

Изучение геодинамики горной Осетии в 2009–2011 гг.

(мероприятия ВЦ РАН и РСО-А)

В.К. Милюков*, **В.Н. Дробышев****, **М.З. Торчинов*****, **Х.М. Хубаев******

Северный Кавказ в целом и территория Горной Осетии в частности относятся к Альпийско-Гималайской геосинклинальной области, являющейся самой молодой частью Средиземноморского геосинклинального пояса с активной неотектоникой. Этот сложный, с геодинамической точки зрения, регион ассоциируется с взаимодействием четырех крупных литосферных плит – Евразийской, Аравийской, Африканской и Иранской. Кроме этого, в настоящее время принято считать, что под Кавказом имеется поднятие мантийного вещества восходящими потоками глубинных флюидов. Данные геологические процессы формируют современное состояние тектоники региона с характерным образованием складчатости, систем разломов, вулканизмом, повышенной сейсмичностью и активными движениями блоков земной коры.

Вне зависимости от того или иного подхода к интерпретации тектонической структуры Кавказа, не вызывает сомнения то, что формирование этой горной системы связано, в первую очередь, с напряжениями субгоризонтального сжатия, ориентированными в крест ее простирания. Изучение механизмов очагов землетрясений региона показывает, что и на современном этапе развития такие напряжения играют определяющую роль в процессе горообразования и поведения сейсмической активности.

По имеющимся данным о повторяемости сильных землетрясений, Закавказье, включая Горную Осетию, является одним из наиболее активных регионов. Согласно карте ОСР-97, высока вероятность, что этот регион может быть подвержен сильнейшим сейсмическим событиям, достигающим 8–9 баллов по шкале MSK-64.

В исследуемом регионе Горной Осетии морфологически выделяют 4 района, в направлении с юга-запада на северо-восток, разделенных ярко выраженными структурными крупномасштабными неоднородностями (рис. 1).

Центральный район – Северо-Кавказская ступень (Зона II), имеет субгоризонтальное простирание, зонально ориентированное с северо-запада на юго-восток. Геологически Северо-

Кавказская ступень представлена толщей сланцев, образующих коробчатые и ступенчатые складки. Основная особенность этих элементов – связность нарушений и резкие переходы от пологого залегания пород в своде складок к крутым, иногда почти вертикальным крыльям.

С юго-запада Северо-Кавказская ступень испытывает компрессию от надвига Закавказского срединного массива – Грузинской глыбы (Зона I), сложенной твердыми сильнометаморфизованными породами основного состава, сформированными на фоне вулканогенных образований, характерных для района южного склона Главного Кавказского хребта. Данный коровый фрагмент является наиболее жестким и устойчивым участком литосферы в исследуемом регионе. Северо-Кавказская ступень (Зона II) и Закавказский срединный массив разделены зоной контакта – Орхевским надвигом. С северо-востока Северо-Кавказская ступень (Зона II) образует тектонический контакт с северным склоном Главного Кавказского хребта – зоной Бокового хребта (Зона III), известным под названием: Тибский надвиг. С юга в пределах Северо-Кавказской ступени выделяют включение Гагра-Джавской Зоны (Зона IV), которая продолжается в восточном направлении и выходит за пределы Северо-Кавказской ступени.

Для изучения современных движений земной коры в зоне горной системы Большого Кавказа предварительно был осуществлен анализ данных о геологическом строении региона, с целью выявления разнотипных морфологических структур с различной геодинамической активностью. Прделанная работа позволила определиться с архитектурой формирования сети стационарных пунктов GPS-наблюдений.

Участниками проекта в рамках выполнения предыдущих грантов РФФИ созданы три стационарные станции наблюдения спутников GPS/ГЛОНАСС: «Терскол» (код станции TRSK), «Кисловодск» (код станции KISL) и «Владикавказ» (код станции VLAD, создана совместно с ВЦ РАН-РСО-А). Таким образом, вместе с северокавказской опорной станцией «Зеленчук-

* Милюков В.К. – д. ф-м. н. ГАИШ МГУ.

** Дробышев В.Н. – ВЦ РАН и РСО-А.

*** Торчинов Х.М.З. – ВЦ РАН и РСО-А.

**** Хубаев Х.М. – ВЦ РАН и РСО-А.



Масштаб 1:500000



- пункты наблюдения GPS/ГЛОНАСС аппаратурой оборудованные в 2009-2010 гг.



- пункты наблюдения GPS/ГЛОНАСС аппаратурой оборудованные в 2011 г.

Рис. 1. Схема тектонического строения района проведения GPS-мониторинга

ская» (код станции ZECK), которая входит в европейскую сеть EUREF, эти четыре станции формируют региональную базу мониторинга современных тектонических движений Северного Кавказа (Northern Caucasus Deformation Array, NCDA). Станции сети расположены на территориях трех северокавказских республик: Карачаево-Черкесии, Кабардино-Балкарии и Северной Осетии.

В период 1990–1997 гг. на Кавказе были осуществлены несколько научно-исследовательских международных проектов по изучению современной геодинамики региона. Были проведены три эпохи GPS-измерений и получены оценки современных движений земной коры. Работа была выполнена на региональном уровне, оценки были получены для крупномасштабных кавказских регионов территории России, Грузии и Армении. В настоящее время вся коллизийная зона взаимодействия Евразийской, Аравийской и Иранской плит охвачена густой сетью стационарных и мобильных GPS-станций. Идет активный GPS-мониторинг современных движений этого региона.

Оценки скоростей современных тектонических движений Северного Кавказа по GPS-наблюдениям 2005–2010 гг. В горизонтальном плане движение региона характеризуется скоростью 27–28 мм/год в северо-восточном направлении (рис. 2). Сравнение с параметрами опорной станции (Менделеево, 25 мм/год) показывает, что современное движение Северного Кавказа в основном определяется общим тектоническим движением Евразийской платформы относительно системы ITRF. В то же время анализ выявил избыточное NE-движение Северного Кавказа относительно Евразийской платформы со скоростью 2–3 мм/год. Очевидно, избыточные скорости определяют активную тектонику этого региона.

Вместе с тем территория Горной Осетии, будучи одним из самых геодинамически активных регионов Кавказа, не была затронута при GPS-работах, проводимых на Кавказе с начала 1990-х годов.

Система геодезического GPS-мониторинга является в настоящее время основным измерительным средством при решении самых разнообразных задач геодинамики на всех масштабных уровнях, начиная с изучения деформаций в пределах отдельных горных сооружений, разломов и до глобальных перемещений литосферных плит. Во всем мире данная технология признана передовой, как для исследовательских, так и

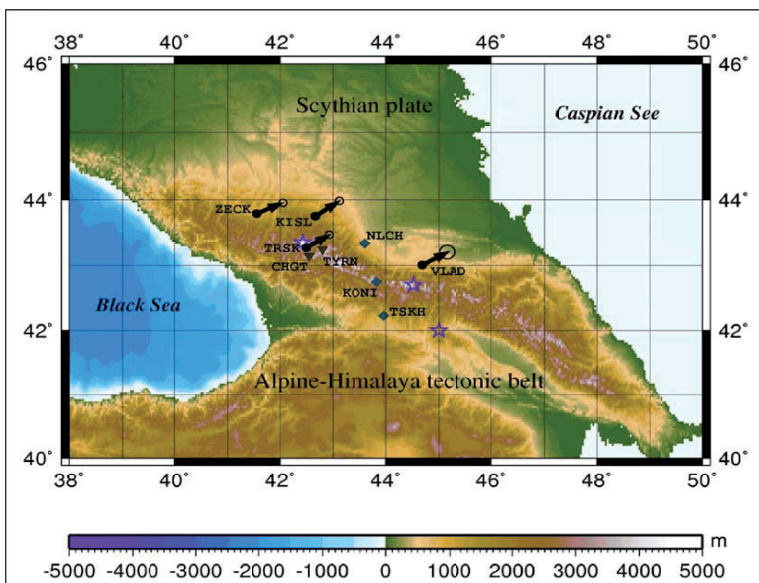


Рис. 2. Карта GPS-скоростей станций (ZECK, TRSK, KISL, VALD) северокавказского региона (NCDA) относительно системы ITRF2005 и эллипсы ошибок 1σ . TRSK, CHGT and TYRN – три точки GPS-кампании по проекту WEGENER в 1993–1994 гг. Нальчик (NLCH), Кани (KONI) и Цхинвал (TSKH) – планируемые новые станции сети NCDA

для прикладных задач, таких как моделирование и прогноз сейсмической обстановки в границах изучаемого региона.

Учитывая актуальность проблемы, на базе ВНЦ РАН и PCO-A была создана исследовательская группа, в задачи которой вошло создание и аппаратный мониторинг сети пунктов мобильных GPS-наблюдений, масштабность которой позволит оценивать деформации в отдельных основных тектонических блоках земной коры региона. Работы были начаты при тесном сотрудничестве и под руководством специалистов ГАИШ МГУ во главе с д. ф.-м. н. В.К. Милюковым, обладающих лицензией Федерального агентства геодезии и картографии Министерства транспорта РФ на производство геодезических работ.

Техническое оснащение группы соответствует лучшим мировым стандартам. Для мобильной GPS-съемки используются двухчастотные приемники Javad Legacy E L1/L2 GPS/GLONASS, антенны Javad Choke Ring (мобильный вариант). Геодезические метки, для первичных и повторных наблюдений, оснащены маркерами с резьбовой системой крепления антенн и зацементированы в фундамент (или в скальную породу) анкерными болтами. Такая система закладки геодезических меток считается общепринятой для мобильной GPS-съемки в мировой практике. Используемые геодезические маркеры изготовлены по образцам, используемым в европейских сетях GPS-наблюдений (фото 1).

Результаты исследований, проводимых участниками проекта по мониторингу совре-

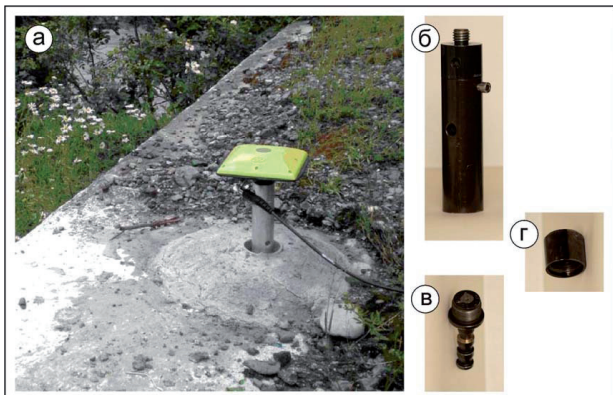


Фото 1. Технология проведения мобильных GPS-наблюдений: (а) – размещение GPS-антенны на пункте; (б) – съемный штатив для установки антенны; (в) – маркер, жестко устанавливаемый в скальную породу; (г) – колпачок, который закрывает резьбовую часть маркера после съема штатива и завершения работ

менной геодинамики Северного Кавказа, неоднократно докладывались на международных конференциях, в том числе Генеральных ассамблеях проекта WEGENER (Геодезия Средиземноморья), и получили высокую оценку мировой научной общественности. Ожидается, что результаты измерения скоростей движения земной коры в пределах исследуемого региона дополняют общую картину геодинамической активности Альпийско-Гималайского тектонического пояса.

Для выполнения работ по проекту предложен и реализован подход, связанный с комплексным использованием методов космической геодезии с привлечением геологической и сейсмической информации. Такая тактика представляется наиболее перспективной и плодотворной при решении задач по оценке деформации отдельных тектонических структур, а также при прогнозировании их современных движений.

Для обработки данных GPS-наблюдений используется комплекс программ Bernese GPS Software (Version 5.0), являющийся международным стандартом. Программный комплекс имеет возможность обрабатывать результаты GPS-наблюдений как разностным, так и абсолютным методом, что позволяет получать значения координат пункта наблюдения с высокой точностью.

При выборе места установки каждого GPS-пункта решались две основные задачи:

- пункты съемки должны располагаться в доступности, безопасности, на открытом пространстве, не заслоненном каменными и железобетонными конструкциями, деревьями и линиями электропередач, без учета особенностей технических требований к типу приемников, их установке и крепежам;

- пункты съемки должны покрывать все

морфологически разнотипные зоны, которые оказывают влияние на геодинамику региона.

В соответствии с перечисленными требованиями был запроектирован профиль, пересекающий следующие структурные элементы (с севера на юг): северный склон Главного Кавказского хребта; Тибский надвиг; Северо-Кавказская ступень; Орхевский надвиг; Закавказский срединный массив (Грузинская глыба). Профиль проходит в непосредственной близости от Гагро-Джавской зоны и позволит наблюдать ее геодинамическую активность. Такое расположение пунктов GPS-наблюдений позволяет получить оценки современных движений земной коры на территории Горной Осетии, как для региональных аномалий, так и для крупномасштабных объектов, включая весь район Северного Кавказа, с учетом уже действующей сети стационарных GPS-пунктов наблюдения в нем (NCDA).

В 2009–2010 годах было установлено 9 пунктов. 7 пунктов образовали профиль наблюдения, пересекающий основные геологические структуры Южной Осетии с юга на север: «Хетагурово», «Цхинвал», «Кехви», «Хвце», «Мзигом», «Дзомагдон» и «Рук» (рис. 1). На севере профиль опирается на два пункта – «Цей» и «Кармадон», размещенные в зоне Бокового хребта Северной Осетии и находящиеся севернее Тибского надвига. Такое расположение пунктов образовало триангуляционную ячейку, позволяющую оценивать деформации блоков земной коры в пространственном восприятии.

Организована и проведена первая сессия GPS-наблюдений. В качестве опорной, при проведении измерений, была использована GPS-станция VLAD (Владикавказ), входящая в состав региональной Северо-Кавказской сети стационарных GPS-станций.



Фото 2. Пункт GPS-наблюдений «Эрман». Установка GPS-оборудования

На основе проведенных наблюдений определены координаты GPS-пунктов. Получено высокое качество результатов (формальная среднеквадратическая ошибка составляет, как правило, доли миллиметров), что определяется стандартизированной технологией измерений и высокотехнологичным GPS-оборудованием.

В 2011 году были оборудованы еще 6 новых пунктов: «Дигория», «Зарамаг», «Квайса», «Эрцо», «Едис» и «Эрман», преобразующие метод профильного (линейного) наблюдения в площадной. Для пунктов 2010 года проведена вторая сессия GPS-наблюдений. Но и этих 15 пунктов созданной сети GPS-наблюдений явно недостаточно для получения детальной картины неотектонического поведения наблюдаемой территории (рис. 1).

Следует отметить определенную сложность в проведении работ в высокогорных условиях.

Ряд пунктов, таких как «Кармадон», «Эрман», «Едис», «Эрцо» и «Дигория», было бы весьма затруднительно создавать и обслуживать без помощи местных жителей. Краткое повествование о цели нашей экспедиционной группы (В.Н.

Дробышев, Х.-М.З. Торчинов, Х.М. Хубаев) повсеместно воспринималось с пониманием и готовностью оказать любое посильное содействие (фото 2).

С большим чувством благодарности хочется отметить Костю Царахова – жителя с. Тменикау, Заура Хубаева из с. Эрман, Роланда Козаева – зам. председателя АМС Джавского района, Индиру Тедееву – учителя школы с. Квайса, Сослана Дзесова – председателя АМС с. Едис, Азамата Басаева – жителя с. Эрман, Алистора Хайманова из с. Стур-Дигора и, конечно же, Пушкина Плиева – заслуженного врача, жителя высокогорного с. Рук.

Научное руководство проектом со стороны ГАИШ МГУ (В.К. Милюков) вместе с организационным сопровождением и материально-технической поддержкой ВНЦ РАН (А.Г. Кусраев) позволили провести научные мероприятия в сложных экспедиционных условиях на высоком уровне. Полученная информация в данное время находится на стадии обработки в ГАИШ МГУ и, по предварительным данным, качество результатов отвечает мировому уровню.

ЛИТЕРАТУРА

1. V. Milyukov, A. Kopaev, V. Zharov, A. Mironov, A. Myasnikov, M. Kaufman, D. Duev. Monitoring crustal deformations in the Northern Caucasus using a high precision long base laser strainmeter and the GPS/GLONASS network. // J.Geodyn. 49 (2010) 216–223
2. Милюков В.К., Хубаев Х.М., Кануков А.С. Создание Северо-Кавказской региональной сети стационарных станций наблюдения спутников GPS/ГЛОНАСС // В кн: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе. – Владикавказ: ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А, 2009. 544 с.
3. V. Milyukov, V. Zharov, A. Mironov, A. Myasnikov, M. Kaufman. Modern geodynamical motion of the Northern Caucasus from data of GPS/GLONASS observations // Geophysical Research Abstracts. Vol. 12, EGU2010-3645, 2010. EGU General Assembly 2010 (Vienna, Austria, 2–7 May, 2010)
4. Милюков В.К., Демьянов Г.В., Жаров В.Е., Кауфман М.Б., Юшкин В.Д. Создание сети стационарных GPS-станций и пунктов абсолютной гравиметрии на Северном Кавказе // Тезисы докладов Международного симпозиума «Наземная, морская и аэрогравиметрия: измерения на неподвижных и подвижных основаниях» (TG-SMM2010), 22–25 июня 2010, Россия, г. С.-Петербург). ГИЦ РФ ОАО «ЦНИИ Электроприбор», С.-Петербург, 2010, с. 22–23.
5. V. Milyukov, V. Zharov, A. Mironov, A. Myasnikov, M. Kaufman. Modern geodynamical motion of the Northern Caucasus from data of GPS/GLONASS observations // Abstracts of 15th General Assembly of WEGENER, September 14–17, 2010, Istanbul, Turkey. P. 99.

