DOI: 10.38054/iaeee-308 УДК 551.1; 624:131

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОСЕЙСМ И КАРТЫ САЙТ-ЭФФЕКТОВ ДЛЯ СЕЙСМОСТОЙКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В ГУСТОНАСЕЛЕННЫХ ГОРОДАХ КЫРГЫЗСТАНА

Ш.Э. Усупаев⁽¹⁾, Б.Д. Молдобеков⁽¹⁾, С.Ж. Орунбаев⁽¹⁾, У.А. Абдыбачаев⁽¹⁾

(1) ЦАИИЗ «Центрально Азиатский институт прикладных исследований Земли» г. Бишкек, КР, sh.usupaev@caiag.kg, b.moldobekov@caiag.kg, s.orunbaev@caiag.kg

Аннотация: В статье приведены инновационные технологии зондирования микросейсм и результаты ГИС оценки сайт-эффектов для сейсмического микрорайонирования городов Бишкек, Каракол, Нарын, а также инструментального определения активных разломов и идентификации оползневой опасности склонов на территории Кыргызстана.

Sh.E. Usupaev⁽¹⁾, B.D. Moldobekov⁽¹⁾, S.Zh. Orunbaev⁽¹⁾, U.A. Abdybachaev⁽¹⁾,

(1) CAIAG "Central-Asian Institute for Applied Geosciences", Bishkek city, Kyrgyz Republic, sh.usupaev@caiag.kg, b.moldobekov@caiag.kg, s.orunbaev@caiag.kg

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR MICROSEISM MEASUREMENT AND SITE EFFECTS MAPES FOR EARTHQUAKE ENGINEERING IN DENSELY POPULATED CITIES OF KYRGYZSTAN

Abstract: The article presents the innovative sensing technology of MS (microseism) and the results of GIS evaluation of site effects for seismic zoning of the cities of Bishkek, Karakol, Naryn, also the instrumental definition of active seismic faults and identification of landslide hazard slopes on the territory of Kyrgyzstan.

КЫРГЫЗСТАНДЫН КАЛК ЖЫШ ЖАЙГАШКАН ШААРЛАРЫНДАГЫ СЕСМОТУРУШТУУ КУРУЛУШ ҮЧҮН МИКРОСЕЙСМ ЖАНА САЙТ-НАТЫЙЖАЛАР КАРТАСЫН ӨЛЧӨӨЧҮ ИННОВАЦИЯЛЫК ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Ш.Э. Усупаев⁽¹⁾, Б.Д. Молдобеков⁽¹⁾, С.Ж. Орунбаев⁽¹⁾, У.А. Абдыбачаев⁽¹⁾

(1) ЦАИИЗ «Центрально Азиатский институт прикладных исследований Земли» г. Бишкек, КР, sh.usupaev@caiag.kg, b.moldobekov@caiag.kg, s.orunbaev@caiag.kg

Аннотация: Макалада Бишкек, Каракол, Нарын шаарларын сейсмикалык чакан райондоштуруу үчүн микросейм аймакташтыруунун инновациялык технологиялары жана сайт-натыйжаралдын баалоонун ГИС жыйынтыктары, жана дагы Кыргызстандын аймактарынын жантаймалардагы жер көчкү коркунучун жана активдүү жаракаларын инструменталдык аныктоо келтирилген.

В статье приведены результаты использования инновационных технологий

зондирования микросейсм с помощью современных ГИС методов с использованием новейшей аппаратуры станций Mark 1Hz + EDL, сенсоры Mark L4C-3D, Lennartz LE3D-5s, дигитайзеры Earth Data Recoreder PR6-24 и GPS антенны для записей естественных шумов землетрясений методом не активной сейсмики.

Проблемой инженерной сейсмологии, является инструментальная оценка роли грунтовых условий в изменении сейсмического эффекта на поверхности земли и их воздействия на жилые дома и здания соцкультбыта

В районах с интенсивностью возможных землетрясений 8-9 и более баллов, в целях инженерного проектирования и строительства проводится сейсмическое микрорайонирование. Без составления карт СМР строительство жилых домов, объектов соцкультбыта, не будут застрахован от георисков, будет не сейсмостойким и при планировании бюджета страны станет высоко затратным в связи с разрушительным воздействием сейсмокатастроф.

Нами проведены комплексные работы с применением инновационных технологий и метода сайт-эффектов и ГИС обработки записей с определением частотно-резонансных характеристик грунтов на территории городов Бишкек, Каракол, Нарын в Кыргызстане. Методом сайт-эффектов были инструментально зондированы и определены ширины активных разломов и зондированы для идентификации опасности оползневые склоны.

Инновационная технология и методика европейских и мировых инструментальных исследований заключалась в проведении следующих 3 различных по схемам зондирования видов измерений: 1. измерение массива (Array measurement); 2. запись землетрясении; 3. точечное измерение (single measurements).

- 1. Площадные записи сейсмических шумов (микросейсмов). Площадки выбирались с разной величной сейсмической интенсивности,. Записи шумов велись на протяжении четырех часов. Задача состояла в определении скоростного разреза верхних слоев земной коры под каждой площадкой полигона по записям поперечных волн и поверхностных волн Лява и Рэлея.
- **2.** Точечные измерения сейсмических шумов. Проводились по 30-минут записи шумов в отдельных точках, с учетом существующей площади и территорий планируемой застройки на 10-15 лет. Отобранные записи шумов обработаны методом Накамура для определения резонансной частоты верхнего слоя и его мощности.
- 3. Запись землетрясений. Сейсмические станции устанавливались в пунктах, охватывающих все основные грунтовые комплексы. Выбирались «эталонные» пункты, а также зоны влияния активных разломов. Записи велись в течение нескольких месяцев. В зависимости от расположения станций относительно друг друга и эпицентра землетрясения использовались два подхода.

Бишкек. Площадные съемки микросейсм были выполнены на четырех полигонах: 1. в районе расположения ЦАИИЗ; 2. в северном крыле активного Иссык-Атинского разлома восточнее села Орто-Сай; 3. площадь центрального стадиона им. Д. Омурзакова; 4. экспериментальный полигон института биологии НАН КР.

В каждом полигоне проводились измерения в течение дня, одновременно комплектом из 20 сейсмостанций. Получасовые точечные измерения сейсмических шумов выполнены в 208 пунктах, с учетом плана застройки города Бишкек до 2025 г.

Инновационные технологии и аппаратура зондирования представлены: сенсорами Mark L4C-3D, Guralp BB, Lennartz LE3D-5s, дигитайзерами EarthData Recorder PR6-24, Reftek 130 Recorder, GPS антенами.

Исходная для исследуемой территории интенсивность землетрясений определяется на основе карты общего сейсмического районирования, а также детального сейсмического районированию (ДСР). Вышеуказанная интенсивность, является "эталонным" по отношению к грунтам, в качестве которых часто используются грунты I или II категорий (СНиП-II-7-81).

Для обеспечения сейсмостойкости сооружений необходимые параметры ускорений колебаний грунтов были определены путем экстраполяции осредненных спектральных характеристик, полученных по записям слабых землетрясений и акселерограммам сильных землетрясений на скальном основании.

По результатам измерения шумов определялись H/V отношение (H/V ratio). Спектральное отношение между компонентами двух близких станций. Для СПО дистанция между двумя станциями устанавливается более чем в 5 раз меньше, по отношению к гипоцентральному расстоянию. При условии невыполнимости вышеуказанных требований, используется метод без опорной точки.

Метод без опорной точки имеет собственную зону отклика (site response). Которая оценивается с помощью способа без опорной точки (H/V) (Рис.3 и 4).

С 15-августа по 18-августа 18 сейсмостанций были установлены в подготовленных подвальных помещениях административных учреждений и частном секторе, где проведены измерения сейсмичности в различных по балльности зонах и, участках вдоль трех меридиональных профилей. Одна опорная станция была установлена на выходе скальных пород (штольня обсерватории Института сейсмологии НАН КР - Ала-Арча) и несколько – в зоне влияния Иссык-Атинского разлома.

Сеть сейсмостанций в течение 3 месяцев в реальном режиме времени регистрировали землетрясения воздействующие на территорию города Бишкек, с учетом расширения площади города по Генеральной схеме развития до 2025 г.(Рис.1).

По 19 сейсмостанциям осуществляли непрерывные наблюдения в течение более трех месяцев (август-ноябрь). Двадцатая станция была использована для регистрации сейсмических шумов.

ЦАИИЗ провел точечные измерения в течение 2-месяцев. На каждой точке измерения сейсмических шумовых данных, регистрировали записи с продолжительностью не менее 30 минут. Произведено 208 мобильных точечных измерений сейсмических шумов по территории г. Бишкек.

Для территории города Бишкек были составлены карта резонансной характеристики грунта (Рис. 2).

Определены типы и оценка уязвимости зданий, проведены исследования по стохастическому моделированию землетрясений с магнитудой M=7,5, для моделирования прогноза ожидаемых рисков от сейсмокатастрофы интенсивностью 9 баллов.



Рис. 1. Космоснимок территории г. Бишкек в 1992 г. (синий цвет) с учетом роста площади мегаполиса в 2025 г. (линии красного цвета).

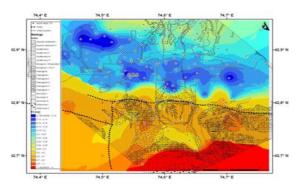


Рис. 2. Карта сайт-эффекта резонансной частоты колебаний частиц грунтов

Создана региональная сеть мониторинга для раннего оповещения населения и инфраструктуры города Бишкек и его агломераций от сейсмокатастроф, которая состоит из 50 акселерометров в виде сети станций сильных движений грунтов, записи от которых в режиме реального времени поступают в ЦАИИЗ.

Первый профиль зондирований микросейсмами ширины Иссык-Атинского разлома находится в районе села Орто-Сай. Ширина Иссык-Атинского разлома в районе с. Орто-Сай составляет: 240 м. (от I-A 14 до I-A 15) (Рис. 3, 4).

Следующий второй профиль сейсмического зондирования микросейсмами вкрест простирания активного Иссык-Атинского разлома в районе Института Сейсмологии НАН КР варьирует от 312 м. до 368 м. (от I-A 02 до I-A 01) (Рис. 5 а.).

Третий профиль сейсмического зондирования микросейсмами проведен на меридиане с. Нижний-Орок вкрест простирания активного Иссык-Атинского разлома.

Ширина Иссык-Атинского разлома в районе с. Нижний-Орок составляет: 368 м. (от I-A 23 до I-A 22) (Рис. 5 б.).

Четвертый пройденный профиль сейсмического зондирования микросейсмами расположен на меридиане с. Кок-Джар вкрест простирания активного Иссык-Атинского разлома. Ширина Иссык-Атинского разлома в районе с. Кок-Джар составляет: 42 м. (I-A 27) (Рис. 5 в.).



Рис. 3. Космоснимок с 4 профилями вкрест простирания активного Иссык-Атинского разлома на юге города Бишкек.

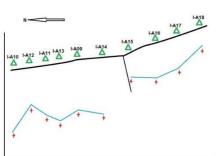


Рис. 4. Ширина Иссык-Атинского разлома в районе с. Орто-Сай составляет: 240 м. (от I-A 14 до I-A 15)

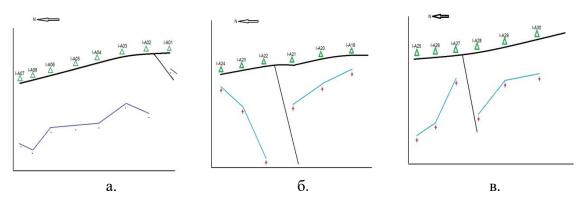


Рис. 5. Ширина Иссык-Атинского разлома сосавляет в районе: а. Института Сейсмологии НАН КР варьирует от 312 м. до 368 м. (от I-A 02 до I-A 01); б. с. Нижний-Орок составляет: 368 м. (отI-A 23 до I-A 22); в. с. Кок-Джар составляет: 42 м. (I-A 27)

Карты сайт эффектов на основе использования инновационных технологий и аппаратуры с применением ГИС обработки данных были составлены также для города Каракол (Рис. 6).

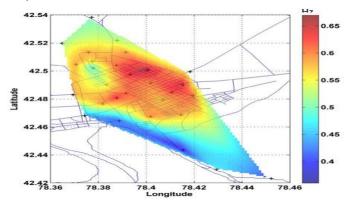


Рис. 6. Карта резонансной частоты для г. Каракол, определенной на основе H/V спектральных коэффициентов сейсмических шумов.

В течение 2014-2014 гг. на территории г. Нарын были проведены комплексные полевые работы с помощью установленых 16 современных сейсмостанций (постоянные измерения землетрясений в течение четырех месяцев), часовые одновременные измерения 16 сейсмостанциями в трех полигонах зондирований (Стадион, Аэропорт, Кампус Университета фонда Ага Хана) по 48 пунктам зондирования особенностей строения геологического фундамента, а также 134 мобильных территориальных (по 35-40 минут) точечных измерений сейсмических шумов (Рис. 7).

Амплитудный уровень и частота резонансных пиков зависят от упругих свойств и мощностей грунтов способных к усилению сейсмических волн. К числу подобных относятся любые достаточно рыхлые породы, обладающие скоростью распространения поперечных волн (Vs) ниже 700 м/с.

В условиях г. Нарын это, как правило, суглинки, супеси, пески и глины. Мощность рыхлых отложений меняется в пределах от 0 до 600 м, что обуславливает изменение резонансных периодов от 0,22 до 2,9 с.

На базе обработки записей по 194 вышеуказанным инструментальным пунктам измерений впервые составлена карта сайт эффектов для территории г. Нарын (Рис.7).

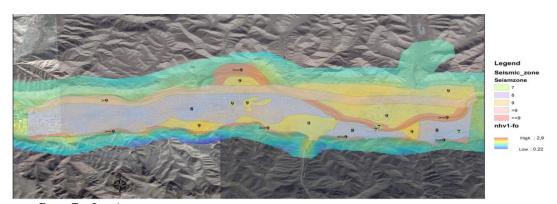


Рис. 7. Фундаментальная карта частоты и интенсивности резонанса почво-грунтов для Центральной части города Нарына

Использование инновационных технологий измерения сейсмических шумов была нами также впервые апробирована для оценки оползневой опасности склона в районе расположения оползня Тайгараево. На рисунке (Рис. 8.) приведено местоположение проявившегося ранее оползня Тайгараево и участок с красными точками профилирования для оценки устойчивости склона, расположенного рядом с оползневым телом.

На рисунке красным квадратом указан участок зондирования методом

микросейсм или сайт-эффекта (Рис. 9.).



Рис. 8. Фотодокумент проявившегося оползня Тайгараево и участок с красными точками профилирования для оценки устойчивости склона



Рис. 9. Участок зондирования склона ранее методом микросейсм или сайт-эффекта

Из рисунка 10 видно, что в профиле P1-P2 плотность грунта оползневом склоне низкая, а увлажненность высокая. На профиле P1-P3 в середине разреза выделяется грунтовое тело высокой плотности, которая сдерживает сход оползневой массы.

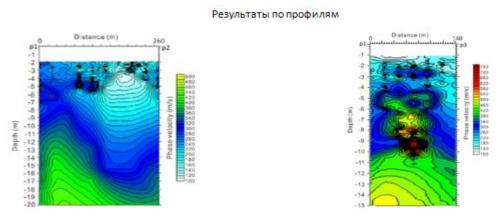


Рис. 10. Профили с результатами зондирования опасного склона методом сейсмических иумов в районе оползня Тайгараево Узгенского района Жалал-Абадской области КР.

Из карты сайт-эффектов на рисунке 11 построенной в результате ГИС обработки записей микросейсм для опасного склона вблизи оползня Тайгараево Узгенского района Жалал-Абадской видно, что грунтовая толща склона в верхней части увлажнена и более разрыхлена по плотности, в средней части склона уплотение возрастает, а в нижней части склона следствие нагрузок сверху глубина залегания плотного грунта уменьшается.

Склон находится в состоянии неустойчивого равновесия и требует повторного зондирования методами как не активной, так и активной сейсмики для сравнения результатов измерений.

На рисунке 11 приведена карта зондирования сайт-эффетов и глубин границ

плотности залегания грунтового массива определенная по обработке данных микросейсм на опасном склоне у оползня Тайгараево Узгенского района Жалал-Абадской области КР.

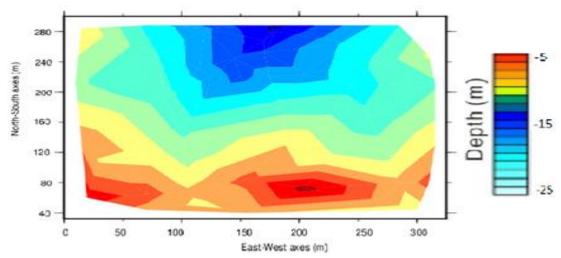


Рис. 11. Карта зондирования сайт-эффектов и границ глубин границ плотности залегания грунтового массива оползневого склона в селе Тайгараево

Выводы

- 1. Использование инновационных технологий зондирования и ГИС методов обработки записей сейсмических шумов на территории городов Бишкек, Каракол и Нарын, позволили получить резонансные значения грунтов и их способности к существенному усилению сейсмических колебаний определенных частот.
- 2. Измерения резонансных явлений характерных для высоких сооружений при близости собственных периодов грунта и здания проведены были в зданиях разного типа и высотности для оценки резонансных свойств зданий. Высокие здания в резонансных условиях испытывают повреждения на 1-2 степени выше, чем такие же здания вне этих условий, а средняя повреждаемость высотных сейсмостойких зданий близка к повреждаемости малоэтажных не сейсмостойких.
- 3. Специалистам, проектирующим здания и сооружения, предлагается использовать результаты исследований для учета резонансных ситуаций и повышения на балл сейсмостойкости объектов строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж., Мелешко А.В., Токмулин Ж.А., Абдыбачаев У.А. Жусупова К. (ЦАИИЗ), Dr. St. Parolai, A. Strollo. GFZ (Германия), Dr. D. Bindi, E. D'Alema, P. Auglie INGV (Италия). Сейсмическое микрорайонирование территории города Бишкек с учетом развития его до 2025 года. В книге: Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики

(издание восьмое с изменениями и дополнениями), Б.: МЧС КР, 2011, С. 675 – 679.

- 2. Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж., Усупаев Ш.Э., Раббаниев Ж. (ЦАИИЗ), Parolai S., Bindi D., Picozzi S.M., Pilz M. Parolai S. (GFZ), Камчибеков М.П., Камчибеков Ы.П. (Институт сейсмологии НАН КР). Мониторинг и предварительная оценка сайтэффекта в целях сейсмического микрорайонирования для территории города Каракол. В книге: Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (издание девятое с изменениями и дополнениями), Б.: МЧС КР, 2012. С. 5 с.
- 3. Орунбаев С.Ж., Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д. Карта сейсмо-сайт-эффектов г. Нарын и его агломераций. В кн: Мониторинг и прогноз возможной активизации чрезвычайных ситуаций на территории Кыргызской Республики (издание 12-ое с изменениями и дополнениями). Б.: МЧС КР, 2015. С. 640 644.