РАЙОНИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ОГРАНИЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ СРЕДНЕГО БАЙКАЛА

Е.В. Брыжак, В.И. Джурик

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, bryzhak@crust.irk.ru

В работе рассматривается в методическом и результативном плане сейсмическая опасность территорий Байкало-Монгольского региона на примере двух участков: реконструкции аэропорта, расположенного в п. Горячинск, и строительства гостиничного комплекса, расположенного в п. Турка. Участки исследований расположены на Восточном побережье среднего Байкала в Прибайкальском районе Республики Бурятия (расстояние между ними около 11 км).

Исследуемая территория расположена на юго-западе активизированной окраины Сибирской платформы, где основным разрывными нарушениями, ответственными за высокий сейсмический потенциал территории, является Морской разлом ($M=7,5$). Разлом (сброс) имеет общую протяженность до 180 км (кайнозой). При относительно высокой сейсмической активности, в пределах активной части разлома выявлены сейсмические события до 8 баллов. Согласно карте общего сейсмического районирования ОСР-2015-А, исследуемая территория относится к области возможных 8-балльных сотрясений, согласно карте ОСР-2015-В – к области 9 баллов (рис. 1). В дальнейшем для участка строительства гостиничного комплекса в п. Турка (участок «Турка») принята исходная сейсмичность 8 баллов (карта ОСР-2015-А), а для участка реконструкции аэропорта в п. Горячинск (участок «Горячинск») – 9 баллов (карта ОСР-2015-В). Выбор соответствующей карты ОСР происходит на стадии проектирования здания или сооружения. Все дальнейшие расчеты проведены относительно исходной сейсмичности равной 8 и 9 баллов, для средних грунтовых условий. Возможные изменения сейсмических воздействий от принятого уровня сейсмичности (8 и 9 баллов, для средних грунтов) определяются местными строительными условиями площадки.

Рис 1. Фрагмент карт ОСР 2015-А и ОСР 2015-В

Для проектирования сейсмостойких сооружений важное значение имеет оценка параметров сейсмических воздействий в баллах и в максимальных ускорениях, а также характеристика частотного состава колебаний грунтов для горизонтальной и вертикальной составляющих. Для решения этой задачи был использован комплекс экспериментальных и расчетных методов: метод сейсмических жесткостей (МСЖ), метод микросейсм, метод тонкослоистых сред (МТС) [3].

Одним из важных параметров для реализации необходимых расчетов по методу сейсмических жесткостей являются скорости сейсмических волн в слоях грунтов до относительно сохранных коренных «эталонных» пород. Для их получения проводились сейсморазведочные наблюдения методом преломленных волн (КМПВ).

На участке «Горячинск» первый слой до глубины залегания УГВ (до 4 м) имеет диапазон скоростей продольных волн (V_p) от 600 до 900-1200 м/с, отношение скоростей продольных волн и поперечных волн V_p/V_s меняется от 2 до 2,2. Второй слой водонасыщенных грунтов, представлен в основном щебенисто-глыбовым грунтом с песчаным заполнителем; V_p меняется от 1500 до 1900 м/с, V_p/V_s – от 2,3 до 3,5. Такое отношение скоростей в водонасыщенных грунтах, по-видимому, связано с преобладанием в них крупных фракций. Третий слой соответству-

ет сильно трещиноватым коренным породам со значениями скоростей V_p от 1900 до 2200 м/с. Ниже в коренных породах скорости быстро увеличиваются до 2400-2500 м/с и далее до 2800 м/с. На участке «Турка» верхний слой от 2 до 4 м, имеет значения скоростей продольных волн от 300 до 420 м/с. Это относительно низкие для верхней зоны разреза значения скоростей и они обусловлены слоем сезонного промерзания, насыпными и песчаными грунтами. Подстилающий слой от 5,5 до 7 м представлен средне- и крупнозернистыми водонасыщенными грунтами. Скорости сейсмических волн в нем меняются в небольших пределах от 1530 до 1690 м/с – V_p и от 240 до 390 м/с – V_s . Ниже залегают крупнозернистые и гравелистые водонасыщенные пески мощностью более 30 м, скорости $V_p = 1710-1810$ м/с и $V_s = 280-440$ м/с.

Значения скоростей «эталона» выбирались с учетом данных измерений скоростей в коренных породах, выполненных ранее в пределах Баргузинского хребта в верхней зоне разреза. В итоге, вполне обоснованно, для участка «Горячинск» за эталон принимаются наиболее вероятные значения скоростей в трещиноватых коренных породах со значениями V_p равными 2100 м/с и $V_s = 1100$ м/с. Для участка «Турка» за эталон принимаются наиболее вероятные их значения равные 2000 м/с – V_p и 1050 м/с – V_s . Для обоих участков наиболее вероятная объемная масса этих грунтов, по инженерно-геологическим данным, близка к $2,5 \text{ т/м}^3$. Сейсмическая опасность участков с такими значениями скоростей принимается равной 7 и 8 баллам.

В итоге по методу сейсмических жесткостей для участка «Горячинск» приращения балльности по отношению к эталонному грунту (коренные породы) по методу сейсмических жесткостей лежат в пределах от 0,7 до 1,3 баллов. Сейсмическая опасность всей площадки реконструкции аэропорта варьирует от 8,7 до 9,3 баллов. Для участка «Турка» отмечается, что для установленного прогнозного УГВ (1-2 м) приращение балльности находится в пределах от 1,95 до 2,16. Сейсмическая опасность площадки достигает значений 8,95-9,16 баллов.

В дополнение к методу сейсмических жесткостей был использован метод микросейсм. Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) в пунктах проведения измерений на исследуемых площадках характеризуют степень увеличения интенсивности колебаний грунтов в зависимости от частоты. Уровни передаточных функций (АЧХ) непосредственно использовались для расчета приращений балльности для каждого пункта регистрации микросейсм. Оценка сейсмической опасности площадки с помощью метода микросейсм приводит к следующим результатам. Для участка «Горячинск» основные максимумы частотных характеристик приходятся на диапазон частот от 2 до 5 Гц. Приращения сейсмической опасности по отношению к эталонным коренным породам меняются от 0,5 до 1,3 баллов. Сейсмическая опасность площадки по этому методу варьирует от 8,5 до 9,3 баллов, что хорошо коррелирует с данными метода сейсмических жесткостей. На участке «Турка» частотные характеристики показывают, что опасные для сооружения частоты входят в интервал от 1-2 до 10 Гц. Максимальные увеличения приходятся на относительно низкие частоты 2,9-4,4 Гц. В результате по отношению к эталонным коренным породам приращения сейсмической опасности оцениваются в интервале от 1,6 до 2,2 балла, а сейсмическая опасность по этому методу меняется от 8,6 до 9,16 баллов.

Исходный сигнал для вероятного сильного землетрясения определялся на основе количественных геолого-геофизических и сейсмологических данных. Расчетная модель – на основе инженерно-геологических данных, прямых измерений и обобщенных данных о скоростях сейсмических волн на площадке строительства. Исходные акселерограммы (рис. 2) сформированы по методике, изложенной в работах [1, 2], при использовании местных землетрясений из каталога Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН.

Основные параметры сформированных акселерограмм следующие: продолжительность колебаний около 20 с; интервал частот спектра на уровне 0,5 от максимума для горизонтальных компонент (NS и EW) меняется от 1,9 до 16,1 Гц, на уровне 0,7 от максимума – от 2,49 до 11,8. Максимальные значения основных максимумов спектра приходятся на частоты 6,74 и 6,79 Гц, а их значения достигают 36,5 и 40,8 см/с – для участка «Горячинск», 18,2 и 20,4 см/с – для участка «Турка». Максимальное значение ускорений достигает $196-200 \text{ см/с}^2$ для участка «Горячинск», $98-100 \text{ см/с}^2$ – для участка «Турка». Для вертикальной компоненты отмеченные выше величины распределяются следующим образом: интервал частот спектра на уровне 0,5 от максимума для горизонтальных компонент (NS и EW) меняется от 1,9 до 15,4 Гц, на уровне 0,7 от максимума – от 3,03 до 10,4. Максимальное значение основного максимума спектра приходится на частоту 4,44 Гц, а его максимум равен 21 см/с для участка «Горячинск», 10,5 см/с – для

участка «Турка». Максимальное значение ускорений составляет 100 см/с^2 (участок «Горячинск») и 49 см/с^2 (участок «Турка»).

Рис. 2. Сформированный сейсмический сигнал для коренных «эталонных» грунтов для исследуемых территорий с принятой исходной сейсмичностью равной 8 баллам (участок «Турка», черные линии) и 9 баллам (участок «Горячинск», серые линии). А – исходные акселерограммы, Б – соответствующие им амплитудные спектры Фурье: 1 – для NS, 2 – для EW, 3 – для Z компоненты

Для проведения теоретических расчетов по методу тонкослоистых сред были построены типовые грунтовые модели, которые характеризуются мощностью слоев, скоростями распространения продольных и поперечных волн и плотностью грунтов. Для этого использовались данные о скоростях распространения сейсмических волн и данные электроразведки. Они соответствуют различной мощности рыхлых, разрушенных и трещиноватых коренных пород, в большинстве случаев водонасыщенных, для исследуемой площадки. Подстилаются они коренными породами с «эталонными» значениями скоростей. Для участка «Горячинск» ускорения колебаний грунтов меняются от 359 до 453 см/с^2 для NS и от 183 до 242 см/с^2 для Z компонент. Максимумы спектров лежат в интервале $58,4\text{--}90,4 \text{ см/с}$ – NS и $41\text{--}52,9 \text{ см/с}$ – Z. Ширина спектра на уровне $0,7$ от максимума находится в интервале частот от $2,98$ до $15,3 \text{ Гц}$. Для участка «Турка» получены следующие расчетные данные. Ускорение колебаний достигает значения равного 370 см/с^2 для максимальной горизонтальной компоненты NS и 180 см/с^2 для Z компоненты. Максимальное значение спектров: 116 см/с – NS и $33,1 \text{ см/с}$ – Z. Максимумы спектров на уровне $0,7$ лежат в интервале $1,81\text{--}4,44 \text{ Гц}$ – NS и $2,88\text{--}10,3 \text{ Гц}$ – Z. Полученные с помощью расчетного метода ускорения для обеих площадок строительства соответствуют сейсмическому воздействию, равному 9 баллам.

Несмотря на различие в исходной сейсмичности в 1 балл, за счет различного приращения балльности (+2 и +1 балл соответственно) в итоге, при использовании комплекса экспериментальных и расчетных методов, сейсмическая опасность вполне обоснованно оценивается как относительно однородная в сейсмическом отношении в 9 баллов для обоих участков. Полученный результат еще раз убедительно показывает значительность влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность в пределах ограниченных территорий на примере Восточного побережья среднего Байкала.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и МОКНСМ в рамках научного проекта № 20-55-44011.

Литература

1. Джурик В.И., Серебренников С.П., Дреннов А.Ф., Брыжак Е.В., Ескин А.Ю. Методика формирования сейсмического сигнала с целью районирования сейсмической опасности городских агломераций (на примере г. Иркутска) // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2012. Т.5. №2. С.96-110.
2. Джурик В.И., Серебренников С.П., Брыжак Е.В., Ескин А.Ю. К методике формирования исходных сигналов с целью прогноза максимальных сейсмических воздействий (на примере г. Иркутска) // Успехи современного естествознания. №3. 2016. С. 146-152.
3. Ратникова Л.И. Методы расчета сейсмических волн в тонкослоистых средах. М.: 1973. 124 с.