УДК 550.394

DOI: 10.23671/VNC.2014.1.55405

ИНЖЕНЕРНОЕ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 14 ДЕКАБРЯ 2000 г.

© 2014 В.Б. Заалишвили^{1,2}, д.ф.-м.н., проф., А.В. Одишария²,
И.Э. Тимченко², н.с., М.Г. Отинашвили², с.н.с., С.А. Гогмачадзе^{3,4}, с.н.с.,
З.В. Заалишвили⁵, асп.

¹Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и PCO-A, Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru, ²Институт строительной механики и сейсмостойкости им. К.С. Завриева АН Грузии, 0193, Тбилиси, Грузия, ул. М.Алексидзе, 1, корп. 8, ³Предприятие инженерно-геологических и геофизических исследований, Тбилиси, Грузия, ⁴Тбилисский государственный университет им. Ив. Джавахишвили, 0179, Тбилиси, Грузия, пр-т. Чавчавадзе, 1, e-mail: example@tsu.ge ⁵Институт экономики им. П. Гугушвили АН Грузии, Тбилиси, Грузия, ул. Г.Кикодзе, 14, e-mail: economics_institute@yahoo.com

Приводится анализ землетрясения, произошедшего в 2000 году на территории Грузии. Была проведена специальная экспедиция, которую организовал Институт строительной механики и сейсмостойкости АН Грузии. Опрошены жители населенных пунктов, оказавшихся в зоне землетрясения. На основе анализа полученного материала была построена карта изосейст в технологии GIS.

Ключевые слова: землетрясение, акселерограмма, инженерное макросейсмическое обследование, повреждение, изосейсты.

Высокий уровень сейсмической опасности, установленный в результате происшедших сильных землетрясений в последние десятилетия, подтверждаются палеосейсмологическими исследованиями. Наличие большого числа инструментальных записей позволило создать методы, основанные на прямых расчетах [Заалишвили, Рогожин, 2010, Заалишвили и др., 2011].

14 декабря 2000 г. произошло землетрясение с магнитудой $M=3.5-3.6$, очаг которого располагался на расстоянии $r=12$ км к югу от г. Тбилиси, координаты эпицентра – $\varphi=41.62^\circ$, $\lambda=44.70^\circ$. Глубина очага составила около 10 км [Заалишвили и др., 2001a]. Запись колебаний показывает, что имел место преобладающий вертикальный толчок (рис. 1). Преобладающая частота колебаний грунта или частота колебаний основной части сигнала составила 8 Гц.

В ближней зоне разрушительного землетрясения в спектральном составе сейсмического воздействия проявилась предварительная вертикальная высокочастотная составляющая Z , значительно (почти в два раза) превышающая по амплитуде т.н. «основной» сигнал на всех трех составляющих. При этом на X и Y составляющих имело место сильное поглощение. Хорошо известно, что, как правило, быстрее поглощаются именно вертикальные, т.е. более высокочастотные (ВЧ) составляющие сигнала. Поэтому сигнал приходящий издалека «теряет» ВЧ часть и характеризуется низкочастотными (НЧ) колебаниями. С другой стороны, появление большой амплитуды ВЧ составляющей сигнала сопутствует неупругим явлениям в среде и выявляется на ближних расстояниях. На это указывают результаты исследований

Рис.1. Акселерограмма и спектр Фурье землетрясения от 14.12. 2000 г, зарегистрированная акселерографом SMACH (отдел региональной сейсмологии Института геофизики АН Грузии).

записей в ближней зоне сильных землетрясений, динамических воздействий и данные специальных экспериментов [Заалишвили, 2000, 2009; Заалишвили и др., 2004; Заалишвили, Тотиева-Туаева, 2010].

На наш взгляд, именно неупругие явления обусловили такую аномалию. При этом необходимо отметить, что строго говоря, сам очаг мог формировать преобладание вертикальной составляющей при его «вытянутости» по нормали к земной поверхности, но тогда ареал его простираения не мог быть таким обширным, доходя до 4 балльной изосейсты для такого умеренного, по сути, землетрясения. В то же время, анализ записей сильных и разрушительных землетрясений показал, что при землетрясениях с магнитудой превышающей $M=3$ отчетливо проявляются неупругие явления, являясь, таким образом, ориентировочной границей их появления [Заалишвили, 2000].

В процессе выполнения международного проекта INTAS и при его финансовой поддержке Институтом строительной механики и сейсмостойкости АН Грузии была организована специальная экспедиция. До проведения экспедиции было выполнено макросейсмическое обследование территории г.Тбилиси. Ниже приведены основные результаты инженерного макросейсмического обследования эпицентральной зоны землетрясения.

Село Квемо Телети. В селе имеются незначительные проявления землетрясения на зданиях и сооружениях (повреждения 0-1 степени). Здания, в целом, новой постройки, двухэтажные, из кирпича или мелких блоков. Есть небольшое количество старых зданий со стенами из каменной кладки. Грунтами оснований обследованного поврежденного 2-х этажного здания являются глинистые грунты. Уровень грунтовых вод в селе составляет примерно 4.0-8.0 м, который приурочен к галечникам, подстилающим глинистые грунты.

Житель села Б. Китиашвили сообщил, что непосредственно перед землетрясением залаяли собаки, заревел скот. Послышался гул. Жители ощутили вертикальный удар. Закачались люстры, была паника. Люди выбежали на улицы.

Монастырь Шавнабада. Монастырь Шавнабада нынешний вид имеет с начала 19 века. Расположен на вершине горы, на песчаниках. Сложен из прочной кирпичной кладки. Имеет несимметричную форму. Сооружение не имеет антисейсмических мероприятий (АСМ). Из верхней части кладки колокольни упал кирпич. Других видимых повреждений нет.

Обитатели монастыря – монахи рассказали, что почувствовали вертикальный толчок во время вечерней службы. Был слышен гул.

Село Цаласкури. Проявления землетрясения те же, что и в с. Квемо Телети. Грунты оснований зданий и сооружений – делювий.

Село Вашловани. Село старое. Расположено на склоне (рис. 2). Ранее располагалось на плоской вершине горы. По рассказам жителей, село в XVII столетии три раза полностью разрушалось в результате набегов леков («лекианоба»). В современный период село перенесено по склону к основанию горы. Здесь находится церковь – башня. Состояние – хорошее. Особенность застройки – много новых кирпичных домов. Причем, новые дома, большей частью, не достроенные, расположены на старых фундаментах. Грунты основания – глинистые грунты и супеси. Уровень грунтовых вод составляет 5.0-6.0 м. В большинстве зданий – повреждения 1-2 степени. Житель села М. Ментешавили сообщил, что жители ощутили достаточно сильный вертикальный удар. Послышался сильный гул. Перед землетрясением – лай собак и рев скота. Был слышен звон посуды, паника. Население выбежало на улицы.

Рис.2. Общий вид застройки территории

Село Кумиси. В селе около 700 домов. Повреждения 1 степени – в большинстве зданий. Ранее существующие трещины раскрылись. Предметы не сдвигались. В селе распространена кладка на глиняном растворе. Житель села О. Мазмишвили показал здание, построенное 100 лет назад. В кладке здания вертикальные трещины (повреждения 1-2 степени). Отдельные здания из каменной кладки без АСМ (тип А) получили повреждения 3-4 степени. На рис. 3 показан дом В. Мдивнишвили, получивший повреждения.

Помимо выпадения кладки дом получил трещины в стенах и пересечениях стен в углах шириной раскрытия до 2 см. Дом О. Мазмишвили из каменной кладки на слабом растворе, не имеет АСМ, расположен на склоне с уклоном больше 15° . Полу-

чил повреждения 3 степени. Расположенная рядом старая постройка со стенами из каменной кладки очень плохого качества была повреждена еще до землетрясения.

Во время землетрясения был слышен скрип конструкций. Гула не было. Звенела посуда (но не падала). Житель села В. Мдивнишвили рассказал, что он почувствовал горизонтальный толчок. Качались люстры. Население выбежало на улицы.

Село Эрциси. Села Вашловани и Эрциси смыкаются, образуя сплошную застройку. Те же проявления, что и в с. Вашловани. Обрушилась стена хлева. Население ощутило вертикальный удар.

Село Борбало. Село древнее. Основано еще в VII столетии. В селе – 120 домов, из которых 36 закрыто из-за отсутствия хозяев. Новые дома строятся на фундаментах старых. В домах значительные повреждения. Типичные повреждения застройки – трещины в каменной кладке. Некоторые трещины появились после

Рис. 3. Село Кумиси.
Дом В. Мдивнишвили

Рис. 4. Село Джорджишвили.
Дом В. Окуашвили

Рис. 5. Село Гоубани. Повреждения
кладки стены из силикатного кирпича

Рис. 6. Село Гоубани. Обрушение
части каменной стены

Спитакского землетрясения (Армения, 1988). В 2-х этажном доме К. Иремашвили, построенном в 1975 году – повреждения 1-2 степени. Внутренние несущие стены повреждены значительно. В жилых домах АСМ отсутствуют. Во время исследуемого землетрясения трещины расширились, появились трещины по контуру перекрытия, а также между стеной и пристроенной плитой балкона с лестницей.

Житель села К. Иремашвили сообщил, что они ощутили вертикальный удар. Послышался гул. Паника. Население выбежало на улицы.

Село Гоубани. Село состоит из 200 домов и располагается на холме. Наибольшие разрушения – в застройке верхней части села, расположенной на вершине холма. Дома здесь, в основном, фундируются на глубине около 1 м на желтую глину. Мощность глины 4-5 м, ниже – галечники и глинистые сланцы. Дома не имеют АСМ. В домах повсеместно имеются повреждения (1-2 степень). Дома из силикатного кирпича получили повреждения более высокой степени – 2 и выше (рис. 5). Наблюдались также повреждения в кладке в некоторых зданиях с АСМ. В кладке хорошего качества, как правило, повреждений не было. Двухэтажный дом А. Петриашвили с каменным цоколем и оштукатуренной стеной из блоков имел железобетонный пояс на уровне второго этажа. В стенах, тем не менее, появились трещины. Вертикальная трещина образовалась с верха цоколя, и прошла выше через пояс. Наблюдались вертикальные трещины в пересечениях стен, в углах проемов. В соседних домах наблюдались горизонтальные контурные трещины в перекрытии и в уровне верха оконных проемов шириной 2-4 мм. Также наблюдались трещины в углах проемов и в подоконной кладке (повреждения 2 степени).

Отдельные дома (рис. 7, 8) получили повреждения 4 степени. Двухэтажный дом Макаришвили имеет вертикальные трещины (повреждения 3 степени). Двухэтажный дом Н. Султанишвили, построенный в 1965 г. без АСМ получил повреждения 4 степени. К дому примыкает более новая пристройка на бетонном цоколе. Здесь обрушилась задняя стена (рис. 6). Грунтовые воды в селе отсутствуют.

Жители села Л. Гиоргашвили и О. Султанишвили сообщили, что при землетрясении в верхней части села преобладали горизонтальные колебания. Падала посуда. Слышался гул. Паника. Население выбежало на улицу.

В нижней части села также ощущали гул. По словам жителей, ощущался вертикальный толчок, а сама продолжительность землетрясения по сравнению со Спитакским землетрясением была намного короче. Тогда тоже был слышен гул.

Село Асурети. Село расположено на противоположном берегу ущелья. Село большое. Гула не было. В зданиях – легкие повреждения (0-1 степень).

Жители ощутили сначала малые, затем большие, продолжительные горизонтальные колебания (очевидно, продольные, затем поперечные и поверхностные волны).

Село Джорджишвили. Село расположено на той же террасе холма. Имеется несколько разрушенных домов (повреждения 4 степени). Вблизи дома самого В. Окуашвили (рис. 4) проявился оползень. В селе отдельные дома типа А получили 4 степень повреждения.

Житель села В. Окуашвили сообщил, что он слышал сильный гул, дребезжала посуда. Колебания грунта – горизонтальные. Паника. Население выбежало на улицы.

Село Энагети. Село большей частью расположено в котловине предгорья. Повреждения 0-1 степени. В некоторых домах – больше. Жители сообщили, что они почувствовали горизонтальные колебания. Слышался гул.

Село Мухати. Село находится в долине. Отдельные здания получили повреждения 1 степени. Был вертикальный толчок.

Село Табахмела. В отдельных домах – повреждения 1 степени. В некоторых домах упала штукатурка, появились трещины. Существующие трещины заметно увеличились. Жители села ощущали горизонтальные колебания, дребезжала посуда.

Рис.7. Село Гоубани. Повреждения 4 степени.

Рис.8. Село Джорджиашвили.

Село Шиндиси. Село расположено по уровню ниже с. Табахмела. В отдельных домах наблюдались повреждения 1 степени. Жители ощущали вертикальный толчок.

Села Цхнети, Коджори, Кикети. Отдельные дома получили повреждения 1 степени. Жители ощущали вертикальный толчок.

Г. Тбилиси. Сейсмический эффект на большей части территории города не превышал 4 балла. В южной части города, т.е. ближе к эпицентру, проявление землетрясения было выше. Несколько домов старой застройки полностью обрушилось (рис. 9) [Заалишвили и др., 2001б].

На территории г. Тбилиси (12 км от эпицентра) землетрясение ощущалось в виде сильного вертикального толчка и последующих слабых горизонтальных колебаний. Многие жители ощутили испуг.

Рис. 9. Тбилиси. Дом на ул.М. Зичи (повреждение 5 степени).

В обследованных селах распространены типичные для сельской местности двухэтажные жилые дома. Это позволило надежно сопоставлять проявленный эффект землетрясения.

Анализ материалов инженерного макросейсмического обследования эпицентральной зоны показывает, что сейсмический эффект в районе сел Гoubани, Вашловани, Эрциси и северо-западной части Борбало превышал интенсивность 6 баллов. Весьма интересно проследить особенности распространения сейсмических волн в зависимости от рельефа. На вершине холмов, как правило, преобладали горизонтальные колебания и в нижней части сел – вертикальные. Например, глубокое ущелье, расположенное между селами Борбало и Асурети весьма заметно «экранировало» с. Асурети от сейсмического воздействия.

На основе анализа полученного материала была построена карта изосейст в технологии GIS (рис. 10).

Рис. 10. Изосейсты землетрясения от 14 декабря 2000 г.

Выводы

1. Анализ материалов инженерного макросейсмического обследования эпицентральной зоны показывает, что сейсмический эффект в районе сел Гoubани, Вашловани, Эрциси и северо-западной части Борбало, т.е. в эпицентре, превышал интенсивность 6 баллов.

2. В ближней зоне разрушительного землетрясения в спектральном составе сейсмического воздействия проявилась предварительная вертикальная высокочастотная (ВЧ) составляющая, значительно превышающая по амплитуде т.н. «основной» сигнал на всех трех составляющих.

3. Появление большой амплитуды ВЧ составляющей сигнала сопутствует неупругим явлениям в среде и выявляется на ближних расстояниях от источника. На это указывают результаты исследований записей в ближней зоне сильных землетрясений и также специальных экспериментах.

4. Преобладание горизонтальных колебаний на вершинах холмов обусловлено их раскачиванием и сильным поглощением ВЧ сигнала.

5. Необходимо отметить особенности частотного состава и распространения сейсмических волн в зависимости от рельефа. На вершине холмов, как правило, преобладали горизонтальные колебания и в нижней части сел – вертикальные. Например, глубокое ущелье, расположенное между селами Борбало и Асурети весьма заметно «экранировало» с. Асурети от сейсмического воздействия.

6. Анализ особенностей проявления Гoubанского землетрясения показал, что большей частью были значительно повреждены и разрушены жесткие здания и сооружения.

Литература

1. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН. – Москва, 2000, 367с.
2. Заалишвили В.Б., Одишария А.В. Тимченко И.Э. Отиашвили М.Г. Гогмачдзе С.А. Заалишвили З.В. Инженерное макросейсмическое обследование эпицентральной зоны землетрясения 14 декабря 2000 г. Теория сооружений и сейсмостойкость, №2. – Тбилиси: ИСМИС им. К.С. Завриева АН Грузии, 2001а, С.51-59.
3. Заалишвили В.Б., Чачава Н.Т., Гогмачдзе С.А. Вопросы сейсмического риска старых районов г. Тбилиси (груз). Теория сооружений и сейсмостойкость, №2. – Тбилиси: ИСМИС им. К.С. Завриева АН Грузии, 2001б, С.81-90.
4. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Харебов А.К. Анализ инструментальных записей схода ледника колка по данным локальной сети сейсмических наблюдений// Вестник Владикавказского научного центра. 2004. Т. 4. №3. С. 58-64.
5. Заалишвили В.Б., Тотиева-Туаева Ж.Д. Механизмы формирования нелинейно-неупругих явлений, обусловленных нано-размерными частицами среды при интенсивных воздействиях. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – М.: ВНИИГТП, №2. 2010 с.26-30.
6. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального сейсмического районирования и сейсмического микрорайонирования // Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. Труды института геологии Дагестанского научного центра Российской академии наук. 2010. С. 251-262.

7. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф. Оценка сейсмической опасности территории и построение вероятностных карт //Геология и геофизика Юга России. 2011. № 1. С. 48-58.

DOI: 10.23671/VNC.2014.1.55405

ENGINEERING MACROSEISMIC SURVEY OF EPICENTRAL AREA OF THE EARTHQUAKE ON 14 DECEMBER 2000

**© 2014 V.B. Zaalishvili^{1,2}, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., A.V. Odishariya²,
I.E. Timchenko², research scientist, M.G. Otinashvili², senior research scientist,
S.A. Gogmachadze^{3,4}, senior research scientist, Z.V. Zaalishvili⁵, post-graduate
student**

¹Center of Geophysical Investigations of Vladikavkaz Scientific Centre RAS and RNO-A, Markova str. 93a, Vladikavkaz, Russia, 362002, E-mail: cgi_ras@mail.ru, ²K.S. Zavriev Institute of Structural Mechanics and Earthquake Engineering of Georgian Academy of Sciences, 0193, Tbilisi, Georgia, M. Alexidze str., 1, block 8.

³Enterprise of geological and geophysical investigations, Tbilisi, Georgia, ⁴Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, 0179, Tbilisi, Georgia, Chavchavadze Avenue, 1, e-mail: example@tsu.ge, ⁵Institute of Economy of Georgian Academy of Sciences, Tbilisi, Georgia, G. Kikodze str., 14, e-mail: economics_institute@yahoo.com

The analysis of earthquake that occurred in 2000 on the territory of Georgia is given. The special expedition was organized by the Institute of Structural Mechanics and Earthquake Engineering of Georgian Academy of Sciences. The residents of the settlements, that were in the earthquake zone were interviewed. Based on analysis of the material obtained was built isoseists map using GIS technologies.

Keywords: earthquake, accelerogram, engineering macroseismic survey, damage, isoseisms.