

ISSN 2221-3198

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 4 / 2018



УДК 551:550.34

DOI:10.23671/VNC.2018.4.20152

ХАРАКТЕРИСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОМ СЕКТОРЕ БОЛЬШОГО КАВКАЗА ПО ДАННЫМ GPS-НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ СВЯЗЬ С НОВЕЙШЕЙ ТЕКТОНИКОЙ И ГЛУБИННЫМ СТРОЕНИЕМ ЗЕМНОЙ КОРЫ

© 2018 Е.А. Рогожин^{1, 3}, д.г.-м.н., проф., В.К. Милюков², д.ф.-м.н., проф., А.П. Миронов², А.Н. Овсяченко¹, к.г.-м.н., А.В. Горбатиков¹, к.ф.-м.н.

¹ФГБУН Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Россия, 123995, г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1;

²Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ, Россия, 119234, г. Москва, Университетский пр., д. 13;

³Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: eurog1947@yandex.ru

В статье освещены результаты впервые выполненных GPS-измерений вдоль геодезического профиля, пересекающего все основные геологические структуры в Осетинском регионе Большого Кавказа. Интерпретация результатов измерений выполнена в сопоставлении с результатами неотектонических исследований и данными о глубинном строении. Максимальное уменьшение современных скоростей поперечного сжатия зафиксировано в области наивысшего подъема к земной поверхности низкодобротного объема земной коры, оказывающего распирающее действие на все горное сооружение. Наличие значимых поперечных смещений поверхности отражает сдвиговую составляющую по крупнейшим разломам кавказского простиранья. Полностью подтвердилось прогнозированное ранее существенное снижение скорости горизонтальных движений по окончании афтершокового процесса катастрофического Рачинского землетрясения 1991 г. на южном склоне Большого Кавказа.

Ключевые слова: тектоника, земная кора, Большой Кавказ.

В Осетинском регионе Большого Кавказа ГАИШ МГУ совместно с ВНЦ РАН создали спутниково-геодезическую сеть, состоящую из 25 пунктов для проведения периодически повторных GPS-измерений (табл. 1), а также станцию непрерывных GPS-наблюдений (код VLKK) [Милюков и др. 2015, Milyukov et al., 2018]. Также использовали данные двух станций созданных Геофизической службой РАН (коды ARDN, PRTN). В основу оценки скоростей современных тектонических движений положен анализ временных рядов координат GPS пунктов и станций, вычисляемых из первичных данных, которые представляют собой наборы фазовых и кодовых измерений на двух частотах продолжительностью трое суток с интервалом регистрации 30 сек по времени UTC+0 (по Гринвичу). Для большинства пунктов периодичность проведения измерений кратна одному году. Для обработки GPS данных

использовался пакет программ GAMIT/GLOBK [Herring et al., 2010]. Полученные оценки скоростей смещений пунктов и станций представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Продольные и поперечные проекции горизонтальных скоростей смещений пунктов и станций Осетинской геодезической сети относительно неподвижной Евразии на профиль с азимутом 15.88°.

Код	Расстояние вдоль профиля (км)	Скорость вдоль профиля (мм/год)	Скорость поперек профиля (мм/год)
HETG	6,49	4,38±1,19	1,11±2,21
KEHV	19,16	6,57±1,54	1,93±4,04
SLUR	22,69	2,18±1,59	3,88±3,77
HVCE	29,04	3,02±1,46	-0,21±5,32
ERTS	31,13	0,73±1,26	-0,76±2,81
MZGM	32,37	6,10±1,30	6,04±3,21
DZMG	45,97	0,74±1,40	3,12±4,03
ERMN	47,11	3,13±1,14	1,27±1,92
EDIS	49,15	2,08±1,15	3,00±2,08
ROOK	53,32	0,52±1,24	5,62±3,11
ZAKK	57,92	0,30±1,13	-3,69±1,83
BUGT	71,24	-0,78±1,18	-7,01±2,44
TLAP	77,07	3,48±1,75	-7,21±6,80
FGDN	78,09	2,33±1,20	-4,95±2,66
LATZ	81,91	0,96±0,91	3,17±0,94
KADT	82,40	2,63±1,23	-11,83±2,45
DGIS	88,17	-3,57±1,64	13,35±5,55
KARZ	94,47	3,11±1,25	-2,73±2,50
VLKK	114,22	1,59±0,90	2,52±0,93
ARDN	121,64	0,70±1,10	1,38±1,20
PRTN	180,27	-0,05±0,92	0,29±0,98

Оценка скоростей горизонтальных движений вдоль геодезического профиля, пересекающего все основные геологические структуры Большого Кавказа, выполнена впервые. Это определяет чрезвычайную ценность проведенных измерений. Для интерпретации результатов использована тектоническая схема, составленная по данным разномасштабного геологического картирования и собственных полевых наблюдений [Рогожин и др., 2014]. Профиль расположен в области максимального сужения всех тектонических зон Большого Кавказа. Основные подвижные тектонические границы находят прямое и яркое отражение в современном рельефе и деформациях позднеплиоцен-эоплейстоценового геоморфологического уровня (рис. 1).

Проекции горизонтальных скоростей смещений были экстраполированы на совмещенный структурно-геоморфологический и геофизический профиль вдоль долин рек Бол. Лиаква и Ардон (рис. 2). Геофизические исследования были выполнены методом микросейсмического зондирования (ММЗ) [Горбатилов и др.,

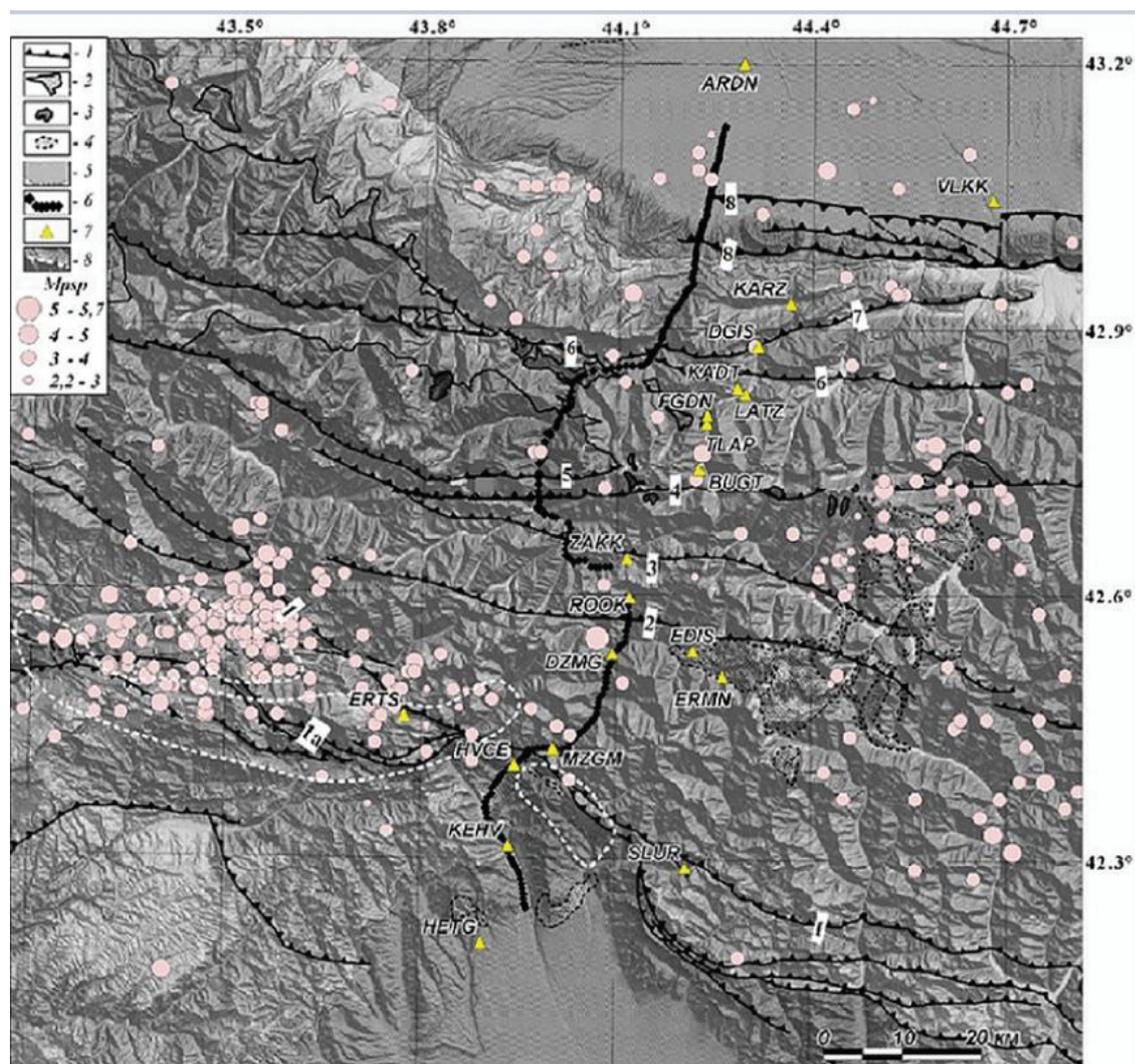


Рис. 1. Тектоническая схема района Осетинской геодезической сети [Milyukov et al., 2018]. Кружками вынесены эпицентры землетрясений за 2010–2016 гг. по данным сейсмологической сети Северо-Осетинского филиала Единой геофизической службы РАН (<http://www.ceme.gsras.ru>). 1 – основные взбросо-надвиги; 2 – выступы кристаллического фундамента; 3 – плиоцен-четвертичные интрузии; 4 – плиоцен-четвертичные вулканы; 5 – олигоцен-плиоценовые осадки Осетинской впадины Предкавказского прогиба, Рача-Лечхумского прогиба и Закавказской межгорной впадины; 6 – тикеты профиля микросейсмического зондирования (ММЗ) [Горбатиков и др., 2015; Рогожин и др., 2014]; 7 – пункты и станции Осетинской геодезической сети; 8 – контуры полей сгущения эпицентров афтершоков Рачинского ($M = 7,1$) и Джавского ($M = 6,2$) землетрясений. Цифрами обозначены названия основных разломов: 1 – Кахетино-Лечхумский (Орхевский, Уцерский), 1а – южная ветвь Кахетино-Лечхумского (Поцхревский); 2 – Гебско-Лагодехский; 3 – Тибский; 4 – Адайком-Казбекский; 5 – Главный надвиг; 6 – Пуйский; 7 – Балтинский; 8 – Владикавказский

2015], который позволяет адекватно выявлять конфигурацию как субвертикальных, так и субгоризонтальных скоростных границ на глубину до 60 км. Геологические объекты со сравнительно высокими сейсмическими скоростями проявляются в микросейсмическом поле как зоны с пониженными амплитудами, и наоборот. В совокупности с данными о проявлениях тектонических процессов в четвертичном периоде, глубинный профиль ММЗ дает представление об источниках современных орогенических движений [Горбатиков и др., 2015]. Низкоскоростная среда, вы-

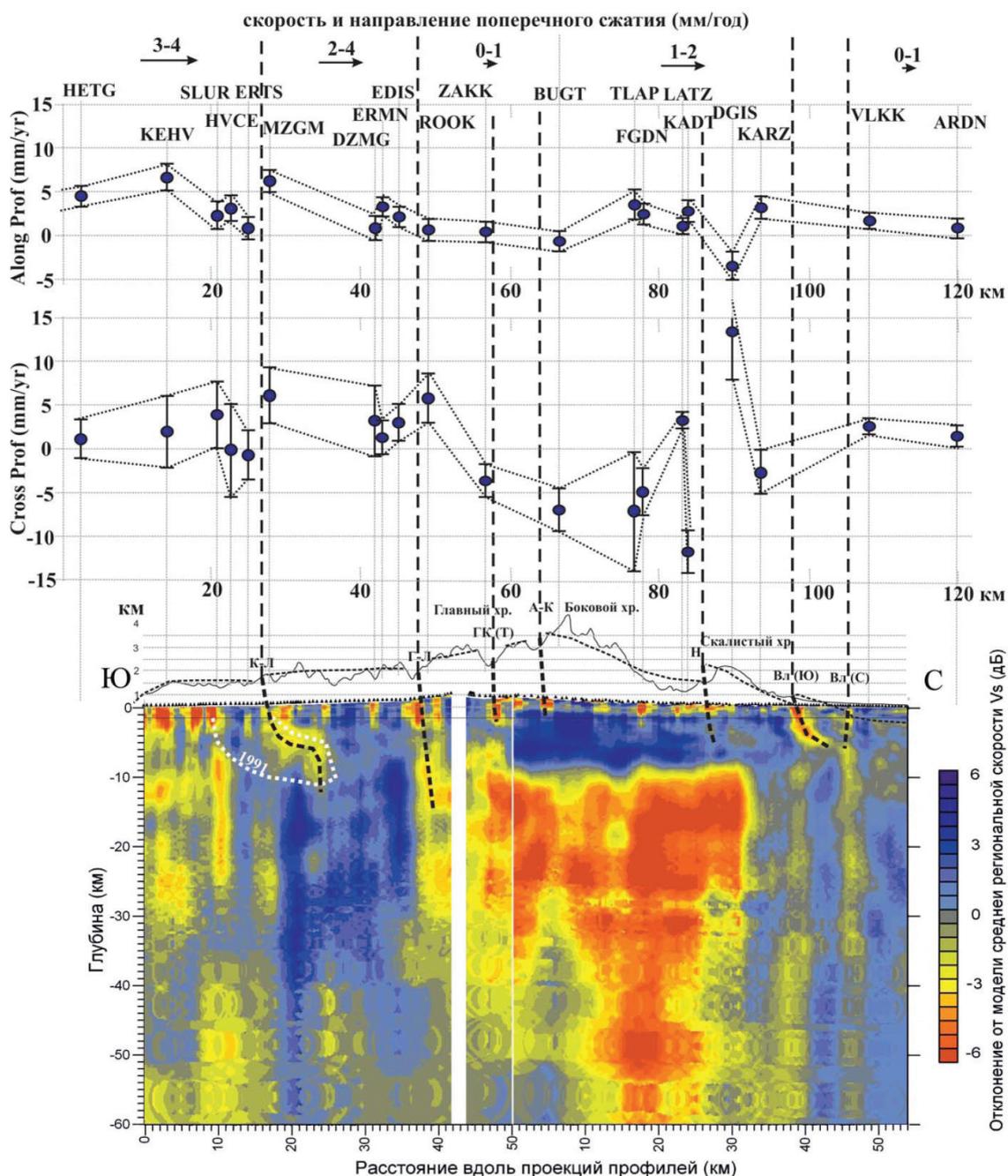


Рис. 2. Структурно-геоморфологический и геофизический профили, совмещенные с продольными (Along Prof) и поперечными (Cross Prof) проекциями горизонтальных скоростей смещений пунктов и станций Осетинской геодезической сети относительно неподвижной Евразии на профиль с азимутом 15.88°.

Латинскими буквами обозначены пункты и станции Осетинской геодезической сети (табл. 1); толстые черные пунктирные линии – основные разломы (цифровые обозначения на рис. 1); показаны рельеф вдоль геолого-геофизического профиля и тонкими черными пунктирными линиями - позднеплиоцен-эоплейстоценовый геоморфологический уровень; белая пунктирная линия – проекция контуров поля сгущения гипоцентров афтершоков Рачинского и Джавского землетрясений на геолого-геофизический профиль; горизонтальные стрелки и цифры над ними – скорости современных смещений.

деленная под самой приподнятой частью Большого Кавказа (она же выделяется и ГСЗ) [Павленкова, 2012] коррелируется с областью максимального воздымания на позднеорогенном этапе и может быть сопоставлена с относительно легким, низко-добротным объемом земной коры. Это тело можно интерпретировать как следствие глубинного диапиризма в терминологии В.В. Белоусова [1989].

Разброс пунктов и станций вдоль профиля по простиранию структур общекавказской ориентировки достигает 40 км. Несмотря на это, все пункты и станции проецируются в аналогичные тектонические обстановки вдоль совмещенного геолого-геофизического профиля. На южном склоне, в зоне Кахетино-Лечхумского разлома происходит резкое изменение значений как продольных, так и поперечных проекций горизонтальных скоростей смещений. Высокие скорости горизонтального сжатия вдоль профиля (3-4 мм/год) отражают сближение Дзирульского массива и кристаллического ядра Большого Кавказа по зоне Кахетино-Лечхумского разлома. На самой приподнятой части Большого Кавказа (станции ROOK, ZAKK, BUGT) скорости поперечного сжатия заметно сокращаются до 0-1 мм/год. Эта область к северу от Гебско-Лагодехского разлома отвечает на глубине низкодобротному, более легкому объему земной коры, оказывающему распирающее действие на все горное сооружение. На северном крыле мегантиклинория вновь наблюдается небольшое увеличение средних скоростей горизонтальных движений (1-2 мм/год) вплоть до зоны Владикавказского разлома. К северу от этой разломной зоны скорость поперечного сжатия уменьшается до 0-1 мм/год.

Важно отметить, что максимальное уменьшение поперечного сжатия зафиксировано в области наивысшего подъема к земной поверхности низкодобротного объема земной коры.

Наблюдается некоторая корреляция скоростей смещений, зарегистрированных вдоль и поперек геодезического профиля. К югу от зоны Кахетино-Лечхумского разлома, где поперечные к Кавказскому горно-складчатому сооружению движения поверхности имеют наибольшие значения, скорости поперечных смещений составляют 1–5 мм/год. Севернее, в наиболее приподнятой части мегантиклинория, где скорости современных смещений в ССВ направлении существенно сокращаются, скорости поперечных движений, напротив, нарастают (5–15 мм/год). А к северу от зоны Владикавказского разлома поперечные скорости сокращаются до 1–3 мм/год.

Наличие значимых поперечных смещений поверхности обуславливает сдвиговую составляющую по крупнейшим разломам кавказского простирания. Так, при Джавском землетрясении (15.06.1991) с $M = 6,2$ по сейсмологическим (механизм очага) и геолого-геоморфологическим данным на этом участке сейсмогенерирующий Кахетино-Лечхумский разлом представляет собой левосторонний взбросо-сдвиг [Рогожин и др., 2014].

Следует напомнить, что после сильнейшего Рачинского землетрясения 1991 г. в эпицентральной области была размещена временная локальная сеть из пяти станций GPS, которая вела регистрацию горизонтальных движений поверхности на южном склоне Большого Кавказа и на Закавказской плите на протяжении четырех лет [Прилепин и др., 1997]. Выяснилось, что в этот период Дзирульский срединный массив и Окрибо-Сачхерская зона Закавказской плиты смещались к северу со скоростью $4,2 \pm 0,9$ мм/год, а сразу к северу от Кахетино-Лечхумского разлома фиксировались смещения тектонических зон южного склона к югу и юго-юго-западу со скоростями $6,8 \pm 1,2$ мм/год. Следовательно, в очаговой зоне землетрясения реги-

стрировалось сокращение земной поверхности со скоростью около 1 см/год. При этом северное, кавказское крыло разлома характеризовалось существенно большей скоростью горизонтальных движений.

Как видно из приведенных выше данных, скорость смещений в последние годы снизилась почти вдвое, быстрые движения южного крыла мегантиклинория в южных румбах исчезли. В то же время, резкое снижение скоростей в зоне Кахетинно-Лечхумского разлома по сути дела отвечает тенденции, зафиксированной после Рачинского землетрясения. При этом прогнозируемое ранее исследователями существенное снижение скорости горизонтальных движений по окончании афтершокового процесса [Прилепин и др., 1997] полностью подтвердилось.

Исследования проведены в рамках научной темы 128. Физические поля, внутреннее строение Земли и глубинные геодинамические процессы. «Современная геодинамика и пространственное положение активных глубинных разломов Центральной части Большого Кавказа на основе инструментальных наблюдений» (№ 0196-2018-0039) и при поддержке РФФИ, грант № 18-05-00641.

Литература

1. Белоусов В.В. Основы геотектоники. – М.: Недра, 1989. – 382 с.
2. Горбатиков А.В., Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Андреева Н.В., Передерин Ф.В., Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Дзедобоев Б.А., Габараев А.Ф. Особенности глубинного строения и современной тектоники Большого Кавказа в Осетинском секторе по комплексу геофизических данных // Физика Земли. – 2015. – №1. – С. 3–14.
3. Милуков В.К., Миронов А.П., Стеблов Г.М., Шевченко В.И., Кусраев А.Г., Дробышев В.Н., Хубаев Х.М. Современные горизонтальные движения основных элементов тектонической структуры Осетинской части Большого Кавказа по GPS-измерениям // Физика Земли. – 2015. – №4. – С. 68–80.
4. Павленкова Г.А. Строение земной коры Кавказа по профилям ГСЗ Степное – Бакуриани и Волгоград – Нахичивань (результаты переинтерпретации первичных данных) // Физика Земли. – 2012. – №4. – С. 1–10.
5. Прилепин М.Т., Баласанян С., Баранова С.М., Гусева Т.В., Мишин А.В., Надария М., Рогожин Е.А., Розенберг Н.К., Сквородкин Ю.П., Хамбургер М., Кинг Р., Рейлингер Р. Изучение кинематики Кавказского региона с использованием GPS технологии // Физика Земли. – 1997. – №6. – С. 68–75.
6. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатиков А.В. Эндогенные опасности Большого Кавказа. – М.: ИФЗ РАН, 2014. – 256 с.
7. Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S.C. Introduction to GAMIT/GLOBK. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. – 2010. – 54 p.
8. Milyukov V.K., Mironov A.P., Ovsyuchenko A.N., Rogozhin E.A., Gorbaticov A.V., Drobyshev V.N., Khubaev Kh.M., Nikolaev A.V. Velocities of Present-Day Horizontal Movements in the Central Sector of the Greater Caucasus according to GPS Observations and Their Relation to Tectonics and the Deep Structure of the Earth's Crust // Doklady Earth Sciences. – 2018. – Vol. 481. Part. 1. – Pp. 879–882.

CHARACTERISTICS OF MODERN HORIZONTAL MOVEMENTS IN THE CENTRAL SECTOR OF THE GREATER CAUCASUS ACCORDING TO GPS OBSERVATIONS DATA AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE NEWEST TECTONICS AND DEEP STRUCTURE OF THE CRUST

© 2018 E.A. Rogozhin^{1,3}, Sc. Doctor (Geol.-Min.), Prof., V.K. Milyukov²,
Sc. Doctor (Phys.-Math.), Prof., A.P. Mironov², A. N. Ovsyuchenko¹, Sc.
Candidate (Geol.-Min.), A.V. Gorbatikov¹, Sc. Candidate (Phys.-Math.)

¹Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS, Russia, 123995, Moscow,
Bolshaya Gruzinskaya Str., 10/1;

²Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Russia, 119234,
Universitetsky pr., 13;

³Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz,
Markov Str., 93a, e-mail: eurog1947@yandex.ru

The article highlights the results of the first performed GPS-measurements along the geodetic profile crossing all the main geological structures in the Ossetian region of the greater Caucasus. The interpretation of the measurement results was performed in comparison with the results of neotectonic studies and data on the deep structure. The maximum decrease in the current transverse velocity of compression rates is recorded in the area of the highest rise to the earth's surface of the low quality volume of the earth's crust, which has a bursting effect on the entire mountain structure. The presence of significant transverse displacements of the surface reflects the shear component along the largest faults of the Caucasian strike. The previously predicted significant decrease in the rate of horizontal movements at the end of the aftershock process of the catastrophic Racha earthquake of 1991 on the southern slope of the greater Caucasus was fully confirmed.

Key words: tectonics, crust, Greater Caucasus.

References

1. Belousov V.V. Osnovy geotektoniki [Basics of geotectonics]. M.: Nedra, 1989. 382 p. (in Russian)
2. Gorbatikov A.V., Rogozhin E.A., Stepanova M.Ju., Harazova Ju.V., Andreeva N.V., Perederin F.V., Zaalishvili V.B., Mel'kov D.A., Dzeranov B.V., Dzeboev B.A., Gabaraev A.F. Osobennosti glubinnogo stroenija i sovremennoj tektoniki Bol'shogo Kavkaza v Osetinskom sektore po kompleksu geofizicheskikh dannyh [Features of the deep structure and modern tectonics of the Greater Caucasus in the Ossetian sector on a complex of geophysical data]. Fizika Zemli. 2015. No.1. Pp. 3–14. (in Russian)
3. Milyukov V.K., Mironov A.P., Steblov G.M., Shevchenko V.I., Kusraev A.G., Drobyshev V.N., Hubaev H.M. Sovremennye gorizontaľnye dvizhenija osnovnyh jelementov tektonicheskoi struktury Osetinskoj chasti Bol'shogo Kavkaza po GPS-izmerenijam [Modern horizontal movements of the main elements of the tectonic structure of the Ossetian part of the Greater Caucasus using GPS measurements]. Fizika Zemli. 2015. No.4. Pp. 68–80. (in Russian)
4. Pavlenkova G.A. Stroenie zemnoj kory Kavkaza po profiljam GSZ Stepnoe – Bakuriani i Volgograd – Nahichivan' (rezul'taty pereinterpretacii pervichnyh dannyh) [The structure of the Earth's crust of the Caucasus according to the DSS profiles Stepnoe

- Bakuriani and Volgograd - Nakhchivan (the results of the reinterpretation of primary data)]. *Fizika Zemli*. 2012. No.4. Pp. 1–10. (in Russian)

5. Prilepin M.T., Balasanjan S., Baranova S.M., Guseva T.V., Mishin A.V., Nadarija M., Rogozhin E.A., Rozenberg N.K., Skovorodkin Ju.P., Hamburger M., King R., Rejlinger R. *Izuchenie kinematiki Kavkazskogo regiona s ispol'zovaniem GSP tehnologii* [The study of the kinematics of the Caucasus region with the use of GSP technology]. *Fizika Zemli*. 1997. No.6. Pp. 68–75. (in Russian)

6. Rogozhin E.A., Ovsjuchenko A.N., Lutikov A.I., Sobisevich A.L., Sobisevich L.E., Gorbatikov A.V. *Jendogennye opasnosti Bol'shogo Kavkaza* [Endogenous hazards of the Greater Caucasus]. M. IFZ RAN, 2014. 256 p. (in Russian)

7. Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S.C. *Introduction to GAMIT/GLOBK*. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. – 2010. – 54 p.

8. Milyukov V.K., Mironov A.P., Ovsyuchenko A.N., Rogozhin E.A., Gorbatikov A.V., Drobyshev V.N., Khubaev Kh.M., Nikolaev A.V. *Velocities of Present-Day Horizontal Movements in the Central Sector of the Greater Caucasus according to GPS Observations and Their Relation to Tectonics and the Deep Structure of the Earth's Crust* // *Doklady Earth Sciences*. – 2018. – Vol. 481. Part. 1. – Pp. 879–882.