

СОЗДАНИЕ ВЫСОКОТОЧНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ВЛАДИКАВКАЗСКОЙ РАЗЛОМНОЙ ЗОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GPS-ТЕХНОЛОГИЙ

В.К. Милюков¹, В.Н. Дробышев², А.П. Миронов³,
А.Н. Овсяченко⁴, Х.М. Хубаев⁵

Аннотация. Зона Владикавказского глубинного разлома представляет собой региональную границу между альпийским складчато-глыбовым сооружением Большого Кавказа и Предкавказским прогибом (Осетинской впадиной). Изучение современных движений земной коры в контактных зонах и разломных структурах имеет важнейшее значение как для правильного понимания современной динамики литосферных плит и блоков, так и для понимания глубинных сил и внутренних процессов, управляющих их эволюцией. В 2014 г. в рамках реализации плана научно-исследовательских работ ВНЦ РАН и РСО-А и проекта РФФИ по изучению современной геодинамики и глубинного строения зоны Владикавказского разлома были проведены работы по созданию геодезической сети для мониторинга состояния данной структуры с использованием средств спутниковой геодезии. В статье представлены результаты проведенных работ.

Ключевые слова: спутниковая геодезия, GPS-измерения, современные движения земной коры, региональные тектонические процессы.

ВВЕДЕНИЕ

Большой Кавказ в целом и Осетинский регион в частности входят в состав Альпийско-Гималайского подвижного пояса, характеризующегося активной новейшей тектоникой. Этот сложный с геодинамической точки зрения регион традиционно рассматривается как результат взаимодействия двух крупных литосферных плит – Евразийской и Аравийской. Зона Владикавказского глубинного разлома представляет собой региональную границу между альпийским складчато-глыбовым сооружением Большого Кавказа и Предкавказским прогибом (Осетинской впадиной). Выразительные деформации молодых отложений и отчетливое проявление зоны Владикавказского разлома на глубине позволяют уверенно считать ее крупной сейсмогенерирующей структурой [1].

Изучение современных движений земной коры в контактных структурных зонах имеет важнейшее значение как для правильного понимания современной динамики литосферных плит и блоков, так и для понимания глубинных сил и внутренних процессов, управляющих их эволюцией. Изучение литосферных контактных зон и разломных структур также важно и актуально для оценки и прогноза сейсмической и вулканической опасности конкретного региона. В настоящее время одним из основных измерительных средств при решении самых разнообразных задач современной геодинамики является GPS. Система глобального позиционирования позволяет изучать движения и процессы деформирования на всех масштабных уровнях, как в

пределах отдельных горных сооружений, так и глобальных перемещений литосферных плит.

В 2014 г. в рамках реализации плана научно-исследовательских работ Владикавказского научного центра РАН и РСО-А и проекта РФФИ по изучению современной геодинамики и глубинного строения зоны сочленения Большого Кавказа и Осетинской впадины в зоне Владикавказского разлома были проведены работы по созданию геодезической сети для мониторинга состояния данной структуры с использованием средств спутниковой геодезии.

СОЗДАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ. ПЕРВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

В начале работ были проведены геологические исследования с целью выбора мест размещения пунктов для проведения периодически повторных GPS-наблюдений. В результате были выбраны места для установки 8 пунктов геодезической сети.

Карта положения ветвей Владикавказской разломной зоны и пункты сети представлены на рис. 1. По общепринятому стандарту наименования станций в GPS-наблюдениях пунктам присвоены 4-значные коды (табл. 1). Первые три буквы кода VRP (владикавказский репер) для всех пунктов повторяются, отличается последний, четвертый, символ, который изменяется в алфавитном порядке (А, В, С, ..., Н) от пункта к пункту.

Пункты расположены по двум профилям: А-В-С-Д и Е-Ф-Г-Н. Каждый из профилей расположен на центральном фланге зоны разлома, с целью

¹ Милюков В.К. – д. ф.-м. н. МГУ им. М.В. Ломоносова, зав. лаб. Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга (vmilyukov@yandex.ru).

² Дробышев В.Н. – сотрудник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А

³ Миронов А.П. – м. н. с. МГУ им. М.В. Ломоносова, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга.

⁴ Овсяченко А.Н. – ст. н. с. Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта.

⁵ Хубаев Х.М. – сотрудник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А

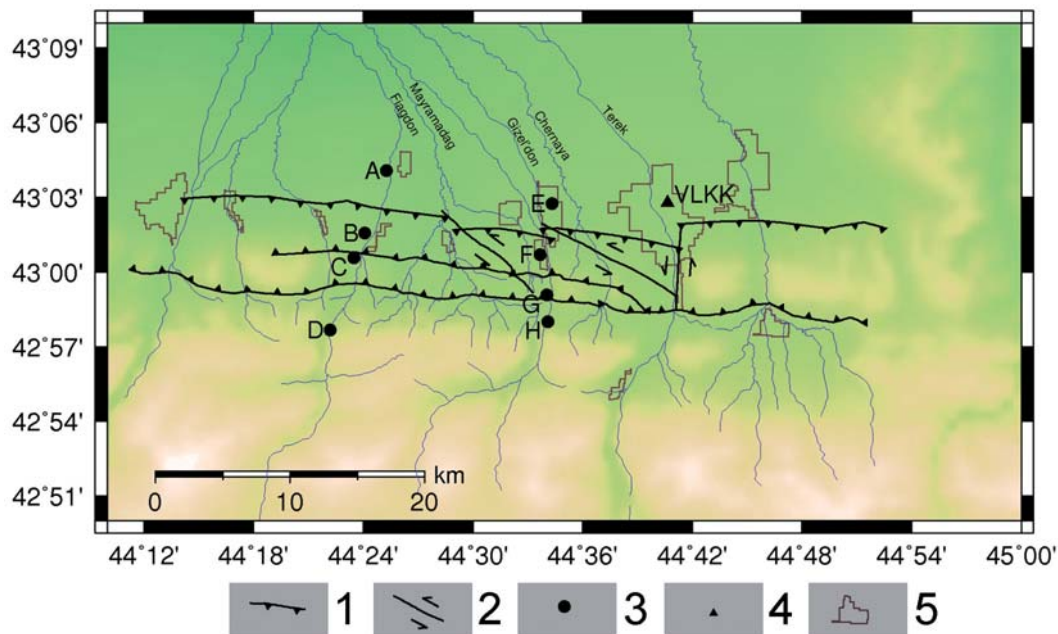


Рис. 1. Карта положения ветвей Владикавказской разломной зоны

1 – активные взбросы (берштрихи направлены в сторону поднятого крыла); 2 – предположительно активные разломы (сдвиги); 3 – полевые пункты GPS-измерений; 4 – постоянная станция GPS-наблюдений во Владикавказе (VLKK); 5 – границы населенных пунктов

исключения влияния соседних структур, в частности Ардонского глубинного разлома. В пределах профилей пункты установлены с учетом внутреннего устройства разломной зоны. Так, пункты С, D и F, G заложены на сводах приразломных антиклинальных складок, сопровождающих южную и среднюю ветви Владикавказского разлома. Краевые пункты наблюдений (А, Е) выведены из зоны влияния разлома, с целью исключения внутриразломных движений. В дальнейших работах планируется заложить дополнительные профили на периферических участках Владикавказской разломной зоны.

Почти для всех пунктов места выбраны на пологой поверхности высоких надпойменных террас рек Фиагдон и Гизельдон, в условиях, исключающих развитие склоновых процессов. Единственное исключение составляет пункт D, который, за неимением других мест, размещен на дорожной полке. Для заложения реперов выбраны стабильные основания с массивным фундаментом, исключающим самопроизвольные колебания.

Создание геодезического пункта заключается в установке металлического геодезического маркера, который засверливают и цементируют в скальной породе. Свободный конец маркера имеет резьбовое крепление, на которое через штатив устанавливается GPS-антенна, что позволяет проводить многократные (периодически повторные) измерения на пункте без предварительных юстировочных работ. Геодезические

маркеры изготовлены по образцам, используемым в европейских сетях GPS-наблюдений. Техническую базу проведения полевых измерений составляют два комплекта двухчастотных приемников Javad Lexion-GGD112T (L1/L2 GPS/GLONASS) с антеннами MarAnt+.

Технология измерений состоит в следующем. Антенна, приемник и источник питания монтируются на пункте, и в течение нескольких полных суток по времени UT (по Гринвичу) ведутся непрерывные наблюдения. Такая длительность позволяет получить высокоточные значения координат с погрешностями порядка 1 мм. По окончании измерений систему демонтируют, а накопленные данные из приемника переносят в персональный компьютер. Оборудование перевозят на следующий пункт. При возможности доступа в Интернет результаты наблюдений с персонального компьютера копируются на сервер Комплекса хранения и обработки астрономических данных ГАИШ МГУ для дальнейшей обработки и хранения.

Во Владикавказе в течение нескольких лет действует постоянная станция GPS-наблюдений с кодом VLKK [4]. Станция расположена вблизи восточной периферии северной ветви разлома. В дальнейшем совместная обработка результатов полевых измерений на пунктах сети и измерений на стационарной станции VLKK позволит получить более точную картину современных движений в зоне Владикавказского разлома.

Таблица 1

Измерения на полевых пунктах в 2014 году

код	но.	число	начало ¹	остановка ²	длительность ³
VRPA	1	2014/07/18	07:20	23:59	16:39
	2	2014/07/19	00:00	23:59	23:59
	3	2014/07/20	00:00	16:21	16:21
VRPB	1	2014/07/18	08:49	23:59	15:10
	2	2014/07/19	00:00	23:59	23:59
	3	2014/07/20	00:00	23:59	23:59
	4	2014/07/21	00:00	23:59	23:59
	5	2014/07/22	00:00	12:32	12:32
VRPC	1	2014/07/22	13:21	23:59	10:38
	2	2014/07/23	00:00	23:59	23:59
	3	2014/07/24	00:00	23:59	23:59
	4	2014/07/25	00:00	23:59	23:59
	5	2014/07/26	00:00	23:59	23:59
	6	2014/07/27	00:00	11:57	11:57
VRPD	1	2014/08/20	12:50	23:59	11:09
	2	2014/08/21	00:00	23:59	23:59
	3	2014/08/22	00:00	23:59	23:59
	4	2014/08/23	00:00	23:59	23:59
	5	2014/08/24	00:00	23:59	23:59
	6	2014/08/25	00:00	23:59	23:59
	7	2014/08/26	00:00	09:59	09:59
VRPE	1	2014/07/27	14:07	23:59	09:52
	2	2014/07/28	00:00	23:59	23:59
	3	2014/07/29	00:00	23:59	23:59
	4	2014/07/30	00:00	23:59	23:59
	5	2014/07/31	00:00	15:20	15:20
VRPF	1	2014/09/06	09:29	23:59	14:30
	2	2014/09/07	00:00	23:59	23:59
	3	2014/09/08	00:00	23:59	23:59
	4	2014/09/09	00:00	12:23	12:23
VRPG	1	2014/09/06	10:23	23:59	13:36
	2	2014/09/07	00:00	23:59	23:59
	3	2014/09/08	00:00	23:59	23:59
	4	2014/09/09	00:00	12:42	12:42
VRPH	1	2014/07/27	12:53	23:59	11:06
	2	2014/07/28	00:00	23:59	23:59
	3	2014/07/29	00:00	23:59	23:59
	4	2014/07/30	00:00	23:48	23:48

1 – время начала записи по UT; 2 – время выключения приемника по UT; 3 – длительность записи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Измерения на полевых пунктах в 2014 году проводились в июле – сентябре месяцах. Для достижения ожидаемой точности порядка 1 мм по горизонтали непрерывность наблюдений на большинстве пунктов составляла не менее 2–3 полных суток. В таблице 1 представлены время и длительность непрерывных измерений на каждом из пунктов.

Координаты пунктов вычисляются из первичных GPS-данных, которые представляют собой наборы фазовых и кодовых измерений на двух

частотах с интервалом регистрации 30 сек. Для обработки GPS-наблюдений необходимо иметь отсчетную основу, состоящую из координат базовых (опорных) GPS-станций с хорошо известными координатами и скоростями смещения. В качестве опорных были использованы 24 станции мировой сети IGS (The International GNSS Service), покрывающие земную полусферу относительно зоны исследования. Выбранные опорные станции входят в реализацию международной общеземной отсчетной основы ITRF2008.

Для обработки результатов GPS-наблюдений используется пакет программ GAMIT/GLOBK [3].

Таблица 2

Декартовы координаты полевых пунктов с погрешностями определения в системе относительности ITRF2008 по измерениям 2014 года

код	но.	X (мм)	Y (мм)	Z (мм)	σ_X (мм)	σ_Y (мм)	σ_Z (мм)
VRPA	1	4794304310.26	3612424845.11	580563.33	3.46	2.98	10.87
	2	4794304309.22	3612424843.42	580578.75	3.57	3.17	11.02
	3	4794304307.35	3612424844.41	580571.96	3.43	3.25	10.84
VRPB	1	4789648116.35	3613350166.35	685028.53	4.44	3.69	14.82
	2	4789648118.79	3613350169.23	685028.24	4.22	3.70	13.86
	3	4789648117.87	3613350170.09	685021.41	3.92	3.46	12.80
	4	4789648122.36	3613350168.81	685020.13	3.69	3.26	12.10
	5	4789648118.75	3613350172.99	685018.61	4.76	4.13	16.12
VRPC	1	4787796140.21	3613546029.84	732881.17	5.44	4.26	19.13
	2	4787796137.53	3613546029.61	732889.53	4.09	3.53	13.87
	3	4787796137.09	3613546031.74	732888.62	4.14	3.59	14.04
	4	4787796137.26	3613546027.91	732890.23	4.24	3.63	14.50
	5	4787796138.03	3613546028.66	732887.83	4.37	3.75	14.95
	6	4787796140.53	3613546032.46	732898.62	5.60	5.33	19.61
VRPD	1	4782424153.24	3614660577.43	816080.10	6.53	5.68	28.51
	2	4782424153.87	3614660581.24	816079.35	4.53	4.56	17.80
	3	4782424151.78	3614660577.06	816061.67	4.57	4.58	18.23
	4	4782424149.14	3614660577.54	816066.93	4.82	4.80	18.93
	5	4782424152.75	3614660577.76	816074.76	4.27	4.34	16.67
	6	4782424153.60	3614660575.76	816061.27	5.08	4.93	20.88
	7	4782424151.93	3614660577.10	816061.77	6.58	7.26	27.63
VRPE	1	4791846034.67	3626066472.52	646559.52	5.94	4.39	20.59
	2	4791846032.91	3626066473.14	646554.85	4.04	3.43	13.42
	3	4791846037.53	3626066473.73	646549.10	4.01	3.39	13.15
	4	4791846034.93	3626066473.42	646544.80	4.11	3.46	13.49
	5	4791846034.25	3626066475.49	646562.31	4.93	4.48	16.89
VRPF	1	4788037986.45	3627226953.88	750699.89	3.63	3.13	11.58
	2	4788037977.53	3627226952.76	750704.78	3.34	3.08	10.50
	3	4788037975.41	3627226948.86	750717.56	3.53	3.22	11.17
	4	4788037977.46	3627226953.46	750718.98	4.77	4.52	16.14
VRPG	1	4785041987.81	3629246171.88	834879.48	5.42	4.17	20.25
	2	4785041976.91	3629246168.21	834872.53	4.47	3.83	16.08
	3	4785041972.42	3629246167.36	834885.31	4.55	3.92	16.58
	4	4785041971.13	3629246168.75	834881.21	6.00	5.42	24.52
VRPH	1	4783038495.31	3630502810.19	799686.15	4.19	3.44	13.53
	2	4783038493.89	3630502807.69	799692.80	3.06	2.81	9.59
	3	4783038494.20	3630502807.87	799695.58	3.23	2.92	10.27
	4	4783038493.44	3630502808.94	799692.71	3.29	2.97	10.44

Данный пакет является общепринятой рабочей программой для партнеров в рамках сотрудничества по международному проекту МЕСМО (Middle East/Mediterranean Crustal Motion Observatory). Для построения карты использовался пакет программ The Generic Mapping Tools (GMT) и топографическая основа ГТОРО30. Разломные структуры, приведенные на *рис. 1*, отцифрованы из [2].

Результаты обработки посуточных наблюдений представлены в *табл. 2* и сводные результаты по нескольким суткам – в *табл. 3*. Точность определения координат для боль-

шинства пунктов составляет 1,5–1,9 мм по горизонтали. Для пунктов VRPA, VRPE и VRPG погрешности горизонтальных координат больше. Обусловлено это рядом причин. Первая из них – это длительность наблюдений, вторая – условия размещения пунктов. Как видно из *табл. 1*, на пункте VRPA длительность непрерывных измерений составила лишь одни целые сутки по UT. Но даже на такой длительности при обработке удалось получить точности, близкие к 2 мм. На пунктах VRPE и VRPG длительность наблюдений была соответственно 2 и 3 полных суток. Но полученные оценки точ-

ностей горизонтальных координат составляют 2 мм. Это говорит о том, что условия размещения пунктов осложнены и в дальнейшем, при повторных измерениях, на них нужно будет увеличить время наблюдений.

Точность определения вертикальной компоненты варьируется в пределах 6–9 мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате полевых работ в 2014 году в зоне Владикавказского разлома была создана сеть геодезических пунктов для проведения периодически повторных GPS-измерений. Геодезическая сеть, в настоящее время состоящая из 8 пунктов, пересекает Владикавказский разлом по двум профилям, проходящим вдоль рек Фиагдон и Гизельдон. На пунктах проведена первая измерительная кампания. Результаты измерений обработаны, получены высокоточные значения координат пунктов с погрешностями 1,5–2 мм по

горизонтали и 6–9 мм по вертикали. Повторные измерения на пунктах, планируемые через год, позволят получить первые оценки скоростей современных движений в зоне Владикавказского разлома. В следующем году также планируется создание профиля вдоль реки Терек. Оценки скоростей современных движений зоны Владикавказского разлома вместе с результатами микросейсмического зондирования позволят в будущем получить детальное представление о геодинамической обстановке и глубинном строении изучаемой тектонической структуры.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-45-01005 и гранта Министерства образования и науки Республики Северная Осетия-Алания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овсюченко А.Н., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Ларин Н.В., Рогожин Е.А. Сейсмоструктура и глубинное строение зоны Владикавказского активного разлома. // ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. Том 12, 2011, № 1, с. 47–59.
2. Ольховский Г.П., Тиболов С.М., Троцак С.А., Киричко Ю.А., Энна Н.Л., Письменный А.Н., Фисенко Н.С., Икаева Н.Н., Мулина И.Г. Составление специализированной геологической основы масштаба 1:50 000 для прогнозно-металлогенической карты Горной Осетии. – Владикавказ:

ГПП «Севосгеологоразведка», 1998.

3. Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. Introduction to GAMIT/GLOBK. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. 2010.
4. Milyukov V., Kopaev A., Zharov V., Mironov A., Myasnikov A., Kaufman M., Duev D. Monitoring crustal deformations in the Northern Caucasus using a high precision long base laser strainmeter and the GPS/GLONASS network // Journal of Geodynamics, 2010 (49), pp. 216–223. DOI:10.1016/j.jog.2009.10.003

IMPLEMENTATION OF THE HIGH-PRECISION GEODETIC NETWORK FOR STUDYING OF MODERN MOVEMENTS OF THE VLADIKAVKAZ FAULT ZONE WITH USE OF GPS TECHNOLOGY

Milyukov V.K.¹, Drobishev V.N.², Mironov A.P.¹, Ovsyuchenko A.N.³, Hubaev H.M.²

¹ Lomonosov Moscow State University, Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia. (milyukov@sai.msu.ru)

² Vladikavkaz Scientific Center of Russian Academy of Science and Republic of North Ossetia-Alania, Vladikavkaz, Russia

³ Institute of Physics of the Earth of Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Abstract. The Vladikavkaz Fault Zone is a regional boundary between the Alpine folded-block system of the Great Caucasus and the Pre-Caucasus foredeep (Ossetian depression). Studying of modern crust movements in contact zones and the fault structures is essential both for the correct understanding of modern dynamics of earth's plates and blocks, and deep forces and internal processes, managing their evolution. In 2014 within realisation of the plan of research works of VNC of RAS- Government RSO-Alania and the project of the RFBR on studying of modern geodynamics and a deep structure of the The Vladikavkaz Fault Zone the geodetic network for monitoring of the state of this structure with use of satellite geodesy technology has been created. Results are presented in this paper.

Keywords: satellite geodesy, GPS measurements, modern earth crust motion, regional tectonic processes.