
НАШИ ГОСТИ

УДК 550.34

DOI: 10.23671/VNC.2015.4.55309

ОЦЕНКА ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ И ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛОКАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

© 2015 Р.Р. Дургарян¹, М.А. Аванесян¹, С.Г. Бабаян¹, М.Р. Геворгян¹,
Г.Е. Бабаян¹, А.Р. Аракелян²

¹Институт геологических наук НАН РА, Республика Армения, 0019, Ереван,
пр. Маршала Баграмяна, 24а, e-mail: raffie_d@yahoo.com;

²Армянская ассоциация сейсмологии и физики Земли, Республика Армения,
0038, Ереван, ул. Шинарарнери 10, e-mail: vitoarakel@yahoo.com

В работе приводятся данные детальных геофизических и геологических наблюдений, проведенных с целью оценки грунтовых условий и возможности возникновения локального сейсмического эффекта на территории Двинского городища при землетрясениях 863, 893 гг. Исследования были проведены на участках с наибольшими макросейсмическими воздействиями – центральный квартал города Двин и сопредельный участок кафедрального собора. Анализ полученных данных относительно грунтовых условий – динамические характеристики собственных колебаний, локальные резонансные характеристики, средние скорости поперечных упругих волн первых тридцати метров (V_s-30) позволяют сделать вывод, что высокая интенсивность обоих Двинских землетрясений, приведших к разрушению и массовой гибели людей, обусловлена локальными усилениями сейсмических колебаний (site effect).

Ключевые слова: Двинское городище, резонансные характеристики, локальное усиление сейсмических колебаний.

Геологические и топографические условия местности

Участок исследований находится на северном борту Араратской котловины, на так называемых Двинских холмах. Центральный холм, на котором располагается цитадель и соседний с ним холм с кафедральным собором и дворцом католикоса имеют искусственное происхождение – это археологические образования известные на Ближнем Востоке под названием тель. В основании этих холмов имеются небольшие выступы маломощных брекчий и коллювия вулканогенных и осадочных пород, покрытые слоем речных отложений мощностью около 30 м. Под ними залегают косослоистые глины и суглинки. Холмы центрального квартала Двина образованы 20–30-метровыми отложениями, состоящими из смеси деструктированного саманного кирпича, золы и обломков керамики – то есть культурного слоя, в основании которого залегают речные отложения представленные глинами и линзами песка.

По данным буровых скважин, уровень грунтовых вод здесь располагается на глубине от 3 до 10 метров и связан с речными отложениями, расположенными над водоупорным горизонтом глин среднего миоцена. Холм Двина был окружен крепостной стеной, перед которой был вырыт ров, заполняемый водой. Ров питался

водой из искусственного водоема, расположенного внутри крепостных стен, который служил и как запас пресной воды. Один из сегментов рва, расположенный между кафедральным собором и цитаделью, возможно, мог быть небольшим рукавом древнего русла реки.

Результаты археологических раскопок показали, что нижние слои культурного слоя относятся к куро-араксской культуре, датируемой периодом ранней бронзы – 22–23 века до РХ. Поселение существовало непрерывно от периода ранней бронзы до античного времени. Ко времени возникновения средневекового города Двин наслоения культурного слоя имели уже значительную мощность и образовали холм-тель высотой несколько десятков метров. Именно этому телю Двин обязан своим именем, поскольку по-арабски Двин или Девил означает холм. Холм, на котором располагается Двин, расположен в пределах конуса выноса реки Азат.

С инженерно-геологической и геотехнической точки зрения, на исследованном участке центрального квартала Двина наблюдаются все виды неблагоприятных типов грунтов и геологических явлений по всем известным нормативным документам (СНПА II-6.02–2006 РА категория грунта 4; UBC 97 (United Building Code-US) категория грунта E, EC8 (European Building Code) категория грунта C) [СНПА..., 2006].

Измерения микроколебаний грунта

В рамках данной работы были проведены измерения микросейсмических колебаний на 3-х интересующих нас участках – на территории цитадели, кафедрального собора и, прилегающей к холмам Двина, равнине (рис. 1). Для проведения данных измерений был использован трехкомпонентный сейсмодатчик TROMINO GRILLA [Chatelain et al., 2000].

Первая точка измерений находилась на вершине холма цитадели, который расположен на культурном слое. Вторая точка измерений находилась юго-западнее первого участка, на территории развалин кафедрального собора. Участок кафедрального собора представлен искусственной насыпной площадкой и культурным слоем с многочисленными обломками вулканогенно-осадочных пород. Третья точка измерений находилась на равнинной местности, южнее второго участка. Породами основания служат глинистые и суглинистые грунты Араратской долины с линзами песка и мелкого гравеля.

Принимая во внимание рекомендации, данные в SESAME European research project 2004 [SESAME, 2004], и которые были составлены на основе многолетнего опыта проведения подобных измерений, были выбраны следующие основные параметры измерений:

- Продолжительность записи 20 мин.;
- Частота измерения 250 Гц.

Такая система измерений позволяет провести дальнейшую обработку данных как с учетом требований, накладываемых стандартной методикой оценки приращения усилений [SESAME, 2004] (необходимость синхронных измерений на эталонных и исследуемых грунтах), так и без их учета, когда все наблюдения рассматриваются как независимые.

Вычисление и анализ H/V спектральных соотношений

Для анализа и интерпретации полученных данных использована программа GRILLA, главными функциональными возможностями и модулями обработки ко-



Рис. 1. Схема расположения точек измерений микросейсм (H/V) и сейсмических зондирований (SS)

торой являются [Chatelain et al., 2000; Konno and Ohmachi, 1998; Nakamura, 1989]:

- .. FFT спектр
- .. Сглаживание методикой Konno & Ohmachi
- .. Объединение двух горизонтальных компонент
- .. Спектральные соотношения H/V (соотношения горизонтальных и вертикальных составляющих собственных колебаний грунтов) для каждого сегмента записи
- .. Среднеарифметические соотношения H/V
- .. Ожидаемые стандартные отклонения спектральных соотношений

В таблице 1 и на рисунке 2 приведены основные результаты исследований по частотным характеристикам собственных колебаний грунтов (f_0).

Исходя из опыта мировой практики, полученные результаты соотношений кривых H/V, с геоморфологической точки зрения, соответствуют структуре аллювиального бассейна. На 1 и 2 участках наблюдаются очень низкие скоростные характеристики, что является следствием наличия мощного культурного слоя, разрушенного саманного кирпича, множества пустот и погребенных древних построек. На 3 участке, в связи с относительной однородностью и плотностью подстилающих

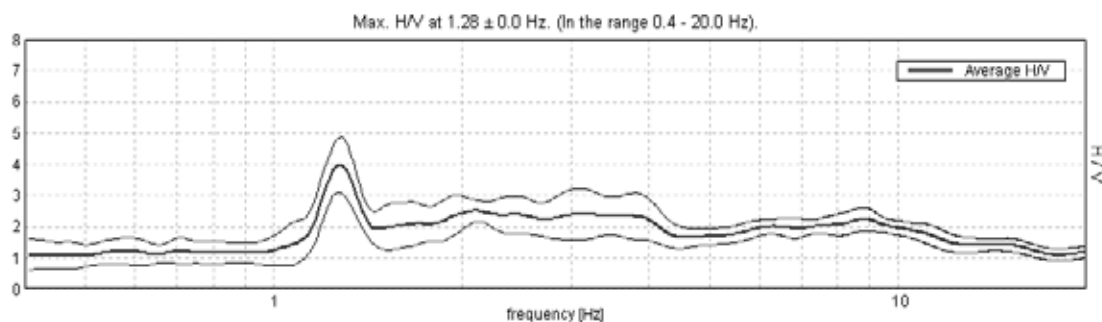
Таблица 1

**Основные результаты исследований по частотным характеристикам
собственных колебаний**

Исследуемый участок	Частота колебаний грунта (f_0) (Гц)	Преобладающий период (t_0) колебаний грунта (с.)	Преобладающий период ($1,3t_0$) колебаний грунта по СНРА 2006 (с.)	Категория грунта по СНРА 2006
1	1,28	0,78	1,014	IV
2	1,27	0,78	1,014	IV
3	4,9	0,2	0,26	I

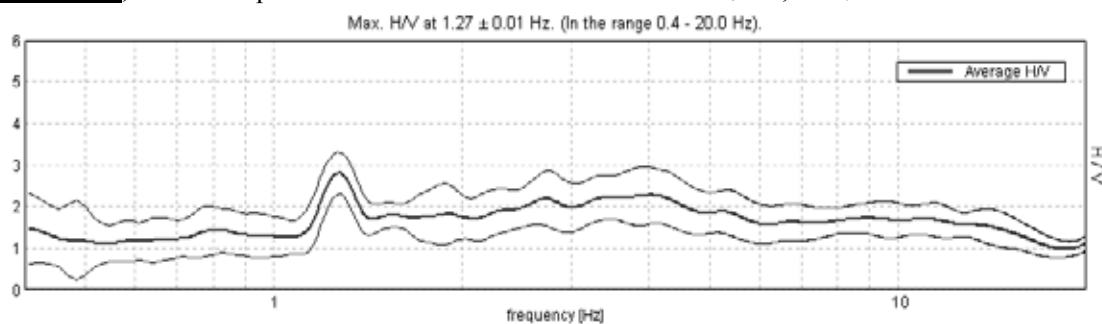
Участок 1, H/V спектральные соотношения

Частота $f_0 = 1,28$ Гц



Участок 2, H/V спектральные соотношения

Частота $f_0 = 1,27$ Гц



Участок 3, H/V спектральные соотношения

Частота $f_0 = 4,9$ Гц

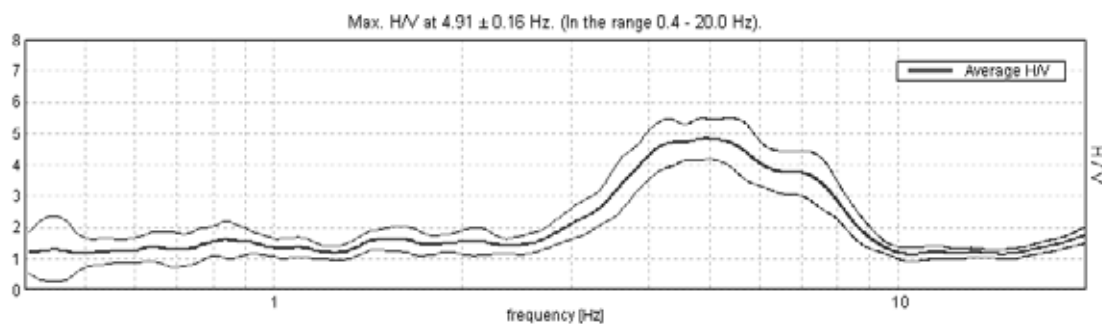


Рис. 2. Кривые соотношений H/V на трех исследуемых участках.

пород, частотный диапазон имеет более высокие частоты (4,9 Гц) с соответствующими ему периодами собственных колебаний грунта (0,2 с).

Скоростные характеристики грунтов

Методика инструментальных измерений и аппаратура

При проведении полевых работ использовался метод измерения скоростей продольных преломленных волн [Гурвич, Боганик, 1980].

Сейсморазведочные измерения были проведены на 24 точках (рис. 1). Для измерений была использована сейсмостанция СТС-24р с применением сейсмических кос двух конфигураций – 22 м и 55 м (с расстоянием между сейсмоприемниками 2 м и 5 м соответственно), каждая из которых состояла из 12 вертикальных сейсмоприемников.

Обработка и интерпретация полевых материалов

Полученные сейсмограммы обрабатывались по методике выделения первых вступлений продольных волн.

Интерпретация данных сейсмических наблюдений проводилась в несколько этапов.

Основными из них являлись:

- Расшифровка волновой картины;
- Построение сейсмического разреза;
- Геологическое истолкование результатов.

Обработка полевых материалов осуществлялась по программе СТС–VIEW. С помощью этой программы определялись скорости продольных волн.

Построение сейсмических границ осуществлялось методом полей времени, так как этот метод не требует каких либо ограничивающих предположений о форме преломляющей поверхности, и позволяет строить преломляющие границы, как в однородных, так и в неоднородных средах, и при необходимости учитывать влияние промежуточных границ разреза.

Анализ результатов полевых сейсморазведочных измерений

В результате обработки сейсморазведочных материалов исследуемой территории были получены значения скоростей распространения продольных и поперечных волн до глубины 30 метров – V_p (aver.) = 245 м/с, V_s (aver.) = 142 м/с, а также значение их соотношения $V_p/V_s = 1,73$.

Согласно международным и местным нормам полученные значения V_s (aver.) соответствуют IV и ниже категории грунтов.

Обсуждение результатов

Культурный слой, слагающий тель холма Двин, имеет мощность от 3–5 до 30 м и состоит из золы, деструктированного саманного кирпича, многовекового мусора и напоминает своими характеристиками лессовый песок. Он легко смачивается, после чего приобретает высокую пластичность и текучесть.

Под культурным слоем на глубине от 3–5 до 30 метров залегают речные отложения, представленные глинами, суглинками с линзами песка и мелкого гравеля.

Уровень грунтовых вод расположен на глубине от 3–5 до 30 метров и связан с горизонтом речных отложений.

Искусственный водоем, расположенный внутри центрального квартала города Двин, и крепостные рвы, заполненные водой, приводили к дополнительному обводнению участка в древности.

Учитывая вышеизложенное, и основываясь на нормативных документах и результатах исследований по Vs-30, грунты центрального квартала города Двин относятся к следующим категориям грунтов: UBC-97 category (E); EC-8 (C) category; СНРА II-6.02–2006 (Строительные нормы Республики Армения 4-я категория), которые оцениваются как крайне неблагоприятные.

Анализ результатов измерений H/V на участке 1 и 2 (Цитадель и Кафедральный Собор) показывает, что собственные колебания грунта составляют 1,28 и 1,27 Гц, а на участке 3 (пашня у подножия холмов) 4,9 Гц.

Низкие скоростные значения (V_s (aver.) = 142 м/с) участков 1 (цитадель) и 2 (кафедральный собор), в особенности на участке 1, являются следствием наличия мощного культурного слоя тела.

Основные выводы

– Результаты исследований показывают, что собственные колебания грунтов на участках Цитадель и Кафедральный Собор составляют соответственно 1,28 и 1,27 Гц. Это обусловлено типом грунта, рельефом (топографический эффект), а также уровнем залегания грунтовых вод.

– Геофизические и геологические наблюдения фиксируют крайне плохие грунтовые условия и реальную возможность возникновения «локального сейсмического эффекта участка», а также потенциальную возможность возникновения эффекта разжижения грунта (liquefaction) на участке центрального квартала города Двин. Разрушения кафедрального собора, дворцов, крепостных стен и массовая гибель людей, описанные в летописях, а также высокую интенсивность обоих Двинских землетрясений можно отнести к последствиям локальных усилений сейсмических колебаний (Site Effect).

Работа выполнена в рамках финансирования договора N AS-1/3 Института геологических наук НАН РА.

Литература

1. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсмическая разведка, изд. третье, М., Недра, 1980.
2. СНРА II-6.02–2006. Строительные нормы Республики Армения
3. Chatelain J.-L., Ph Guéguen, B. Guillier, J. Fréchet, F. Bondoux, J. Sarrault, P. Sulpice, J.-M. Neuville, (2000), CityShark: A user-friendly instrument dedicated to ambient noise (microtremor) recording for site and building response studies, Seism. Res. Lett, 71, 698–703.
4. Konno, K. and T. Ohmachi, (1998), Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor, Bull. Seism. Soc. Am., 88, 228–241.575
5. Nakamura Y., (1989), A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, Quarterly Report of the Railway Technology Research Institute, 30, 25–30.

6. SESAME, (2004), Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation, European Commission – Research General Directorate Project No.EVG1-CT-2000–00026 SESAME, report D23.12.

DOI: 10.23671/VNC.2015.4.55309

EVALUATION OF GROUND CONDITIONS AND OCCURRENCE OF LOCAL SITE EFFECT

**© 2015 R.R. Durgaryan¹, M.A. Avanesyan¹, S.H. Babayan¹,
M.R. Gevorgyan¹, H. Y Babayan¹, A.R. Arakelyan²**

¹Institute of Geological Sciences of the NAS RA, Republic of Armenia, Yerevan, 0019,
Marshal Baghramyan ave., e-mail: raffie_d@yahoo.com;

²Armenian Association of Seismology and Physics of the Earth, Armenia, Yerevan
0038, Shinararneri str. 10, e-mail: vitoarakel@yahoo.com

In the study the data on detailed geophysical and geological observations aimed to the assessment of local soil conditions and possibility of local seismic effect occurrence in the territory of Dvin ancient settlement during the earthquakes of 863 and 893 are presented. The studies have been carried out at the sites with the largest macroseismic impact – central block of the town of Dvin and adjacent area of the Cathedral. Analysis of the obtained soil condition data – dynamic characteristics of the natural frequency, local resonance characteristics, shear wave average velocity in upper 30 meters of subsurface stratum (V_{s30}) allowed to conclude that the high intensity of both Dvin earthquakes caused destructions and mass casualties were conditioned by local amplification of seismic vibration (site effect).

Key words: Dvin settlement, resonance characteristics, local amplification of seismic vibration.