

УДК 528.2, 551.24, 550.34
DOI: 10.23671/VNC.2016.3.20830

ВОПРОСЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПРИМЕРЕ ВЛАДИКАВКАЗСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗНОГО ПОЛИГОНА

© 2016 В.Б. Заалишвили¹, д.ф.-м.н., проф., Т.В. Гусева², к.т.н.,
Н.К. Розенберг², Д.А. Мельков¹, к.т.н.

¹Геофизический институт ВНЦ РАН, Россия, 362002,
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru;
²Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, Россия, 123995,
г. Москва, ул. Б. Грузинская, 10/1

В статье рассмотрены вопросы организации геодезического мониторинга для прогноза землетрясений на примере Владикавказского геодинимического прогнозного полигона. Основными элементами системы являются деформационно-геодезические прогнозные профили, ортогонально пересекающие сейсмогенный разлом и включающие 25 закрепленных пунктов, на которых возможно выполнять высокоточные геодезические измерения как методами наземной, так и методами космической геодезии. Практическая реализация измерений методами космической геодезии включает выбор оптимальной продолжительности регистрации спутниковых сигналов на каждом из пунктов, интервала записи и периодичности проведения измерений, отвечающих требованиям обеспечения точности и зависящих от имеющейся в распоряжении материально-технической базы и ресурсов.

Ключевые слова: мониторинг, геодезия, GPS/ГЛОНАСС, режим регистрации, точность, разлом, прогноз, землетрясение, Северная Осетия, полигон.

Столица Северной Осетии – г. Владикавказ, расположена в одной из наиболее сейсмоопасных зон Северного Кавказа, что требует специального контроля за безопасностью [Zaalishvili, Rogozhin, 2011; Заалишвили и др., 2011в]. Южная граница города находится всего лишь в нескольких километрах от северной ветви Владикавказской разломной зоны (рис. 1). Инструментальными наблюдениями последних лет в этой зоне зарегистрированы землетрясения с магнитудой лишь до пяти, однако существуют оценки потенциальной возможности возникновения здесь более сильных событий. Согласно выполненным в последние годы детальным сейсмотектоническим исследованиям с применением тренчинг метода установлено, что этот разлом порождал в прошлом землетрясения с магнитудой около семи [Рогожин, 2011; Рогожин и др., 2011; Горбатиков и др., 2011; Zaalishvili, Rogozhin, 2011]. Разлом в настоящее время является тектонически активным, поэтому достаточно велика вероятность порождения им сейсмических катастроф.

С учетом изложенных обстоятельств: расположение г. Владикавказа в опасной близости от сейсмогенного разлома и возможное появление в этом разломе зоны сейсмического затишья являются более чем достаточным обоснованием для создания на Владикавказском разломе системы наблюдений, способной ответить на вопрос: готовится или нет в этой зоне очаг, способный породить сильное землетрясение [Заалишвили и др., 2011а, б].

Основными элементами такой системы являются деформационно-геодезические прогнозные профили, ортогонально пересекающие сейсмогенный разлом.

Развитие Владикавказского геодинамического прогнозного полигона

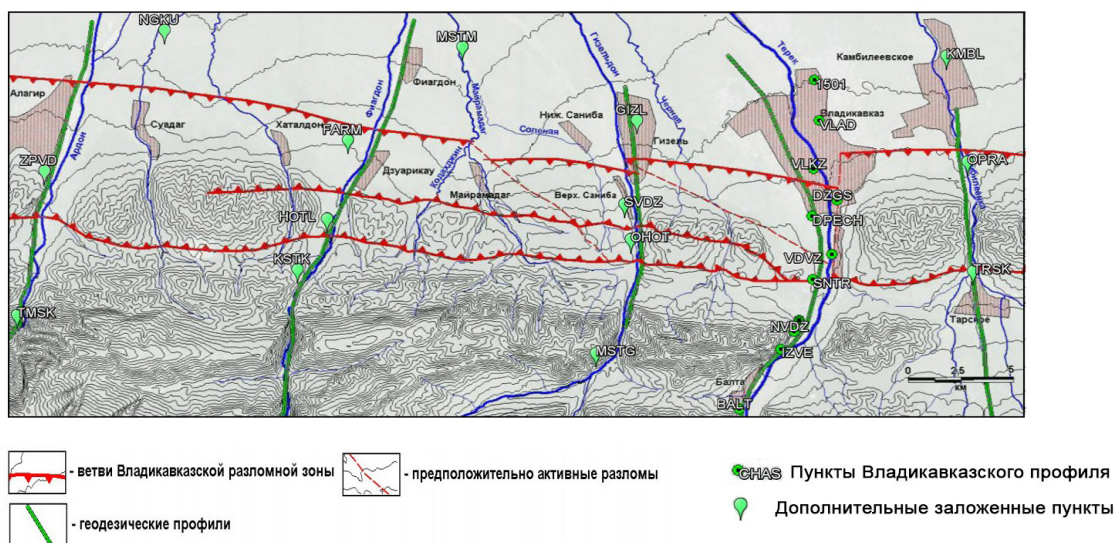


Рис. 1. Расположение пунктов Владикавказского геодинамического прогнозного полигона в зоне Владикавказской разломной зоны

Длины таких профилей должны быть сопоставимы с шириной очагов сильных землетрясений – первые десятки километров. С целью достоверного определения вида измеряемых деформаций профили должны быть оснащены достаточным для этой цели количеством пунктов наблюдений [Певнев, 1988, 2003, 2009, 2016]. Есть основания считать, что максимальное расстояние между смежными пунктами профиля не должно превышать один километр. Однако вблизи центральной части разломной зоны, где при подготовке очага землетрясения накопление деформаций упругого изгиба происходит наиболее интенсивно (по экспоненциальному закону), расстояния между пунктами наблюдений целесообразно сокращать до 500 м.

Размещение профилей показано на рис. 1. Деформационно-геодезическая основа Владикавказского прогнозного полигона состоит из пяти геодезических прогнозных профилей, пересекающих Владикавказский сейсмогенный разлом [Певнев и др., 2014]. По условиям рельефа (транспортная доступность пунктов наблюдений) указанные профили расположены в долинах рек Ардон, Фиагдон, Гизельдон, Терек и Камбилеевка.

Каждый профиль должен быть закреплен на местности геодезическими пунктами, на которых возможно выполнять высокоточные геодезические измерения как методами наземной, так и методами космической геодезии. Так как Владикавказский разлом является надвигом, т. е. в нем имеют место достаточно выраженные как горизонтальные так и вертикальные смещения, то и геодезические наблюдения должны обеспечить надежные измерения обеих указанных компонент смещений.

Для практической реализации измерений на пунктах требуется выбор оптимальной продолжительности записи, интервала записи и периодичности проведения измерений, отвечающих требованиям обеспечения точности и экономической целесообразности.

Воспользуемся значениями требуемой точности измерений в зависимости от магнитуды готовящегося землетрясения, приводимой в работе А.К. Певнева [2003]. Если не иметь в виду максимально быстрое обнаружение готовящегося очага землетрясения, а лишь сам факт его подготовки, то в этом случае определяющим фактором является максимальная энергия прогнозируемого очага, так как именно этим

определяется величина упругих сейсмогенных смещений горных пород в очаге. Указанное обстоятельство позволяет для обнаружения разнокалиберных очагов использовать геодезические методы разной точности. Если целью является обнаружение очагов, способных породить землетрясение с магнитудой около 5, максимальное упругое смещение для которого составляет 3–5 см, то в этом случае можно считать достаточным определение смещений пунктов на базах около 1 км с точностью до 3–5 мм. Для магнитуды 6 достаточная точность составит 2–3 см, а для магнитуды 7 – примерно 10–20 см [Певнев, 2003].

Таким образом, сеть должна обеспечивать точность измерений не менее 3 мм, для регистрации смещений готовящегося землетрясения магнитудой 5 и выше, способного вызвать в эпицентральной зоне интенсивность до 8 баллов (в зависимости от глубины очага), принятой нормативной для средних грунтовых условий территории г. Владикавказа для 5%-ой вероятности превышения [Заалишвили и др., 2011в].

Для основного профиля была выполнена оценка точности измерений (табл. 1), на рис. 2–3 приведена зависимость точности от длительности наблюдений с использованием только GPS (GPS) и совместного использования GPS/ГЛОНАСС (GG). Непрерывная регистрация осуществлялась станцией VLAD, наблюдения на пунктах осуществлялись приемниками GB-1000 с антеннами PG-A1 и HiPer+, интервал записи составлял 30 с.

Таблица 1

**Ошибки определения координат: геоцентрических dX, dY, dZ
и географических dN (север-юг), dE (восток-запад), dU
(эллипсоидальная высота)**

Точка	Длительность	GPS						GPS+ГЛОНАСС					
		dX, мм	dX, мм	dY, мм	dZ, мм	dN, мм	dE, мм	dU, мм	dY, мм	dZ, мм	dN, мм	dE, мм	dU, мм
BALT	7,37	3,4	2,4	2,8	3,5	1,1	1,0	4,9	3,4	4,5	1,5	1,6	6,2
BDUD	6,08	13,3	6,7	8,0	7,1	2,5	2,3	12,1	11,7	11,7	3,6	7,0	19,7
CHAS	6,89	3,7	2,9	3,8	3,8	1,1	1,4	5,8	4,7	4,7	1,5	1,7	7,3
DPE4	6,93	2,4	2,0	2,1	2,5	0,9	0,8	3,6	2,4	2,8	1,1	1,0	4,1
DZGS	4,27	5,2	3,4	3,0	3,7	1,2	1,6	5,5	4,4	5,6	1,8	1,8	8,4
IZVE	6,87	4,9	3,4	5,4	5,5	1,1	1,9	8,2	8,0	8,1	1,6	2,8	12,0
SNTR	7,35	2,5	1,9	1,9	2,4	0,8	0,8	3,4	2,6	2,9	1,2	0,9	4,4
VDVZ	8,66	2,3	1,9	1,9	2,4	0,8	0,8	3,5	2,4	2,9	1,1	0,9	4,2

Используя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Продолжительность выполненных измерений, достаточная для обеспечения требуемой точности регистрации землетрясений магнитудой 5 и выше составляет 8 часов (обеспечивая точность определения горизонтальных координат 2 мм и вертикальных – 5 мм).

2. Совместное использование GPS+ГЛОНАСС повышает точность определения горизонтальных координат приблизительно в два раза при продолжительности наблюдений 6 часов; для 8-часовой записи ошибки уменьшаются в 1,5 раза.

Данные получены для основного профиля Владикавказского геодинамического прогнозного полигона, учитывая топографические и местные особенности расположения пунктов, для других систем регистрации данные могут отличаться от приведенных в работе.

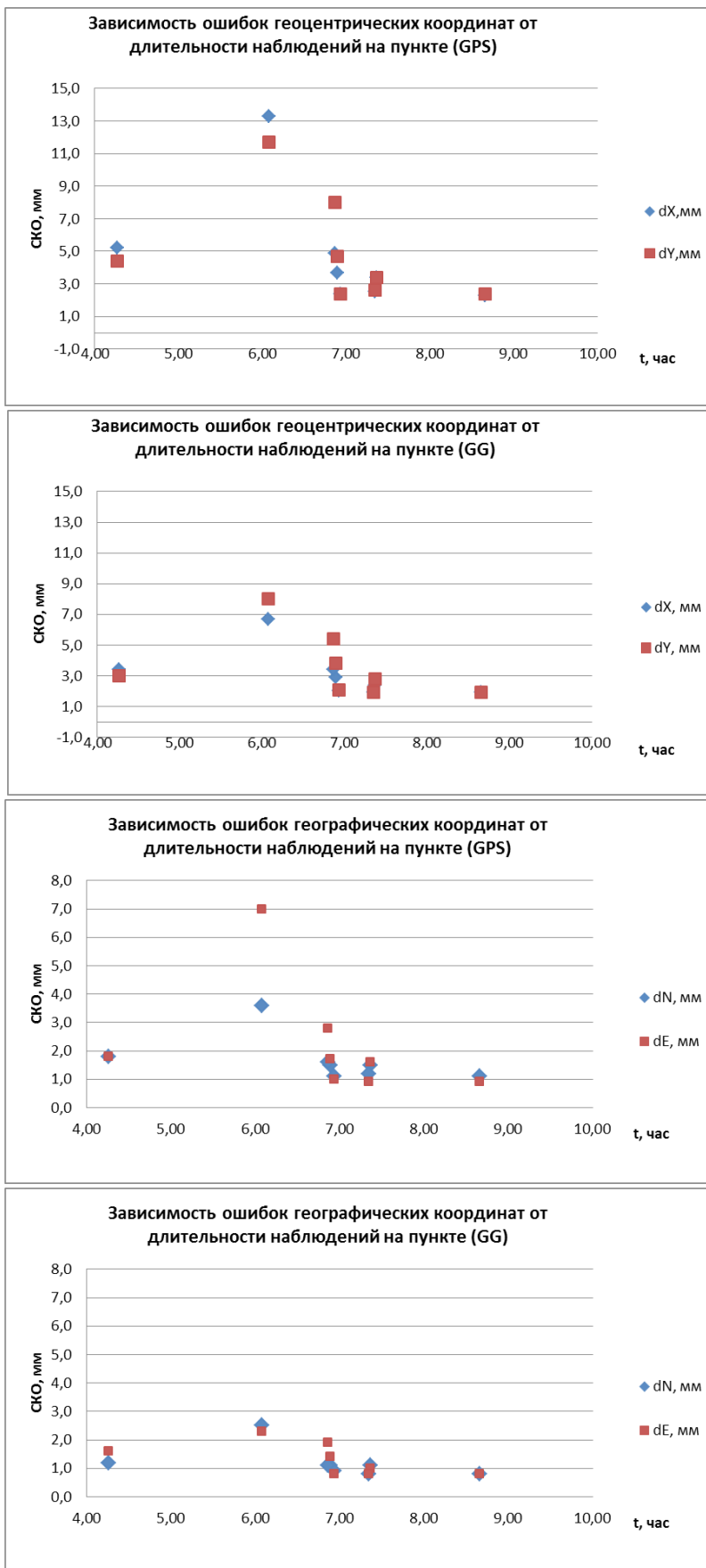


Рис. 2. Зависимость ошибок определения горизонтальных координат от длительности измерений

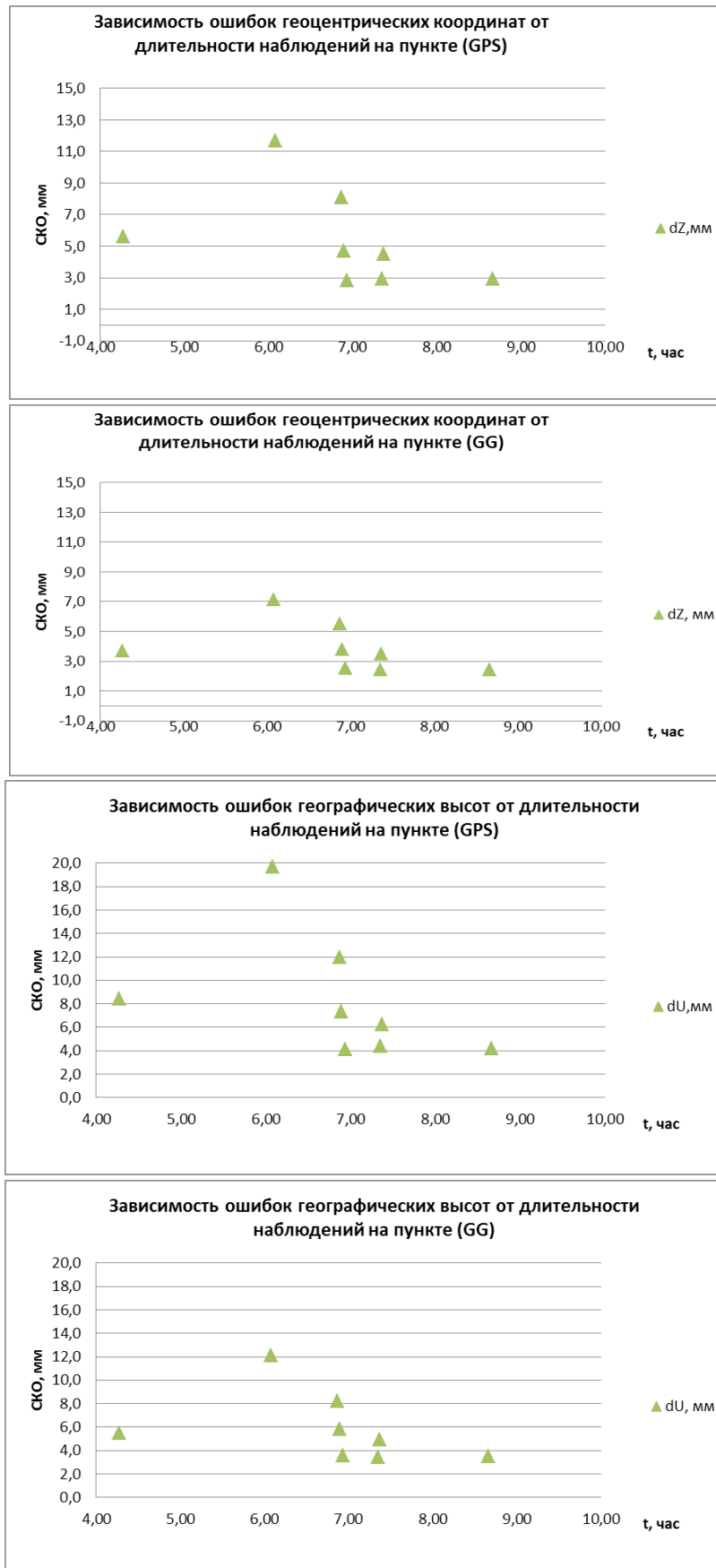


Рис. 3. Зависимость ошибок определения вертикальных координат от длительности измерений

Литература

1. Горбатиков А.В., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Ларин Н.В. Структура зоны Владикавказского разлома по результатам изучения комплексом геолого-геофизических методов. Геофизические исследования. – 2011. – Т. 37. №3. – С. 47–57.
2. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Кануков А.С. Развитие сетей GPS/ГЛОНАСС наблюдений на территории Республики Северная Осетия-Алания // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 10-летию со дня основания КНИИ РАН «Наука и образование в Чеченской республике: состояние и перспективы развития», 7 апреля 2011 г., КНИИ РАН. – 2011а. – С. 325–327.
3. Заалишвили В.Б., Певнев А.К., Рогожин Е.А. О геодезическом мониторинге для прогноза землетрясений на Северном Кавказе (на примере Владикавказского прогнозного полигона) // Геология и геофизика Юга России. – 2011б. – №2. – С. 33–40.
4. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф. Оценка сейсмической опасности территории и построение вероятностных карт // Геология и геофизика Юга России. – 2011 в. – №1. – С. 48–59.
5. Певнев А.К. Прогноз землетрясений – геодезические аспекты проблемы // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1988. – №12. – С. 88–98.
6. Певнев А.К. Пути к практическому прогнозу землетрясений. М.: ГЕОС, 2003. 153 с.
7. Певнев А.К. О причинах кризиса в проблеме прогноза землетрясений и месте геодезического мониторинга в ее решении // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2009. – №8. – С. 79–87.
8. Певнев А.К., Заалишвили В.Б., Мельков Д.А. О модернизации геодезических исследований на Владикавказском геодинамическом прогножном полигоне // Геология и геофизика Юга России. – 2014. – Т. 2. №4. – С. 84–90.
9. Певнев А.К. О реальном пути к осуществлению прогноза землетрясений // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – №1. – С. 102–131.
10. Рогожин Е.А., Иогансон Л.И., Завьялов А.Д. и др. Потенциальные сейсмические очаги и сейсмологические предвестники землетрясений – основа реального сейсмического прогноза. /Отв. ред. А.О. Глико. – М.: ООО «Светоч Плюс», 2011. – 368 с.
11. Рогожин Е.А. Методы сейсмотектоники в изучении очагов сильных землетрясений и прогнозе сейсмоопасности. Лекция // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы Второй молодежной тектонофизической школы-семинара. 17–21 октября 2011 г. Москва, ИФЗ РАН. – М.: ИФЗ, 2011. – Т. 2. – С. 147–155.
12. Zaalishvili V.B., Rogozhin E.A. Assessment of Seismic Hazard of Territory on Basis of Modern Methods of Detailed Zoning and Seismic Microzonation // The Open Construction and Building Technology Journal. – 2011. – 5. – Pp. 30–40.

DOI: 10.23671/VNC.2016.3.20830

THE PRACTICAL IMPLEMENTATION OF GEODETIC MONITORING THE EXAMPLE VLADIKAVKAZ GEODYNAMIC LOOKING RANGE

© 2016 V.B. Zaalishvili¹, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., T.V. Guseva² Sc. Cand. (Tech.), N.K. Rozenberg², D.A. Melkov¹, Sc. Cand. (Tech.)

¹Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov street, 93a,
e-mail: cgi_ras@mail.ru;

²Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Russia,
123995, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya str., 10/1

The article deals with the organization of geodetic monitoring for earthquake prediction by the example of Vladikavkaz forecast geodynamic polygon. The main elements of the system are surveying the deformation forecast profiles, orthogonally crossing the seismogenic fault and including 25 fixed points, where is possible to perform high-precision geodetic measurements as a method of land and space geodesy techniques. Practical implementation of the measurement of space geodesy techniques includes selecting the optimal duration of the registration of satellite signals at each of the points, recording interval and frequency of measurements, meet the requirements of accuracy and depending on the available material and technical base and resources.

Keywords: monitoring, surveying, GPS/GLONASS, recording mode, accuracy, fault forecast, earthquake, North Ossetia, a polygon.