науки о земле

УДК 539.3

ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО ДАННЫМ GPS-ИЗМЕРЕНИЙ В РАЙОНЕ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2016 г. Академик В.А. Бабешко¹, В.Л. Шестопалов¹, В.М. Юбко², Е.А. Глазырин²

Представлена система измерения современных движений земной коры в районе Азово-Черноморского побережья России на основе сети из 10 постоянных спутниковых геодинамических пунктов GPS/ГЛОНАСС (СГП). Сеть включает в себя два сегмента, охватывающих северо-западную и юго-восточную части Азово-Черноморского побережья Краснодарского края. Эти сегменты характеризуют участки земной коры с индивидуальным геодинамическим режимом и определяются соответственно как Анапско-Новороссийская и Туапсинско-Сочинская сейсмоактивные зоны. Приводятся результаты наблюдений за движениями поверхности земной коры и их особенности.

На востоке пункты Сочи и Адлер, расположенные в районе Адлеровской депрессии по разные стороны Пшехско-Адлерской поперечной флексурно-разломной зоны, проявляли характер вертикальных движений от опускания (–5,6 мм/год, Сочи) до слабого опускания (–0,04 мм/год, Адлер). Скорость опускания пункта Лесное, расположенного в пределах шовной зоны Ахцу, составила –0,84 мм/год. Дифференцированный характер вертикальных движений наблюдался также на пунктах западного сегмента сети от подъема в районе п. Волна (+12,11 мм/год, Тамань) до опускания на пункте Анапа (–4,75 мм/год).

В горизонтальной плоскости наблюдались отклонения траектории движения пунктов как западного, так и восточного сегментов в период подготовки и прохождения ближних землетрясений с M > 3 и дальних сейсмических событий с M > 4 на расстоянии до 100 км. Геодинамическая аномалия в плане проявилась на пункте Темрюк за несколько дней до извержения вулкана Голубицкий 27.10.2015.

Ключевые слова: деформации земной коры, GPS-технологии, геодинамическая активность.

DESCRIPTION OF CRUST MOVEMENTS ACCORDING TO GPS MEASUREMENTS IN THE AZOV-BLACK SEA COAST AREA OF THE RUSSIAN FEDERATION

Academician RAS V.A. Babeshko¹, V.L. Shestopalov¹, V.M. Yubko², E.A. Glazyrin²

The modern Earth's crust movements monitoring system in the Sea of Azov and Black Sea coastal areas of Russia is presented based on a network of 10 permanent satellite geodynamic GPS/GLONASS (SGS) stations. The network includes two segments covering northwestern and southeastern parts of the Azov-Black Sea coast of Krasnodar Region. These segments characterize sites of crust with the individual geodynamic mode and are defined respectively as the Anapa and Novorossiysk and Tuapse and Sochi seismic regions. Observation results of crust's tectonic movements and their specific features are given.

Stations of Sochi and Adler in the East are located in the Adler depression on different sides of the Pshekhsko-Adler transversal flexure and fault zone and showed the vertical movements from lowering (-5.6 mm/year, Sochi) to weak lowering (-0.04 mm/year, Adler). Lowering rate of the Station of Lesnoe,

¹ Южный научный центр Российской академии наук (Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: babeshko41@mail.ru, shestopalov@ssc-ras.ru

 $^{^2}$ Акционерное общество «Южморгеология» (JSC "Yuzhmorgeologiya", Gelendzhik, Russian Federation), Российская Федерация, 353461, г. Геленджик, Краснодарский край, ул. Крымская, 20, e-mail: yubko@ymg.ru, eaglazyrin@mail.ru

located within a sutural zone of Akhtsu, was -0.84 mm/year. The differentiated mode of vertical movements was observed also at stations of the western segment of network from the rise at the settlement of Volna (+12.11 mm/year, the Taman) to lowering at the Station of Anapa (-4.75 mm/year).

The horizontal deviations of a stations' trajectory of both western and eastern segments during preparation and passing of near earthquakes with M > 3 and distant seismic events with M > 4 were observed at distances of up to 100 km. The horizontal geodynamic anomaly was expressed at the Station of Temryuk some days before a volcanic eruption of Golubitsky (27.10.2015).

Keywords: deformations of crust, GPS technology, geodynamic activity.

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

В мировой практике для мониторинга эндогеодинамической активности и создания комплексных систем раннего обнаружения сейсмической опасности подобных территорий с высокими экологическими рисками все шире начинают использовать современные технологии спутниковой геодинамики. Для Черноморского региона на основе ежегодных GPS-измерений были получены основные кинематические характеристики движений блоков земной коры [1; 2]. На Азово-Черноморском побережье Краснодарского края в рамках государственной программы мониторинга состояния недр геодинамические исследования начали проводить с 2005 г. [3], и в настоящее время система прямого измерения деформаций земной коры действует на основе сети из 10 постоянных спутниковых геодинамических пунктов (СГП), установленных в сейсмоактивных районах Азово-Черноморского побережья Краснодарского края (рис. 1) [4]. Сеть создана АО «Южморгеология» при участии Южного научного центра РАН и Кубанского государственного университета.

Сеть СГП включает в себя юго-восточный северо-западный сегменты, охватывающие территорию Керченско-Таманской, Анапско-Новороссийской Туапсинско-Сочинской И сейсмоактивных зон. В тектоническом плане СГП характеризуют движение участков Западно-Кубанского прогиба, Керченскокраевого Таманского периклинального прогиба, покровноскладчатой зоны Северо-Западного Кавказа и Закавказской плиты (рис. 1). В юго-восточном сегменте СГП установлены со средним расстоянием между ними в 21 км, в северо-западном – 50 км.

геодинамических Измерения на выполняли в течение 1,5-7 лет с использованием аппаратуры GPS/ГЛОНАСС. Дальнейшую обработку данных производили с помощью программы GAMIT/GLOBK, разработанной в Массачусетском технологическом институте и Институте океанографии им. Скриппса [5]. Для каждого СГП были получены временные ряды компонент вектора местоположения с точностью 2-7 мм в горизонтальной плоскости и 6-12 мм по вертикали. Скорости движения вычислены в международной координатной системе ITRF2008, реализация которой осуществлялась опорными станциями ARTU (г. Екатеринбург, Россия), MOBN (г. Обнинск, Московская обл., Россия), GLSV (г. Киев, Украина), RIGA (Латвия), PENC (Венгрия), WTZR (Германия) и ZECK (станица Зеленчукская, Карачаево-Черкесия, Россия). Выбор опорных станций определялся следующими основными критериями [6]:

- 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 3 мм/год.

Для пунктов со сроком наблюдений более 3 лет скорости движения вычисляли с помощью программы GLOBK. Временные ряды данных с пунктов ADLR, GORP, TEMR, TAMN и SSMG с продолжительностью наблюдений менее 3 лет обрабатывали регрессионными методами в соответствии с работой [7].

Движение всех 10 пунктов сети включает общий тренд в направлении северо-восток и согла-

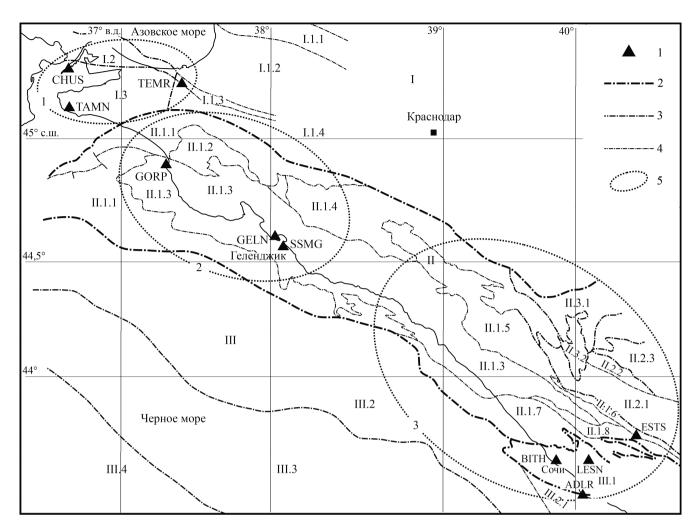


Рис. 1. Сеть СГП GPS/ГЛОНАСС в районе Азово-Черноморского побережья России. 1 – пункты GPS/ГЛОНАСС; 2–4 – границы тектонических структур: 2 – первого порядка; 3 – второго порядка; 4 – третьего порядка; 5 – зоны сейсмической активности (1 – Керченско-Таманская; 2 – Анапско-Новороссийская; 3 – Туапсинско-Сочинская)

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

Fig. 1. Network of GPS/GLONASS stations in the Azov-Black Sea coast area of Russia. 1 – GPS/GLONASS stations; 2–4 – borders of tectonic structures: 2 – of the first order; 3 – of the second order; 4 – of the third order; 5 – zones of seismic activity (1 – Kerch and Taman; 2 – Anapa and Novorossiysk; 3 – Tuapse and Sochi)

Tectonic structures: I – Ciscaucasian Alpine (regional and periclinal) deflections and rises: I.1 – West Kuban regional deflection; I.1.1 – the Petrovsky ledge; I.1.2 – the Axial region; I.1.3 – the Anastasy-Krasnodar anticlinal zone; I.1.4. – the Southern ledge; I.2. – the North-Taman zone of rises; I.3. – the Kerch-Taman periclinal deflection; II – the Folded and clumpy construction of the Greater Caucasus: II.1 – integument and folded zones of the Northwest Caucasus; II.1.1 – a Meotian-Quaternary neo-autochthonous complex; II.1.2 – the Vityazevo zone; II.1.3 – the Novorossiysk and Lazarevskoe zone; II.1.4 – the Abino-Gunaisky zone; II.1.5 – the Goytkhsky zone; II.1.6 – the Psekhako-Berezovsky zone; II.1.7 – Chvizhepse zone; II.1.8 – the Krasnaya Polyana area; II.2 – Folded and clumpy rise of the Central Caucasus Mountains: II.2.1 – the Rise of the Main Caucasus Ridge; II.2.2 – the Labino-Malkinsky zone of a faltering folding; II.2.3 – the Rise of the Front Ridge; II.3 – North Caucasian monocline: II.3.1 – Adyghe monocline; II.3.2 – the Lagonaky zone; III – the Transcaucasian plate: III.1 – the Gagra and Dzhavsky zone of a faltering folding; III.2 – the Tuapse deflection: III.2.1 – the Adler depression; III.3 – Shatsky's Swell; III.4 – the East Black Sea hollow

СГП	Компоненты вектора скорости, мм/год					
	$V_{\scriptscriptstyle E}$ (запад-восток)	$V_{_N}$ (север-юг)	V_h (вертикальное движение)	Вектор скорости, мм/год	Азимут, градусы	Время наблюдения, годы
ADLR	$26,75 \pm 0,1$	$16,00 \pm 0,1$	-0.04 ± 0.4	$31,17 \pm 0,3$	+59,12	2,6
BITH	$24,34 \pm 0,1$	$15,24 \pm 0,1$	$-5,6 \pm 1,5$	$28,72 \pm 0,1$	+57,95	5,5
LESN	$23,94 \pm 0,1$	$13,16 \pm 0,2$	-0.84 ± 0.8	$27,32 \pm 0,2$	+61,2	4,6
ESTS	$24,43 \pm 0,2$	$12,98 \pm 0,2$	$+2,22 \pm 0,9$	$27,66 \pm 0,4$	+62,02	5,0
GELN	$23,87 \pm 0,2$	$10,94 \pm 0,2$	$-1,84 \pm 0,7$	$26,26 \pm 0,3$	+65,38	7,0
GORP	$26,24 \pm 0,2$	$16,74 \pm 0,2$	$-4,75 \pm 0,6$	$31,12 \pm 0,3$	+57,46	2,7
TAMN	$28,72 \pm 0,2$	$11,28 \pm 0,2$	$+12,11 \pm 0,6$	$30,86 \pm 0,2$	+68,56	2,4
TEMR	$27,33 \pm 0,2$	$11,73 \pm 0,2$	$-2,28 \pm 0,7$	$29,74 \pm 0,2$	+66,77	1,5
CHUS	$24,18 \pm 0,2$	$12,16 \pm 0,2$	$-2,28 \pm 0,8$	$27,07 \pm 0,2$	+63,30	6,0

Таблица 1. Скорости движений станций (BITH, ADLR, LESN, ESTS, GELN, GORP, CHUS, TEMR, TAMN) в системе ITRF2008 **Table 1.** GPS-stations velocities (BITH, ADLR, LESN, ESTS, GELN, GORP, CHUS, TEMR, TAMN) in the ITRF2008 system

суется с движением международных станций в Крыму (CRAO) и Зеленчукской (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 из литературным данных [6; 8]. 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.

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

Параметры движения СГП Сочи (ВІТН) указывают на смещение этого пункта в направлении се-

Таблица 2. Скорости движений международных станций ZECK и CRAO в системе ITRF2008 по результатам настоящей работы и по литературным данным [6; 8]

Table 2. Velocities of the international GPS-stations ZECK and CRAO in the ITRF2008 system in the presented paper and according to [6] and [8]

	Компоненты вектора скорости, мм/год					
СГП	$V_{_E}$ (запад- восток)	$V_{_N}$ (север-юг)	V_h (вертикальное движение)			
ZECK	$25,38 \pm 0,03$	$11,66 \pm 0,03$	$+1,27 \pm 0,06$			
ZECK (1)	$25,75 \pm 0,4$	$11,82 \pm 0,5$	$+2,89 \pm 1,7$			
ZECK (2)	$25,48 \pm 0,08$	$11,57 \pm 0,08$	_			
CRAO	$23,91 \pm 0,04$	$12,10 \pm 0,04$	$-0,66 \pm 0,15$			
CRAO (1)	$23,96 \pm 0,2$	$11,64 \pm 0,2$	$+1,73 \pm 0,7$			
CRAO (2)	$23,94 \pm 0,09$	$12,03 \pm 0,07$	_			

веро-запад ($V_E=-1,04\,$ мм/год, $V_N=+3,58\,$ мм/год) относительно станции ZECK. Тренд вертикальных движений СГП ВІТН 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 Сухума, указывающими на опускание берега со скоростью $1\,$ мм/год. Причем к юго-востоку от Сочи футшток показывал скорость опускания берега $6\,$ мм/год [9].

Средняя амплитуда колебаний относительно нисходящего вертикального тренда этого пункта составила 10–15 мм. Анализ графиков движений СГП Сочи (ВІТН) 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 $(V_E = +1,37 \text{ мм/год}, V_N = +4,34 \text{ мм/год})$ почти синхронно с СГП Сочи (ВІТН), но удаляется от него на восток со скоростью +2,4 мм/год. За 3 года наблюдений тренд вертикальной скорости этого СГП проявил незначительное опускание $(V_h = -0,04 \text{ мм/год})$. В целом характер нисходящих движений СГП Сочи и Адлер не противоречит представлениям о вовлеченности отдельных блоков Сочи-Адлерской депрессии в процесс дальнейшего погружения Восточно-Черноморской впадины [10].

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 BITH с отклонением к северо-западу ($V_E = -1,44 \text{ мм/год}, V_N = +1,5 \text{ мм/год}$).

Графики горизонтальных и вертикальных движений СГП Лесное в системе ITRF2008 представлены на рисунке 3a.

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 до 12 мм/год в осевой части) [11].

Во время землетрясения в Абхазии 14.09.2015 (M = 4,7) в 153 км к востоку от Сочи пункты ВІТН, LESN и ESTS зафиксировали общий подъем земной поверхности.

Полученные данные о характере 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 [12].

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 современ-

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

Table 3. GPS-stations velocities (BITH, ADLR, LESN, ESTS, GELN, GORP, CHUS, TEMR, TAMN) in the ITRF2008 system relative to Zelenchukskaya (ZECK) Station

СГП	Горизонта компоненть скорости,	і вектора	Вектор скорости,	Азимут, градусы
	V_E (запад-восток)	$V_{_{N}}$ (север-юг)	мм/год	
ADLR	$1,37 \pm 0,1$	$4,34 \pm 0,1$	$4,55 \pm 0,3$	+17,52
BITH	$-1,04 \pm 0,08$	$3,58 \pm 0,1$	$3,73 \pm 0,1$	-16,20
LESN	$-1,44 \pm 0,1$	$1,50 \pm 0,2$	$2,08 \pm 0,2$	-43,83
ESTS	-0.95 ± 0.2	$1,32 \pm 0,2$	$1,63 \pm 0,4$	-35,74
GELN	$-1,50 \pm 0,2$	-0.72 ± 0.2	$1,67 \pm 0,3$	-115,49
GORP	0.86 ± 0.2	$5,08 \pm 0,2$	$5,15 \pm 0,3$	+9,61
TAMN	$3,34 \pm 0,2$	-0.38 ± 0.2	$3,36 \pm 0,2$	+96,49
TEMR	$1,95 \pm 0,2$	$0,07 \pm 0,2$	$1,95 \pm 0,2$	+87,94
CHUS	$-1,2 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,2$	$1,3 \pm 0,2$	-67,38

ном этапе высокой геодинамической активностью, проявлением которой является серия разрывных нарушений, рассекающих Керченский и Таманский полуострова. На основе 6-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 значе-

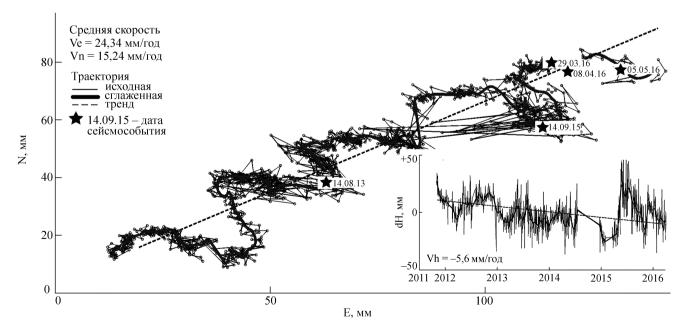


Рис. 2. Горизонтальное движение СГП Сочи и сейсмичность в 2012–2015 гг. **Fig. 2.** The horizontal movement of GPS Station of Sochi (BITH) and seismicity in 2012–2015

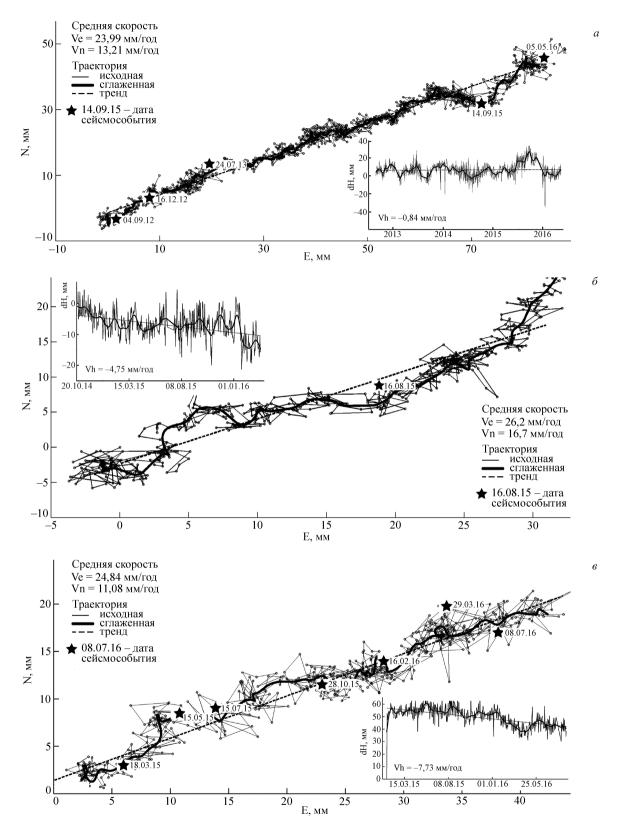


Рис. 3. Горизонтальное и вертикальное движение СГП и сейсмичность. a – Лесное (LESN), 2012–2016 гг.; δ – Анапа (GORP), 2014–2016 гг.; ϵ – Темрюк (TEMR), 2015–2016 гг. Е, N – смещение в восточном и северном направлениях соответственно; dH – смещение по высоте

Fig. 3. The horizontal and vertical movement of GPS stations and seismicity. a – GPS Station of Lesnoe (LESN), 2012–2016; δ – GPS Station of Anapa (GORP), 2014–2016; δ – GPS Station of Temryuk (TEMR), 2015–2016. E, N – East and North dislocations; dH – height dislocation

ния компонентов вектора горизонтальной скорости движения имели близкие значения, но отличались по высоте. Слабое опускание Крымской станции СRAO согласуется, по данным работы [10], 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 (ТАМN) 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 зафиксирован тренд восходящего движения со скоростью 12,1 мм/год. В августе 2014 г. на СГП Тамань был зарегистрирован сдвиг по широте на 10 мм с дальнейшим отклонением к востоку, что согласуется с элементами экзогеодинамики этого участка – оползневыми процессами на южном склоне горы Зеленского в сторону побережья Черного 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 на ~2 мм/год (рис. 36) [11]. Разнонаправленный характер усредненных вертикальных движений СГП Тамань и Анапа можно объяснить их расположением в пределах различных тектонических структур.

СГП Геленджик (GELN), по данным 4-летних 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*в*).

СГП ЮМГ (SSMG) начал работать в режиме постоянных наблюдений с ноября 2015 г. и не накопил еще представительной статистики измерений.

По данным движения СГП в треугольнике Порт-Кавказ — Темрюк — Тамань за период 2015 г. были вычислены главные деформации и их направления [13]. Эти направления полностью согласуются с ориентировкой кулисной системы растущих антиклинальных складок Керченско-Таманской грязевулканической области, контролирующих раз-

мещение грязевулканических структур. Простирание складок соответствует оси растяжения, ориентированной в северо-восточном направлении. Ось максимального сжатия направлена перпендикулярно осям складок и ориентирована в северо-западном направлении (рис. 3*a*).

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 характеризуются индивидульными волновыми флуктациями 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 сейсмоактивной 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 GPSпунктов 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.

Работа выполнена в рамках реализации Государственного задания на 2016 г. № 007-01114-16 ПР, номер проекта 0256-2014-0006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Tari E., Sahin M., Reilinger R., Barka A., King R., McClusky S., Prilepin M. 2000. Active tectonics of the Black Sea with GPS. Earth Planets Space. 52: 747–751.
- McClusky S., Balassanian S., Barka A., Demir C., Ergintav S., Georgiev I., Gurkan O., Hamburger M., Hurst K., Kahle H., Kastens K., Kekelidze G., King R., Kotzev V., Lenk O., Mahmoud S., Mishin A., Nadariya M., Ouzounis A., Paradissis D., Peter Y., Prilepin M., Reilinger R., Sanli I., Seeger H., Tealeb A., Toksöz M.N., Veis G. 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. J. Geophys. Res. 105: 5695–5719.
- 3. Шестопалов В.Л., Илюхин С.Р. 2007. Исследование геодинамики региона Крым Западный Кавказ методами GPS-измерений. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. (3): 34–36.
- 4. Глазырин Е.А., Марфин А.А., Шестопалов В.Л., Клубнева О.В. 2013. Инновационные технологии мониторинга геодинамического состояния прибрежношельфовой зоны морей. В кн.: Геология морей и океанов. Материалы XX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М., ГЕОС. Т. IV.: 213–216.
- Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S. 2015. GAMIT Reference Manual Release 10.6. URL: http://chandler. mit.edu/~simon/gtgk/docs.htm (дата обращения: 10.02.2016).
- Altamimi Z., Métivier L., Collilieux X. 2012. ITRF2008 plate motion model. J. Geophys. Res. 117: B07402–B008930.
- Габсатаров Ю.В. 2012. Анализ деформационных процессов в литосфере по геодезическим наблюдениям на примере разлома Сан-Андреас. Geodynamics & Tectonophysics. 3(3): 275–287.
- Милюков В.К., Миронов А.П., Рогожин Е.А., Стеблов Г.М. 2015. Оценки скоростей современных движений Северного Кавказа по GPS наблюдениям. Геотектоника. (3): 56–65.
- 9. Джикия В.М. 1966. Результаты изучения современных тектонических движений на побережье Черного моря (Колхидская низменность), по данным повторных нивелировок. Глубинное строение Кавказа. М., Наука: 164 с.
- 10. Буланже Ю.Д. (ред.). 1975. Земная кора и история развития Черноморской впадины. М., Наука: 356 с.
- 11. Лилиенберг Д.А., Ященко В.Р. 1991. Основные тенденции современной геодинамики горных морфоструктур Большого Кавказа по новым геодезическим данным. *Геодезия и картография*. (2): 21–28.
- Леонов Ю.Г., Гущенко О.И., Копп М.Л., Расцветаев Л.М. 2001. Взаимосвязь позднекайнозойских напряжений и деформаций в Кавказском секторе Альпийского пояса и в его северном платформенном обрамлении. Геотектоника. (1): 36–59.
- 13. Бабешко В.А., Калинчук В.В., Шестопалов В.Л., Шереметьев В.М. 2016. Технологии геодинамического мониторинга района транспортного перехода через Керченский пролив. *Наука Юга России*. 12(1): 22–31.

REFERENCES

 Tari E., Sahin M., Reilinger R., Barka A., King R., McClusky S., Prilepin M. 2000. Active tectonics of the Black Sea with GPS. Earth Planets Space. 52: 747–751.

- McClusky S., Balassanian S., Barka A., Demir C., Ergintav S., Georgiev I., Gurkan O., Hamburger M., Hurst K., Kahle H., Kastens K., Kekelidze G., King R., Kotzev V., Lenk O., Mahmoud S., Mishin A., Nadariya M., Ouzounis A., Paradissis D., Peter Y., Prilepin M., Reilinger R., Sanli I., Seeger H., Tealeb A., Toksöz M.N., Veis G. 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. J. Geophys. Res. 105: 5695–5719.
- 3. Shestopalov V.L., Ilyukhin S.R. 2007. [Research of geodynamics of the Crimea Western Caucasus Region by methods of GPS-measurements]. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos "emka.* (3): 34–36. (In Russian).
- 4. Glazyrin E.A., Marfin A.A., Shestopalov V.L., Klubneva O.V. 2013. [Innovative technologies of monitoring of a geodynamic condition of a coastal and shelf zone of the seas]. In: Geologiya morey i okeanov. Materialy XX Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (Shkoly) po morskoy geologii. [Geology of seas and oceans. Proceedings of the XX International Scientific Conference (School) on marine geology]. Moscow, GEOS. Vol. IV: 213–216. (In Russian).
- Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S. 2015. GAMIT Reference Manual Release 10.6. Available at: http://chandler. mit.edu/~simon/gtgk/docs.htm (accessed 10 February 2016).
- 6. Altamimi Z., Métivier L., Collilieux X. 2012. ITRF2008 plate motion model. *J. Geophys. Res.* 117: B07402–B008930.
- 7. Gabsatarov Yu.V. 2012. [Analysis of deformation processes in the lithosphere from geodetic measurements based on the example of the San Andreas fault]. *Geodynamics & Tectonophysics*. 3(3): 275–287. (In Russian).
- 8. Milyukov V.K., Mironov A.P., Rogozhin E.A., Steblov G.M. 2015. [Estimates of velocities of the North Caucasus movements by GPS observations.]. *Geotektonika*. (3): 56–65. (In Russian).
- 9. Dzhikiya V.M. 1966. Rezul'taty izucheniya sovremennykh tektonicheskikh dvizheniy na poberezh'e Chernogo morya (Kolkhidskaya nizmennost'), po dannym povtornykh nivelirovok. Glubinnoe stroenie Kavkaza [Results of the modern tectonic movements investigations on the coast of the Black Sea (the Colchis lowland), according to repeated levellings. Deep structure of the Caucasus]. Moscow, Nauka: 164 p. (In Russian).
- 10. Bulanzhe Yu.D. (Ed.). 1975. Zemnaya kora i istoriya razvitiya Chernomorskoy vpadiny. [Earth's crust and history of the Black Sea depression]. Moscow, Nauka: 356 p. (In Russian).
- 11. Lilienberg D.A., Yashchenko V.R. 1991. [The main tendencies of modern geodynamics of mountain morphology structure of the Greater Caucasus according to new geodetic data]. *Geodeziya i kartografiya*. (2): 21–28. (In Russian).
- Leonov Yu.G., Gushchenko O.I., Kopp M.L., Rastsvetaev L.M. 2001. [Interrelation of the Late Cainozoic tension and deformations in the Caucasian sector of the Alpine belt and in its northern platform frame]. *Geotektonika*. (1): 36–59. (In Russian).
- 13. Babeshko V.A., Kalinchuk V.V., Shestopalov V.L., Sheremet'ev V.M. 2016. [Technologies of geodynamic monitoring of the Kerch-Taman Region and deformations of bridge engineering constructions across the Kerch Strait]. *Nauka Yuga Rossii*. 12(1): 22–31. (In Russian).

Поступила 16.09.2016