гг.

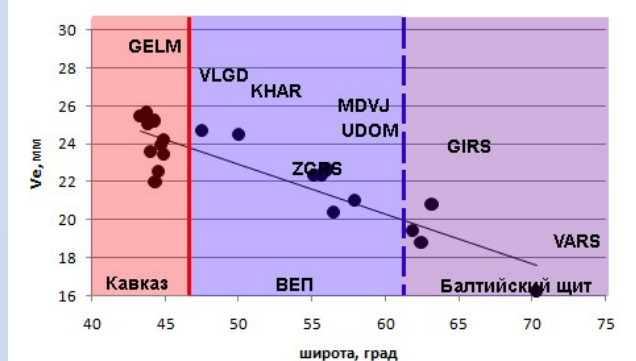
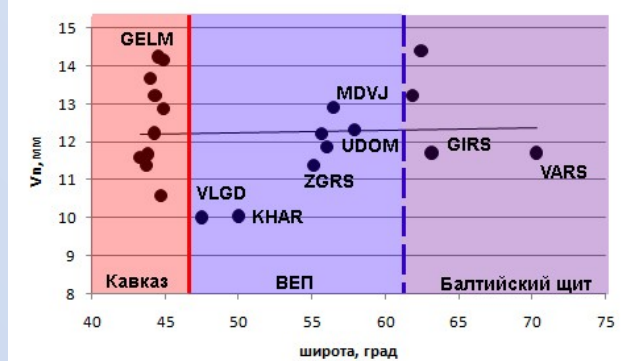
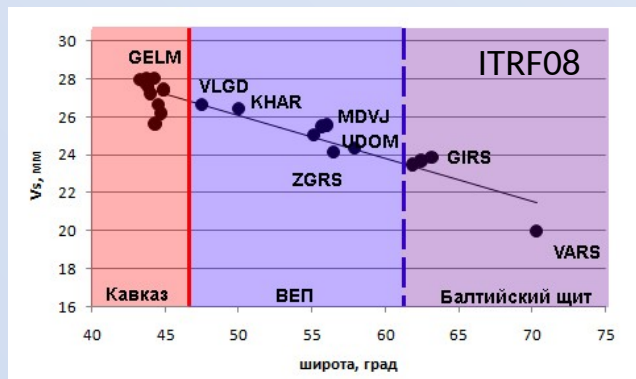
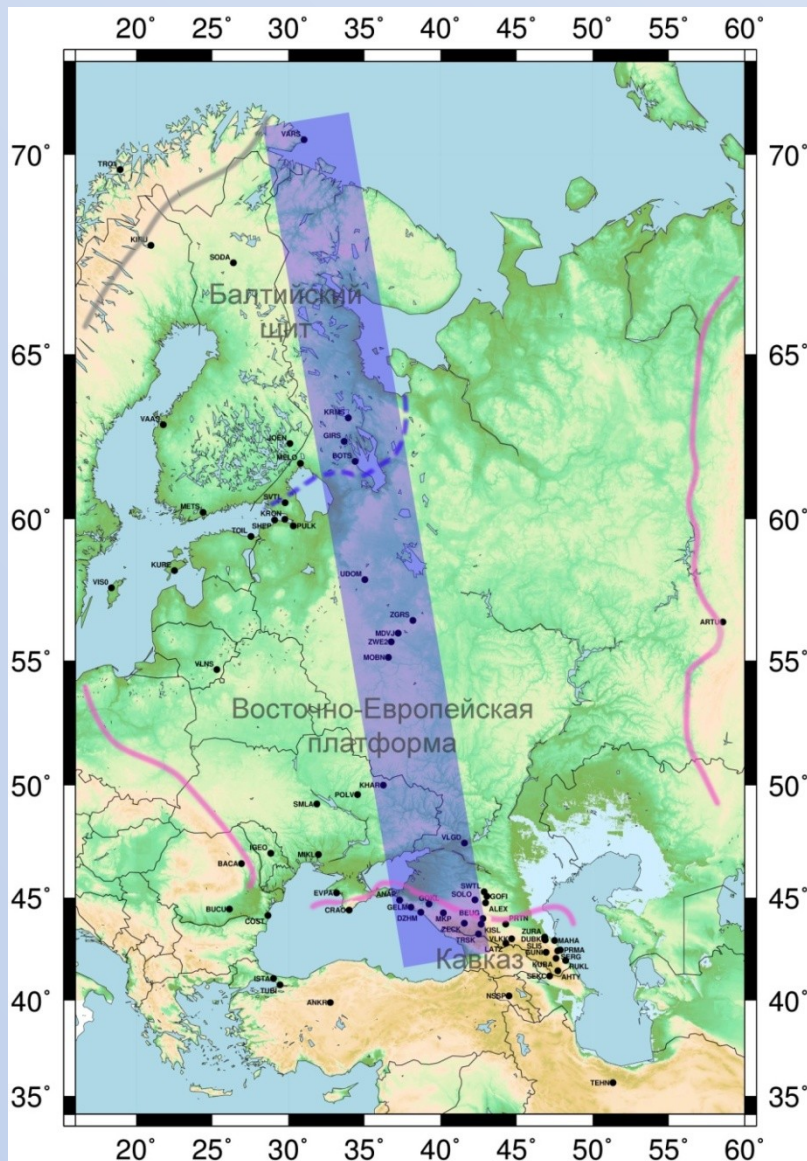


Карта скоростей вертикальных (изолинии) и горизонтальных (стрелки) движений Кавказа за период 2004-2014 гг. в ITRF 2008. Изолинии скоростей вертикальных движений проведены через 1 мм/год

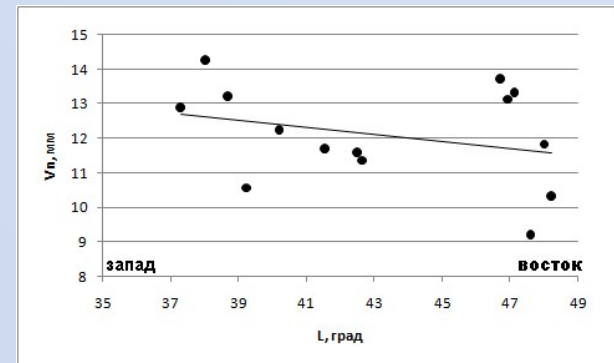
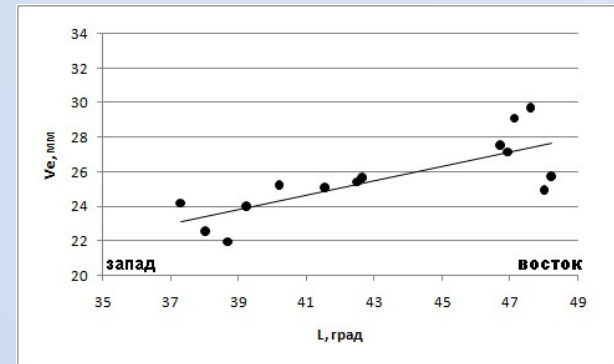
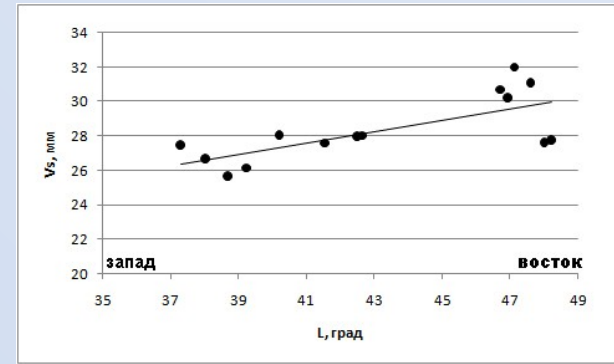
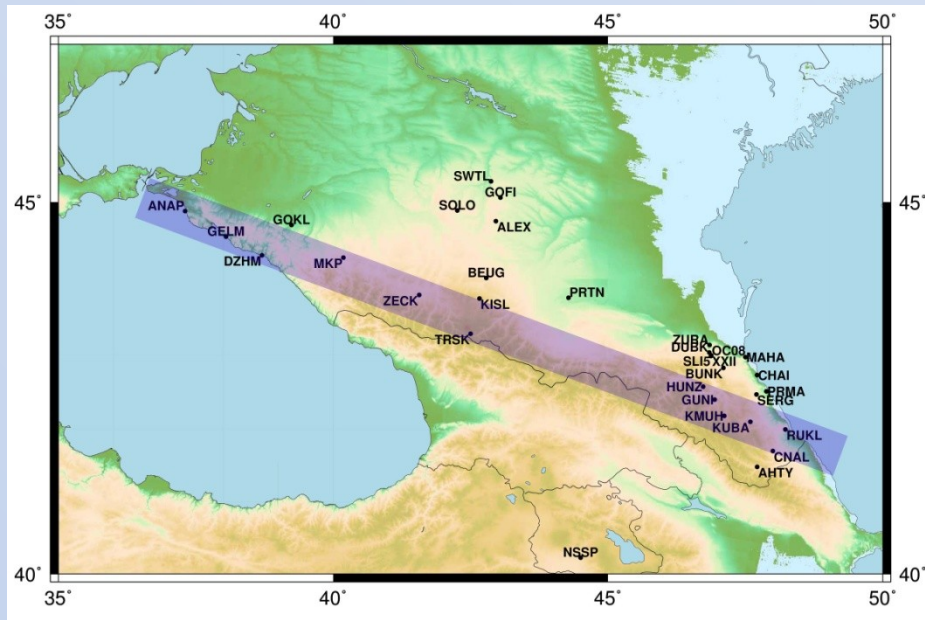
Сводка минимальных, максимальных и средних значений общего модуля скорости и ее компонент (широтной и долготной), азимута смещений, вертикальной скорости и их ошибок

	V_n , мм/год	σ_n , мм	V_e , мм/год	σ_e , мм	V_s , мм/год	Аз, град	V_h , мм/год	σ_h , мм
пункты ИФЗ								
Мин, мм	9	0	21.9	0.1	25.6	58	-30	0.1
Макс, мм	14.8	2.0	32.0	3.2	34.5	73	15.9	16.7
Ср, мм	12.4	0.8	26.9	0.8	29.7	65	0.9	2.6
пункты ITRF								
Мин, мм	6.3	0.1	1.4	0.1	11.5	7	-3.9	0.1
Макс, мм	20.0	0.7	31.6	0.4	36.9	77	3.3	1.9
Ср, мм	12.7	0.2	22.9	0.2	26.5	60	0.6	0.6

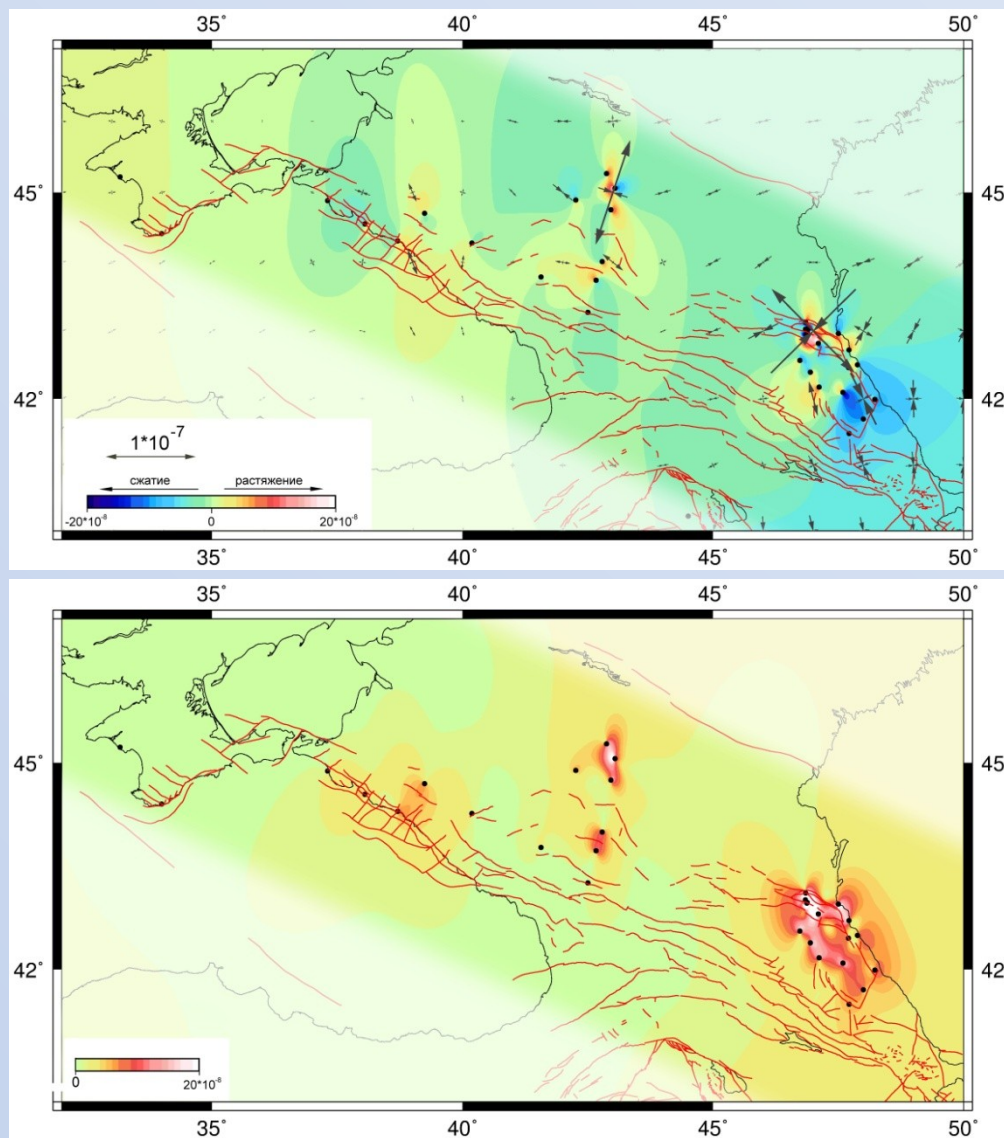
Характер распределения горизонтальных перемещений модуля общего вектора скорости и его составляющих вдоль квазимеридионального пояса от западного Кавказа (юг) до Балтийского щита (север)



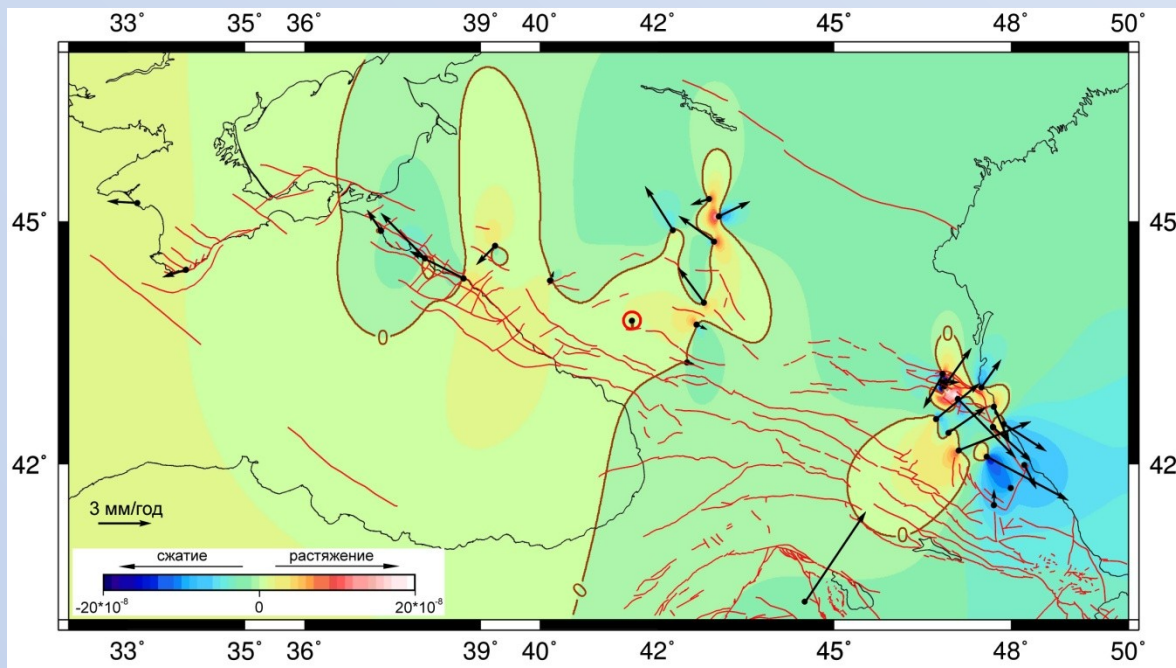
Характер распределения горизонтальных перемещений модуля общего вектора скорости и его составляющих вдоль Главного Кавказского хребта



Распределение площадных деформаций, рассчитанных с использованием первого и второго инвариантов тензора деформаций

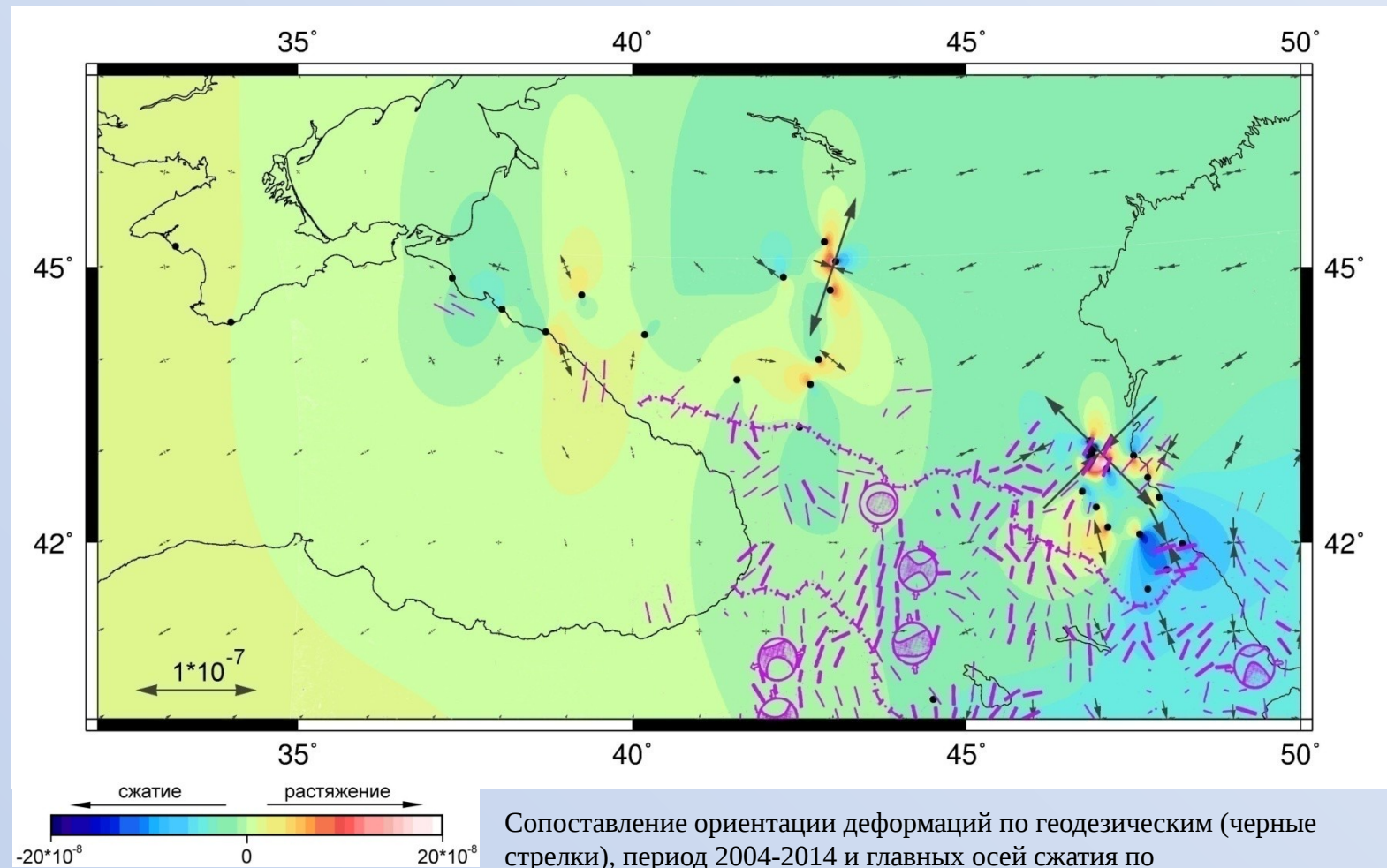


Скорости горизонтальных движений (в локальной системе отчета) относительно закрепленного пункта ZECK



Пункт	V _n , мм/год	V _e , мм/год	V _s	Аз, град
западнее ZECK				
ALEX	1.5	-2.0	2.5	306
ANAP	1.2	-0.8	1.4	326
CRAO	-0.4	-1.3	1.4	252
DZHМ	1.5	-3.1	3.4	297
EVPA	0.1	-1.7	1.7	273
GELM	2.6	-2.5	3.6	316
GOKL	-1.1	-1.1	1.5	225
MKP_	0.5	0.2	0.6	17
SOLO	2.5	-1.6	2.9	328
SWTL	-0.3	-1.1	1.1	252
среднее	0.8	-1.5	2.0	259
восточнее ZECK				
АНТУ	0.9	0.0	0.9	360
BEUG	2.0	-1.5	2.5	324
BUNK	-3.4	3.3	4.7	136
CHAI	-2.1	0.9	2.2	157
CNAL	0.2	-0.1	0.2	322
DUBK	0.0	1.0	1.0	90
GOFI	0.8	1.8	2.0	64
GUNI	1.5	2.1	2.6	56
HUNZ	2.0	2.5	3.2	51
KISL	-0.3	0.6	0.7	116
KMUH	1.6	4.1	4.4	68
KUBA	-2.5	4.6	5.3	118
МАНА	1.6	1.1	1.9	35
NSSP	5.1	3.5	6.2	34
OC08	-0.1	-0.2	0.3	239
PRMA	-1.5	2.4	2.9	123
RUKL	-1.4	0.7	1.5	153
SERG	-2.0	2.1	2.9	132
SLI5	2.1	1.5	2.6	35
TRSK	-0.1	0.4	0.4	103
XXII	0.1	-0.5	0.5	280
ZURA	-1.9	-1.1	2.2	210
среднее	0.1	1.3	2.3	146

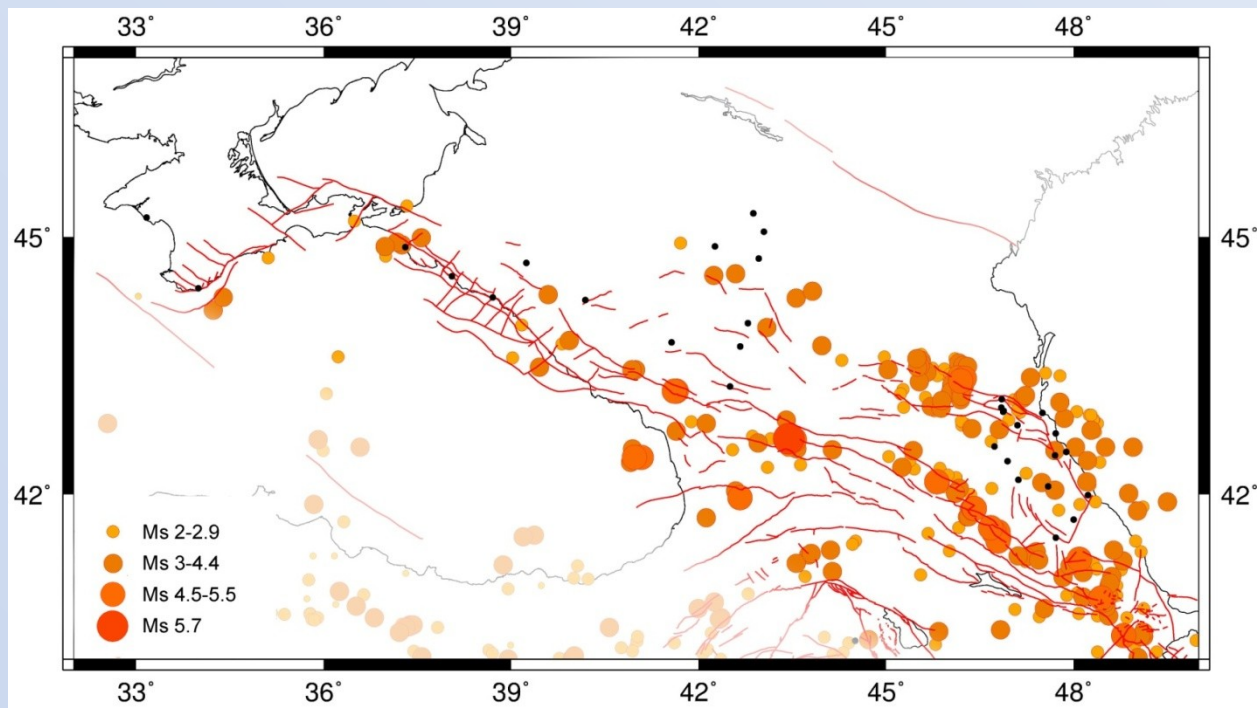
Сопоставление ориентации деформаций сжатия



Сопоставление ориентации деформаций по геодезическим (черные стрелки), период 2004-2014 и главных осей сжатия по сейсмологическим данным (1947-1994гг) [Шевченко и др, 1999]

Сейсмичность

На исследуемой территории с 2004 по 2014 гг. по данным Геологической службы США было зафиксировано 436 сейсмических событий с магнитудами (M_s) 1.0 - 5.7, из них 7 с $M_s > 5$. Землетрясение с магнитудой $M_s = 5.72$ произошло 07.09.2009 г. в Грузии (43.440E, 42.660N, глубина 15км Рача-Лечхуми и Нижняя-Сванетия).



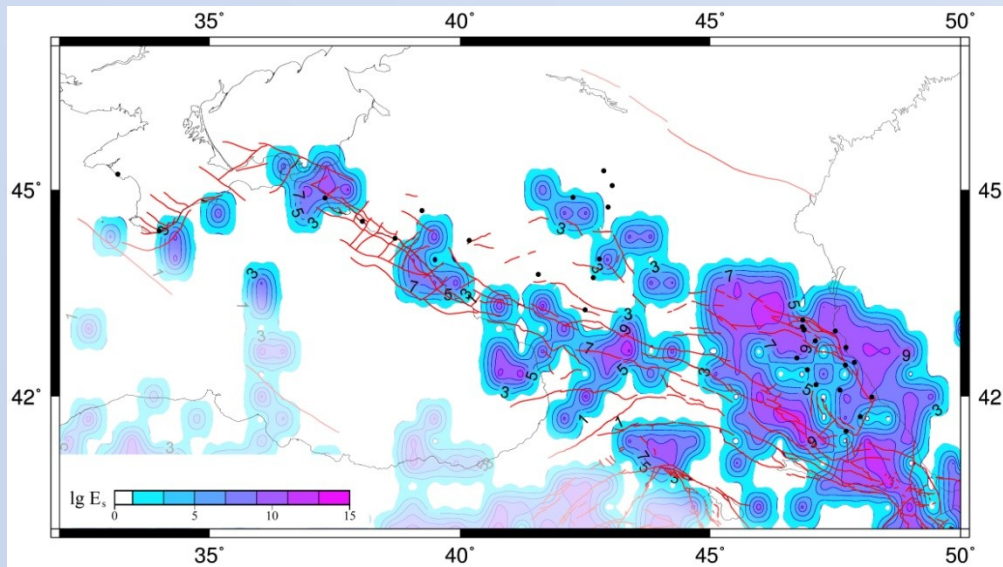
Эпицентры землетрясений за 2004-2014гг.

Для оценки выделившейся энергии землетрясений использовано соотношение Гутенберга-Рихтера: \lg

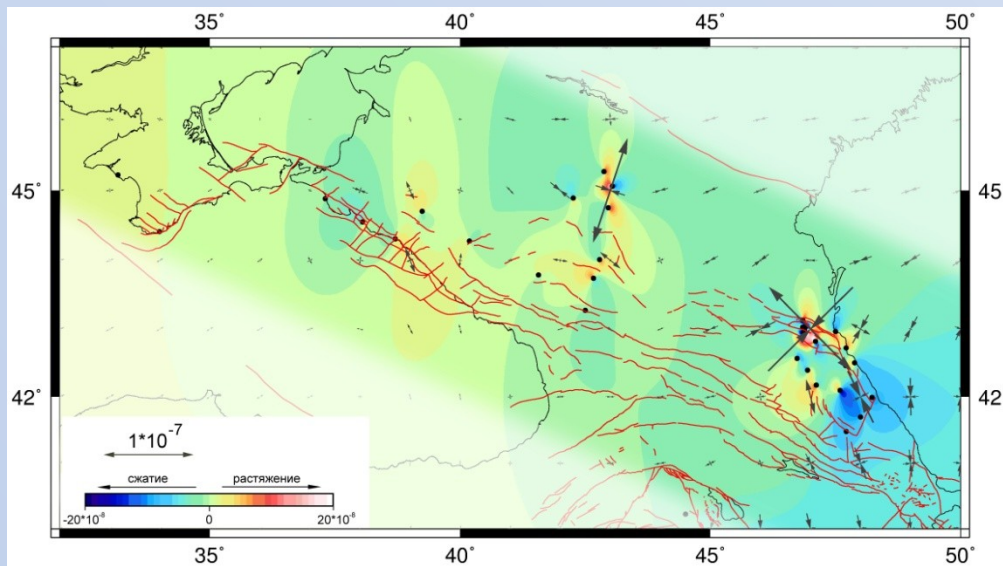
$$E = 1.5 \cdot M_s + 4.8.$$

Исследуемый регион был разбит прямоугольной сеткой на ячейки площадью 1000 км^2 , для каждой из которых проведено суммирование сейсмической энергии всех землетрясений, возникших за рассматриваемый период, и построена карта распределения сейсмической энергии (Дж/км^2) в логарифмическом масштабе.

Сопоставление распределения площадных деформаций и выделившейся сейсмической энергии



В среднем величина выделившейся сейсмической энергии составляет 10^6 - 10^9 Дж/км². Максимальное значение суммарной энергии ячейки составило более 10^{10} Дж/км². Наиболее активными являются центральная и восточная области Большого Кавказского хребта и территория Дагестана.



Выводы

Кавказ продолжает развиваться в условиях сближения Евразийской и Аравийской литосферных плит, что в рассматриваемый временной интервал отражается в региональном поперечном сжатии и продольном растяжении рассматриваемого района. Кроме того, встречаются участки аномального сжатия и растяжения, вызванные, возможно, внутренними локальными факторами.

В рассматриваемый временной интервал наибольшая геодинамическая активность характерна для восточной части региона, где обнаружены аномальные участки площадного деформирования до $-3,2 \cdot 10^{-6}$ (сжатие) и $1,6 \cdot 10^{-6}$ (растяжение) совпадающие с зоной повышенного выделения сейсмической энергии, достигающей 10^{10} Дж/км².

Развитие наблюдательной сети пунктов позволит детализировать распределение площадного деформирования, отражающее как региональные так и локальные процессы.

Использованная литература

1. Рогожин Е.А., Иогансон Л.И., Завьялов А.Д., Захаров В.С., Лутиков А.И., Славина Л.Б., Рейснер Г.И., Овсяченко А.Н., Юнга С.Л., Новиков С.С., Потенциальные сейсмические очаги и сейсмические предвестники землетрясений – основа реального сейсмического прогноза. – М.: Светоч Плюс, 2011. – 368 с.: ил.
2. 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) – М.: Физика Земли, 1999, №9, с. 3-18
3. Галаганов О.Н., Гусева Т.В., Крупенникова И.С., Мокрова А.Н., Передерин В.П., Деформации земной коры Восточно-Европейской платформы по данным спутникового мониторинга – Махачкала: Мониторинг. Наука и технологии 2017, №3 (32), с. 6-14



Спасибо за внимание!