

## Комплекс исследований при оценке сейсмической опасности на ответственных сооружениях в пределах г. Улан-Удэ

© *А. Ю. Ескин, В. И. Джурик, С. П. Серебренников, Е. В. Брыжак*  
Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия. E-mail: eskin@crust.irk.ru

Рассмотрена сейсмическая опасность на ответственных сооружениях в пределах г. Улан-Удэ. В работе определены районы возникновения очагов землетрясений. Выполнены вычисления оценки сейсмической опасности участка работ по результатам, полученным с помощью полевых измерений. Произведены теоритические выкладки сейсмических воздействий для стандартных грунтов. Сделана оценка по максимальным ускорениям для мощных прогнозируемых землетрясений.

**Ключевые слова:** акселерограмма; сейсмические грунтовые модели; исходный сигнал; сейсмоопасность; резонансная частота; сейсмическая жесткость.

## Complex of studies in the assessment of seismic hazard at critical facilities within the city of Ulan-Ude

*A. Yu. Eskin, V. I. Dzhurik, S. P. Serebrennikov, E. V. Bryzhak*  
Institute of Earth's crust SB RAS, Irkutsk, Russia. E-mail: eskin@crust.irk.ru

Seismic hazard is considered at the critical facilities within the city of Ulan-Ude. In the work, the areas of origin of foci of earthquakes are determined. Calculations of the seismic hazard assessment of the work area based on the results obtained with field measurements were performed. Theoretical calculations of seismic actions for standard soils have been made. The estimation on the maximum accelerations for powerful predicted earthquakes is made.

**Key words:** accelerogram; seismic ground models; source signal; seismic hazard; resonant frequency; seismic capacity.

Участок, выбранный для оценки сейсмической опасности, расположен в городской черте г. Улан-Удэ в 650 м от реки Уды. Рассматриваемый участок районирования находится на территории интенсивного Байкальского горообразования, что свидетельствует о высоком уровне сейсмоопасности. Основные разломы данного региона — Туркинский и Удинский. Они достаточно вытянуты (более двухсот километров), имеют сбросовые механизмы очагов и отвечают за сильную сейсмическую активность исследуемой территории. Кроме того являются основой зон возможных очагов землетрясений (ВОЗ), имеющих те же названия, что и разломы. Предполагаемая магнитуда данных зон может достигать 6,5.

Рассматривая исторический и инструментальный периоды изучения макросейсмических данных исследуемого участка о сейсмических событиях, а также учитывая расчетные данные о возможном сильном сейсмическом событии из этих зон ВОЗ [3], можно определить следующее: изучаемая территория расположена в восьми балльной зоне интенсивности сотрясений.

Чтобы произвести комплексную оценку сейсмоопасности исследуемого участка по имеющимся инженерно-геологическим и тектоническим условиям требуется иметь сведения о количественной динамике параметров грунта при возможных сильных землетрясениях. То есть максимальные ускорения колебания грунтов, основной период колебаний в результате сильного землетрясения, данные о сейсмоопасности в баллах и резонансные частоты осадочных пород.

Инженерно-геологический разрез на площади измерений представлен комплексами рыхлых и скальных грунтов. Комплекс рыхлых отложений: почвенно-растительный слой мощностью до 0,1 м. Основой рыхлых отложений является неоднородный дресвяный грунт малой степени водонасыщения с заполнителем в виде твердой супеси, с примесью органического вещества. Залегаем с поверхности повсеместно, мощность изменяется от 0,4 до 1,5 м.

В состав комплекса полускальных грунтов входят песчаники и алевролиты. Первые по составу различаются от среднезернистого мало прочного до очень прочного, слабо пористого не размягчаемого. Песчаники имеют распространение по разрезу от 0,5 до 6,0 метров (мощность от 1,0 до 5,5 м) и от 7,9 до 10,0 метров (мощность от 0,2 до 2,1 м) соответственно. Вторые по составу меняются не так сильно: от низкой прочности (залегаем на глубине от 0,5 до 3,5 м при мощности горизонта 1,2–2,1 м) до пониженной прочности с о средней плотностью (глубина залегания 2,0–10,0 м при мощности 2,2–6,8 м).

В трещинах скальных пород на глубине 4,2–10,0 метров выявлены подземные воды, установившиеся уровни которых расположены в интервале глубин от 4,0 до 7,1.

Основные показатели плотности грунтов в обобщенном виде (в г/см<sup>3</sup>) при природной влажности: дресвяный грунт 1,7–1,9 г/см<sup>3</sup>, алевролит 2,02–2,2 г/см<sup>3</sup>, песчаники от 2,1 до 2,5 г/см<sup>3</sup>.

Используя данные полевых измерений, инженерно-геологические и гидрогеологические сведения, а также теоретические выкладки, можно решить поставленные ранее задачи. Чтобы получить все выше упомянутые материалы и данные были поставлены следующие виды полевых измерений: сейсморазведочные работы, регистрация микросейсм (сейсмометрические работы) и электроразведочные работы. При оценке сейсмической опасности применялись — метод сейсмических жесткостей, метод микросейсм, метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), а также расчетные методы.

При проведении сейсморазведочных работ [7] для выполнения расчетов по методу сейсмических жесткостей [4] использовался метод преломленных волн (МПВ). Измерения реализованы 24-х канальной компьютеризированной цифровой станцией «Лакколит» (Россия) отдельными зондированиями с обеспечением встречных и нагоняющих годографов. Возбуждение сейсмических волн производилось с помощью ударов кувалдой о специальную площадку, расположенную на поверхности грунта. Было выполнено пять сейсмостоянок. Регистрировались как продольные, так и поперечные волны. При такой методике измерений сейсмических волн получается изучать геологический разрез до глубины 10–20 м. На выходах коренных пород или при их неглубоком залегании на территории г. Улан-Удэ выполнялись измерения скоростей сейсмических волн в так называемых «эталонных» грунтах. Полученные сейсмограммы обрабатывались с помощью программы RadExPro.

Измерения электрических сопротивлений грунта были выполнены методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) с помощью цифровой электроразведочной аппаратуры «Электротест-С» (Россия) [8].

В результате проведено 5 зондирований с разносами АВ/2 до 150 м. Их задачей являлось уточнение верхней части геологического разреза для построения расчетных сейсмогрунтовых моделей. Точность измерений определена в 5% и меньше. Интерпретация кривых проводилась по программе IPI2Win [9].

Кроме метода сейсмических жесткостей при оценке сейсмоопасности использовался сейсмометрический метод (микросейсм).

В его основе находятся измерения и анализ движения грунтов разных категорий на очень незначительные воздействия на них техногенного или естественного происхождения [1]. Данные измерения и спектральный анализ микросейсм грунта дают возможность определить сейсмические свойства грунта изучаемого участка. Учитывая, что на исследуемой территории и вблизи ее нет выходов «эталонных» коренных пород, основное предпочтение отдавалось методу спектральных отношений.

По этому способу рассчитывались частотные характеристики (АЧХ). Прежде всего делается спектральный анализ микросейсмических колебаний грунта, затем АЧХ определяют как отношение между спектрами горизонтальных и вертикальной составляющих сигнала. Что, в конечном итоге, дает возможность убрать спектральные составляющие, наложенные техногенным шумом на полезный сигнал, и получить достоверные оценки преобладающих периодов или частот колебаний грунта.

Все измерения на местности фиксировались с помощью GPS-геодезии.

Применение расчетных методов необходимо для получения параметров сейсмических воздействий при возможных сильных землетрясениях таких как спектры ускорений, акселерограммы, максимальные ускорения и частотные характеристики осадочных пород до глубины 30 метров [6].

В результате проведенных исследований выполнен анализ данных по тектонике, сейсмической геологии и сейсмологии района. Активные разломы являются основой выделения зон ВОЗ (вероятных очагов землетрясений) с магнитудой до 6,5.

Комплексная оценка сейсмической опасности участка исследований с учетом грунтовых и гидрогеологических условий обосновывается равной 8 баллам.

Максимальное ускорение сейсмических колебаний на случай сильных землетрясений для компоненты NS оценивается в 185–190 см/с<sup>2</sup>, для компоненты Z в 76–86 см/с<sup>2</sup>, максимальные увеличения колебаний можно ожидать в интервале резонансных частот 10–12 Гц.

Оценка сейсмической опасности изучаемой территории проведена с учетом исходной сейсмичности равной 8 баллам, обоснованной для объектов повышенной ответственности.

Это девятая часть пяти процентный риск не превышения (или пяти процентный риск вероятности превышения) полученной интенсивности в течение пятидесяти лет, так как период повторяемости сильных землетрясений, для утвержденной исходной сейсмичности, раз в тысячу лет.

Стоит отметить, что для исследуемого участка рекомендуется использовать максимальные значения ускорений. При проведении расчетов сейсмических воздействий учитывались упругие деформации

ции, при которых определение величин остаточных деформаций возможно по шкалам балльности с учетом полученных значений максимальных ускорений.

#### *Литература*

1. Горбатиков А. В., Степанова М. Ю., Кораблев Г. Е. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм // Физика Земли. 2008. № 7. С. 64–84.
2. Методика формирования сейсмического сигнала с целью районирования сейсмической опасности городских агломераций (на примере г. Иркутска) / В. И. Джурик [и др.] // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2012. Т.5. № 2. С. 96–110.
3. Литосфера Центральной Азии. Новосибирск: Наука, 1996. 238 с.
4. Медведев С. В. Инженерная сейсмология. Госстройиздат, 1962. 260 с.
5. Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность: методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию / В. И. Джурик [и др.] // М.: Наука, 1988. 224 с.
6. Ратникова Л. И. Расчет колебаний на свободной поверхности во внутренних точках горизонтально-слоистого поглощающего грунта // Сейсмическое микрорайонирование. М.: Наука, 1984. С. 116–121.
7. Сейсморазведка. Справочник геофизика. М.: Недра, 1981. 462 с.
8. Электроразведка. Справочник геофизика. М.: Недра, 1982. 480 с.
9. IPI2Win. Руководство пользователя. М.: МГУ, Геолог. Ф-т, каф. Геофизики, 2004. 33 с.

**Ескин Александр Юрьевич**, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Института земной коры СО РАН, г. Иркутск.