

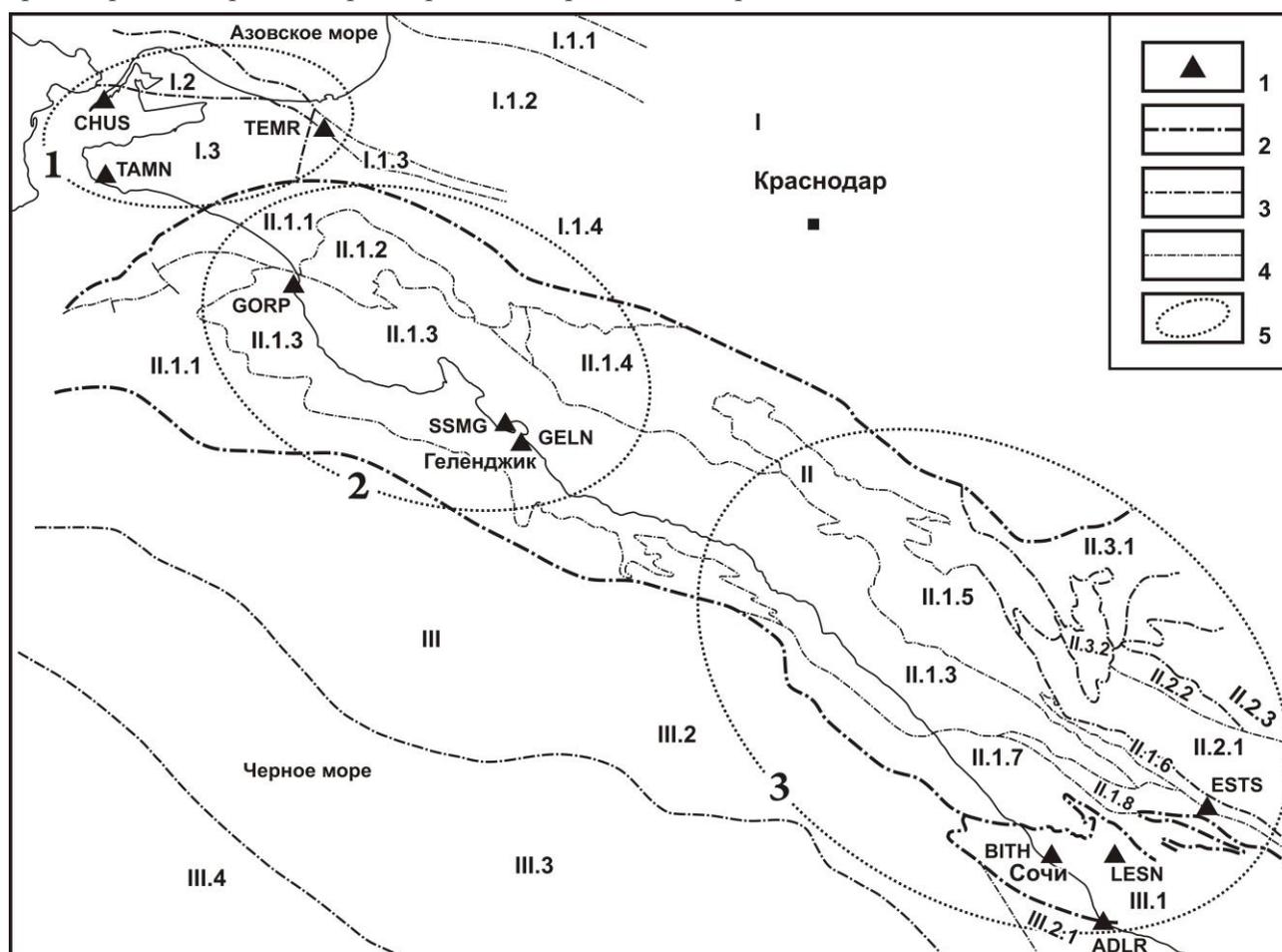
# ОПЫТ ИЗМЕРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЙОНЕ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РФ

В.М. Юбко<sup>1</sup>, Е.А. Глазырин<sup>1</sup>, В.Л. Шестопапов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГНЦ ФГУП «Южморгеология», Геленджик

<sup>2</sup>ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону

Исследование современных движений земной коры и геодинамической активности Азово-Черноморского побережья Краснодарского края в последние годы приобретает особое значение. Данный район отличается высокой сейсмичностью и геодинамической активностью. На территории расположен ряд экологически опасных предприятий и особо важных объектов - от Олимпийских сооружений на юго-востоке до терминалов портов Туапсе, Новороссийск, Тамань и строящегося транспортного перехода через Керченский пролив на северо-западе.



**Рис. 1.** Сеть СГП GPS/ГЛОНАСС в районе Азово-Черноморского побережья РФ

1 – пункты GPS/ГЛОНАСС; 2-4 – границы тектонических структур: 2 – первого порядка; 3 – второго порядка; 4 – третьего порядка; 5 – зоны сейсмической активности (1 – Керченско-Таманская; 2 – Анапско-Новороссийская; 3 – Туапсинско-Сочинская).

Тектонические структуры: I – Предкавказские альпийские (краевые и периклиналильные) прогибы и поднятия: I.1 Западно-Кубанский краевой прогиб; I.1.1 – Петровский выступ; I.1.2 – Осевая часть; I.1.3 – Анастасиевско-Краснодарская антиклинальная зона; I.1.4 – Южный борт; I.2 – Северо-Таманская зона поднятий; I.3 – Керченско-Таманский периклиналильный прогиб; II – Складчато-глыбовое сооружение Большого Кавказа: II.1 – покровно-складчатые зоны Северо-Западного Кавказа; II.1.1 – мзотис-четвертичный неоавтохтонный комплекс; II.1.2 – Витязевская зона; II.1.3 – Новороссийско-Лазаревская зона; II.1.4 – Абино-Гунайская зона; II.1.5 – Гойтхская зона; II.1.6 – Псехако-Березовская зона; II.1.7 – Чвежипсинская зона; II.1.8 – Краснополянская зона; II.2- Складчато-глыбовое поднятие Центрального Кавказа: II.2.1 – Поднятие Главного хребта; II.2.2 – Лабино-Малкинская зона прерывистой складчатости; II.2.3 – Поднятие Передового хребта; II.3 – Северо-Кавказская моноклинал: II.3.1 – Адыгейская моноклинал; II.3.2 – Лагонакская зона; III – Закавказская плита: III.1 – Гагрско-Джавская зона прерывистой складчатости; III.2 – Туапсинский прогиб: III.2.1 – Адлерская депрессия; III.3 – Вал Шатского; III.4 – Восточно-Черноморская впадина.

В мировой практике для мониторинга эндогеодинамической активности и создания комплексных систем раннего обнаружения сейсмической опасности подобных территорий с

высокими экологическими рисками всё шире начинают использоваться современные технологии спутниковой геодезии. Для Черноморского региона на основе ежегодных GPS-измерений были получены основные кинематические характеристики движений блоков земной коры [Tari, 2000], [McClusky, 2000]. На Азово-Черноморском побережье Краснодарского края в рамках государственной программы мониторинга состояния недр геодезические исследования начали проводиться с 2005 г. [Шестопалов, 2007], и в настоящее время система прямого измерения деформаций земной коры действует на основе сети из 10 постоянных спутниковых геодезических пунктов (СПП), установленных в сейсмоактивных районах Азово-Черноморского побережья Краснодарского края (рис. 1) [Глазырин, 2013]. Сеть создана ГНЦ ФГУП «Южморгеология» при участии Южного научного центра Академии наук (ЮНЦ РАН) и Кубанского государственного университета (КубГУ).

Сеть СПП включает в себя юго-восточный и северо-западный сегменты, охватывающие территорию Керченско-Таманской, Анапско-Новороссийской и Туапсинско-Сочинской сейсмоактивных зон. Керченско-Таманская зона отличается пониженной сейсмической активностью за счет реализации тектонических движений в виде пластических деформаций палеоген-неогеновых глин в верхней части геологического разреза. В тектоническом плане СПП характеризуют движение участков Западно-Кубанского краевого прогиба, Керченско-Таманского периклинального прогиба, покровно-складчатой зоны Северо-Западного Кавказа и Закавказской плиты (рис. 1). На юго-восточном сегменте СПП установлены со средним шагом 21 км, а на северо-западном – 50 км.

Измерения на геодезических пунктах выполнялись в течение 1.5 – 7 лет аппаратурой GPS/ГЛОНАСС с дальнейшей обработкой программой GAMIT/GLOBK разработанной в Массачусетском технологическом институте и Институте океанографии им. Скриппса [Herring et al., 2015]. Для каждого СПП были получены временные ряды компонент вектора местоположения с точностью 2-7 мм в горизонтальной плоскости и 6-12 мм по вертикали. Скорости движения вычислялись в международной координатной системе ITRF2008, реализация которой осуществлялась опорными станциями ARTU (Урал), MOBN (Обнинск), GLSV (Киев), RIGA (Латвия), PENC (Венгрия), WTZR (Германия) и ZECK (Зеленчукская). Выбор опорных станций определялся следующими основными критериями [Altamimi, 2012]: (1) время наблюдений на станции должно превышать 3 года, (2) станции должны быть расположены на расстоянии более 100 км от границы тектонической плиты или зоны деформаций и вдали от районов послеледниковых поднятий, (3) невязки уравнивания значения скорости не должны превышать 3мм/год. Для пунктов с наблюдениями более 3-х лет скорости движения вычислялись программой GLOBK. Временные ряды наблюдений на СПП ADLR, GORP, TEMR, TAMN и SSMG продолжительностью менее 3-х лет обрабатывались регрессионными методами в соответствии с [Gabsatarov, 2012].

Движение всех 10 пунктов сети включает общий тренд в направлении северо-восток и согласуется с движением международных пунктов в Крыму (CRAO) и Зеленчукская (ZECK) на Северо-Западном Кавказе (табл.1). В таблице 2 приводятся скорости движений международных станций ZECK и CRAO в системе ITRF2008, полученных в настоящей работе и по данным (1) [Милюков, 2015] и (2) [Altamimi, 2012]. Скорости движения пунктов относительно станции ZECK, параметры движения которой ( $V_E = +25.38$  мм/год,  $V_N = +11.66$  мм/год) выбраны в качестве регионального вектора, представлены в таблице 3.

**Таблица 1.** Скорости движений станций (BITH, ADLR, LESN, ESTS, GELN, GORP, CHUS, TEMR, TAMN) в системе ITRF2008

СПП	Компоненты вектора скорости, мм/год			Вектор скорости, мм/год	Азимут, градусы	Время наблюдения, годы
	$V_E$ (запад-восток)	$V_N$ (север-юг)	$V_h$ (вертикальное движение)			
ADLR	26.75±0.1	16.00±0.1	-0.04±0.4	31.17±0.3	+59.12	2.6
BITH	24.34±0.08	15.24±0.1	-5.6±1.5	28.72±0.1	+57.95	5.5
LESN	23.94±0.1	13.16±0.2	-0.84±0.8	27.32±0.2	+61.2	4.6
ESTS	24.43±0.2	12.98±0.2	+2.22±0.9	27.66±0.4	+62.02	5.0
GELN	23.87±0.2	10.94±0.2	-1.84±0.7	26.26±0.3	+65.38	7.0
GORP	26.24±0.2	16.74±0.2	-4.75±0.6	31.12±0.3	+57.46	2.7
TAMN	28.72±0.2	11.28±0.2	+12.11±0.6	30.86±0.2	+68.56	2.4
TEMR	27.33±0.2	11.73±0.2	-2.28±0.7	29.74±0.2	+66.77	1.5
CHUS	24.18±0.2	12.16±0.2	-2.28±0.8	27.07±0.2	+63.30	6.0

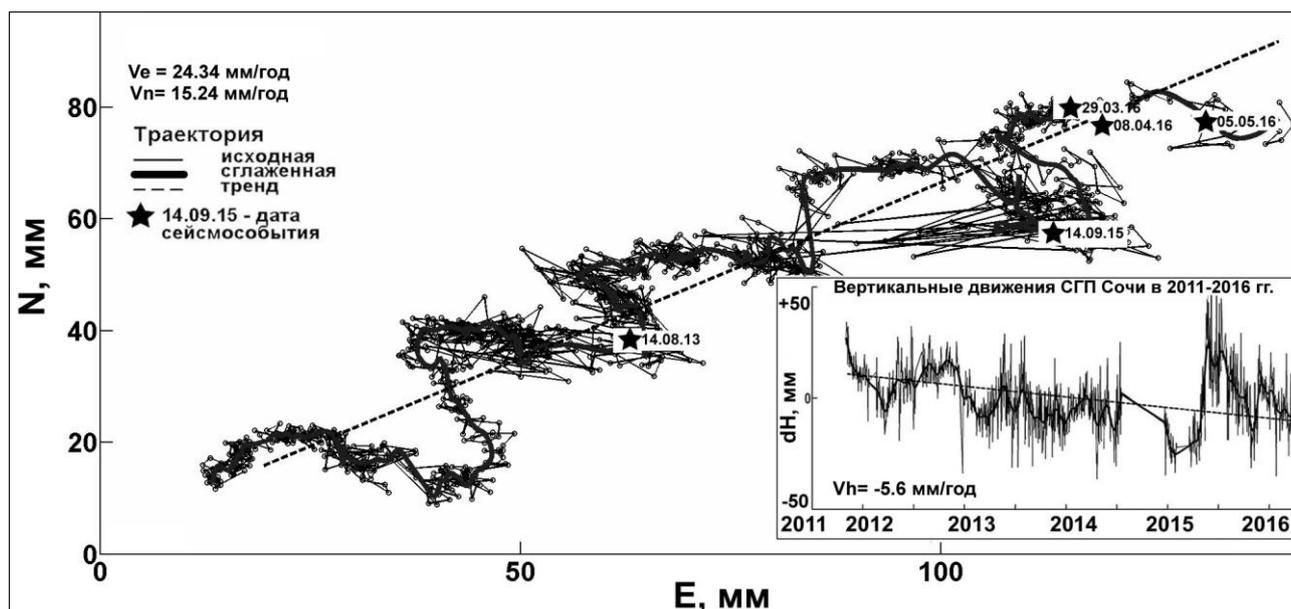
**Таблица 2.** Скорости движений международных станций ZECK и CRAO в системе ITRF2008 в настоящей работе и по данным (1) [Милюков, 2015] и (2) [Altamimi, 2012]

СГП	Компоненты вектора скорости, мм/год		
	$V_E$ (запад-восток)	$V_N$ (север-юг)	$V_h$ (вертикальное движение)
ZECK	25.38±0.03	11.66±0.03	+1.27±0.06
ZECK (1)	25.75±0.4	11.82±0.5	+2.89±1.7
ZECK (2)	25.48±0.08	11.57±0.08	-
CRAO	23.91±0.04	12.10±0.04	-0.66±0.15
CRAO (1)	23.96±0.2	11.64±0.2	+1.73±0.7
CRAO (2)	23.94±0.09	12.03±0.07	-

**Таблица 3.** Скорости движений станций (BITH, ADLR, LESN, ESTS, GELN, GORP, CHUS, TEMR, TAMN) относительно станции Зеленчукская (ZECK)

СГП	Горизонтальные компоненты вектора скорости, мм/год		Вектор скорости, мм/год	Азимут, градусы
	$V_E$ (запад-восток)	$V_N$ (север-юг)		
ADLR	1.37±0.1	4.34±0.1	4.55±0.3	+17.52
BITH	-1.04±0.08	3.58±0.1	3.73±0.1	-16.20
LESN	-1.44±0.1	1.50±0.2	2.08±0.2	-43.83
ESTS	-0.95±0.2	1.32±0.2	1.63±0.4	-35.74
GELN	-1.50±0.2	-0.72±0.2	1.67±0.3	-115.49
GORP	0.86±0.2	5.08±0.2	5.15±0.3	+9.61
TAMN	3.34±0.2	-0.38±0.2	3.36±0.2	+96.49
TEMR	1.95±0.2	0.07±0.2	1.95±0.2	+87.94
CHUS	-1.2±0.2	0.5±0.2	1.3±0.2	-67.38

Юго-восточный фрагмент сети, включающий СГП BITH, ADLR, LESN и ESTS охватывает основные сейсмогенерирующие структуры на участке Сочи – Адлер – Красная Поляна.



**Рис. 2.** Горизонтальные и вертикальные движения СГП Сочи с 2011 по 2016 гг

Параметры движения СГП Сочи (BITH) указывают на смещение этого пункта в направлении северо-запад ( $V_E = -1.04$  мм/год,  $V_N = +3.58$  мм/год) относительно станции ZECK. Тренд вертикальных движений СГП BITH за 5 лет наблюдений имеет характер устойчивого опускания ( $V_h = -5.6$  мм/год),

что согласуется с данными повторных нивелировок приморской полосы от Туапсе до Сухуми указывающими на опускание берега со скоростью 1 мм/год. Причём к юго-востоку от Сочи футшток показывал скорость опускания берега -6 мм/год [Джикия, 1966].

Средняя амплитуда колебаний относительно нисходящего вертикального тренда этого пункта составила 10-15 мм. Анализ графиков движений СГП Сочи (ВИН) показывает наличие регулярной составляющей движений как в горизонтальной плоскости, так и по высоте, что возможно объясняется сезонными явлениями (рис. 2).

СГП Адлер (ADLR) движется на север ( $V_E = +1.37$  мм/год,  $V_N = +4.34$  мм/год) почти синхронно с СГП Сочи (ВИН), но удаляется от него на восток со скоростью +2.4 мм/год. За 3 года наблюдений тренд вертикальной скорости этого СГП проявил не значительное опускание ( $V_h = -0.04$  мм/год). В целом характер нисходящих движений СГП Сочи и Адлер не противоречит представлениям о вовлечённости отдельных блоков Сочи-Адлерской депрессии в процесс дальнейшего погружения Восточно-Черноморской впадины [Земная... , 1975].

СГП Лесное (LESN) расположен в районе пересечения Монастырского разлома с Пшехско-Адлерской зоной разрывных нарушений. Движение этого пункта к северу замедляется относительно прибрежных СГП ADLR и ВИН с отклонением к северо-западу ( $V_E = -1.44$  мм/год,  $V_N = +1.5$  мм/год).

Северная компонента скорости движения СГП Эсто-Садок (ESTS) замедлена до ( $V_N = +1.32$  мм/год), а его устойчивое воздымание со скоростью  $V_h = +2.22$  мм/год согласуется с современным представлением о сильно дифференцированных и высокоградиентных вертикальных движениях Большого Кавказа, хорошо отражающих особенности его морфоструктуры (от 2÷3 мм/год в предгорьях и до 12 мм/год в осевой части [Лиленберг, 1991].

В период прохождения землетрясения в Абхазии 14.09.2015 г. ( $M=4.7$ ) в 153 км к востоку от Сочи пункты ВИН, LESN и ESTS зафиксировали общий подъём земной поверхности.

Полученные данные характера движений пунктов юго-восточного сегмента согласуются с современным представлением о тектонической структуре Южной зоны Большого Кавказа, сформированной в условиях субмеридионального сжатия с поддвигом Закавказской плиты под горные сооружения Кавказа [Леонов, 2001].

Северо-западный фрагмент сети включает СГП Тамань (TAMN), Порт-Кавказ (CHUS), Темрюк (TEMR), Геленджик (GELN) и Анапа (GORP).

СГП Порт-Кавказ расположен в районе Керченского пролива на косе Чушка. В районе расположения этого СГП проходит субмеридиональная тектоническая зона, отличающаяся на современном этапе высокой геодинамической активностью, проявлением которой является серия разрывных нарушений, пересекающих Керченский и Таманский полуостров. На основе 6-и летних наблюдений были получены средние годовые значения компонент вектора скорости, которые верифицировались аналогичными значениями международной GPS-станции CRAO в Крыму, полученными в тот же период времени (табл. 1). Полученные значения компонентов вектора горизонтальной скорости движения имели близкие значения, но отличались по высоте. Слабое опускание Крымской станции CRAO согласуется по данным [Земная..., 1975] с опусканием Черноморского побережья Крыма от Севастополя до Феодосии, где средние абсолютные значения вертикальной скорости составили от -1.1 до -0.3 мм/год.

СГП Тамань (TAMN) расположен на южном побережье Таманского полуострова в районе промышленной зоны порта Тамань. Его северная составляющая скорости совпадает с аналогичным значением регионального вектора, смещаясь к востоку со скоростью 3,3 мм/год относительно ZECK. За 2 года наблюдений на этом пункте фиксируется тренд восходящего движения со скоростью 12.1 мм/год. В августе 2014 г. на СГП Тамань фиксировался сдвиг по широте на 10 мм с дальнейшим отклонением к востоку, что согласуется с элементами экзогеодинамики этого участка – оползневыми процессами с южного склона г. Зеленского в сторону побережья Чёрного моря.

Среднее опускание СГП Анапа (GORP), полученное за период 2.7 года инструментальных наблюдений ( $V_h = -4.8$  мм/год) отражает современную тенденцию к опусканию побережья Новороссийской ступени ~2 мм/год [Лиленберг, 1991]. Разнонаправленный характер усреднённых вертикальных движений СГП Тамань и Анапа можно объяснить их расположением в пределах различных тектонических структур.

СГП Геленджик (GELN) по данным четырёхлетних наблюдений смещается к юго-западу ( $V_N = -0.72$  мм/год,  $V_E = -1.51$  мм/год), опускаясь со скоростью 1.84 мм/год.

СГП Темрюк (TEMR) расположен на западном плече Джигинского глубинного разлома и работает с января 2015 г. Средняя величина вертикального движения этого пункта за время наблюдений составила -7.73 мм/год.

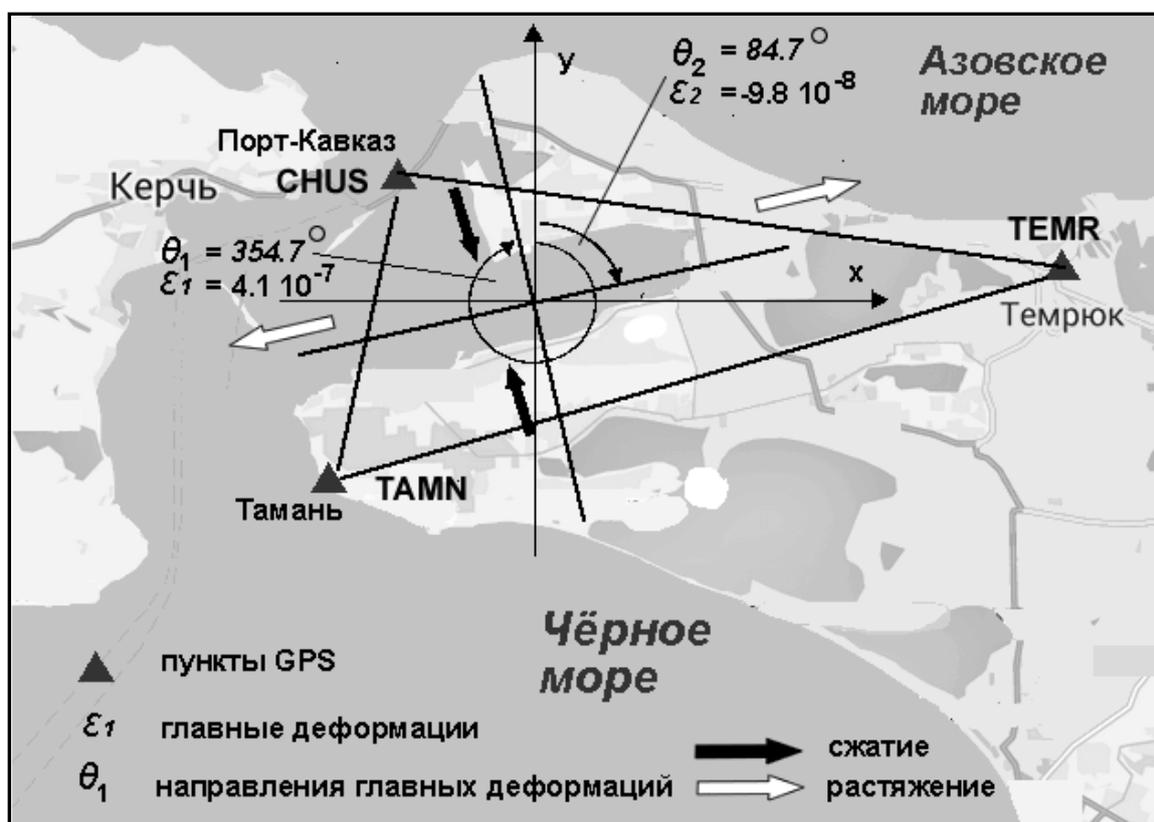


Рис. 3. Главные деформации и их направления в треугольнике GPS пунктов TAMN, CHUS, TEMR в 2015 г

СГП ЮМГ (SSMG) начал работать в режиме постоянных наблюдений с ноября 2015 г и не накопил ещё представительную статистику измерений.

По данным движения СГП в треугольнике Порт-Кавказ, Темрюк, Тамань за период 2015 г были вычислены главные деформации и их направления [Бабешко, 2016]. Эти направления полностью согласуются с ориентировкой кулисной системы растущих антиклинальных складок Керченско-Таманской грязевулканической области, контролирующей размещение грязевулканических структур. Простираение складок соответствует оси растяжения, ориентированной в северо-восточном направлении. Ось максимального сжатия направлена перпендикулярно осям складок и ориентирована в северо-западном направлении (рис. 3).

### Заключение

1. Направления и скорости смещения различных фрагментов земной коры региона, в тектоническом плане принадлежащие Западно-Кубанскому краевому прогибу, Керченско-Таманскому периклинальному прогибу, покровно-складчатой зоне Северо-Западного Кавказа и Закавказской плите, характеризуются единым трендом, вписывающимся в общую схему движения Евразийской плиты.

2. Движения каждого пункта на фоне общего тренда характеризуется индивидуальными волновыми флуктуациями в горизонтальной плоскости и по высоте. Волновой характер этих флуктуаций различной периодичности и амплитуды отражает, вероятно, остаточные регулярные сезонные явления в геофизической среде после их компенсации математическими моделями в программе GAMIT. Дополнительная обработка временных рядов спектральными методами поможет определить и устранить влияние суточных и полусуточных вариаций измеряемых параметров.

4. Анализ скорости относительного движения пунктов Туапсинско-Сочинской сейсмоактивных зоны показывает замедление скорости смещения пунктов в меридиональном направлении от побережья (пункты BITH и ADLR) к южному склону Главного Кавказского хребта (пункты ESTS и LESN), что отражает процесс сжатия северо-восточного борта Черноморской впадины под влиянием северного дрейфа Аравийской плиты.

5. Данные измерений в сети постоянных GPS пунктов дают возможность исследовать процессы деформирования земной поверхности в сейсмоактивных районах Азово-Черноморского побережья. Прямые методы измерений деформаций земной коры могут найти широкое применение в системах

раннего предупреждения сейсмической и геодинамической опасности.

### Литература

1. *Бабешко В.А., Калинин В.В., Шестопалов В.Л. и др.* Технологии геодинамического мониторинга района транспортного перехода через Керченский пролив // Наука Юга России (Вестник Южного Научного Центра). 2016. Т. 12, № 1. С. 22-31.
2. *Глазырин Е.А., Марфин А.А., Шестопалов В.Л. и др.* Инновационные технологии мониторинга геодинамического состояния прибрежно-шельфовой зоны морей // Геология морей и океанов. Материалы XX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС. 2013. Т. IV. С. 213-216.
3. *Джюкия В.М.* Результаты изучения современных тектонических движений на побережье Чёрного моря (Колхидская низменность), по данным повторных нивелировок / Глубинное строение Кавказа. М.: Наука. 1966. 164 с.
4. Земная кора и история развития Черноморской впадины. Под ред. Буланже Ю.Д. М.: Наука. 1975. 356 с.
5. *Леонов Ю.Г., Гущенко О.И., Копп М.И. и др.* Взаимосвязь позднекайнозойских напряжений и деформаций в Кавказском секторе Альпийского пояса и в его северном платформенном обрамлении // Геотектоника. 2001. № 1. С. 36-59.
6. *Милюков В.К., Миронов А.П., Рогожин Е.А. и др.* Оценки скоростей современных движений Северного Кавказа по GPS наблюдениям. // Геотектоника. 2015. № 3. С. 56-65.
7. *Лилиенберг Д.А., Яценко В.Р.* Основные тенденции современной геодинамики горных мофоструктур большого Кавказа по новым геодезическим данным // Геодезия и картография. 1991. № 2. С. 21-28.
8. *Шестопалов В.Л., Илюхин С.Р.* Исследование геодинамики региона Крым - Западный Кавказ методами GPS-измерений // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2007. № 3. С. 34-36.
9. *Altamimi Z, Métivier L., Collilieux X.* ITRF2008 plate motion model // J. Geophys. Res. 2012. V. 117. P. B07402-B008930.
10. *Gabsatarov Yu.V.* Analysis of deformation processes in the lithosphere from geodetic measurements based on the example of the San Andreas fault // Geodynamics & Tectonophysics. 2012. 3 (3). P. 275-287.
11. *Herring T.A., King R.W., Floyd M.A. et al.* GAMIT/GLOBK Reference Manual Release 10.6, MIT. 2015. Available from: <http://chandler.mit.edu/~simon/gtgk/docs.htm>
12. *McClusky S., Balassanian S., Barka A. et al.* Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus // J. Geophys. Res. 2000. V. 105. P. 5695-5719.
13. *Tari E., Sahin M., Reilinger R. et al.* Active tectonics of the Black Sea with GPS // Earth Planets Space. 2000. V. 52. P. 747-751.