

УДК 550.348/349

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ УЧАСТКА СТРОИТЕЛЬСТВА МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ И РАСЧЕТНЫМ МЕТОДАМ

© С.П. Серебренников¹, В.И. Джурик², Е.В. Брыжак³, А.Ю. Ескин⁴

Институт земной коры СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

Предложена методика инструментальных измерений и расчетов необходимых параметров для обоснования сейсмической опасности участков строительства инженерно-технических сооружений. На примере мостового перехода через железнодорожные пути представлены сведения о количественной оценке параметров движения грунта на случай сильного землетрясения, соответствующего уровню исходной сейсмичности района строительства. В отношении проведенных расчетов сейсмических воздействий отмечается, что они сделаны в предположении упругого деформирования. Величины остаточных деформаций могут оцениваться по шкалам балльности с учетом расчетных значений максимальных ускорений.

Ключевые слова: сейсмическая опасность; инженерная сейсмология; сейсмограммы; грунтовые модели; грунты.

SEISMIC HAZARD ASSESSMENT DATA FOR A BRIDGE CONSTRUCTION SITE BY EXPERIMENTAL AND CALCULATION METHODS

S.P. Serebrennikov, V.I. Dzhurik, E.V. Bryzhak, A.I. Eskin

Institute of the Earth Crust SB RAS, 128 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia.

The paper introduces the technique of instrumental measurements and calculations of the parameters required to substantiate the seismic hazard of engineering structure construction sites. Using the railway bridge crossing as an example, the authors present the data on the quantitative assessment of ground motion parameters for the case of a strong earthquake corresponding to the initial seismicity level of the construction site. The calculations of seismic effects have been performed assuming elastic deformation. The values of residual deformation levels can be assessed by seismic intensity scales with regard to the predicted peak accelerations.

Keywords: seismic hazard; engineering seismology; seismograms; ground models; grounds.

В статье представлена методика инструментальных измерений и расчетов необходимых параметров для обоснования сейсмической опасности участков строительства инженерно-технических сооружений.

Представленная методика разрабатывается авторами для линейных сооружений (нефтепроводы, автомобильные и железнодорожные сооружения) и площадного районирования сейсмической опасности. В статье мы представляем

¹Серебренников Сергей Петрович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, тел.: (3952) 425860, e-mail: serebr@crust.irk.ru

Serebrennikov Sergei, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Senior Researcher, tel.: (3952) 425860, e-mail: serebr@crust.irk.ru

²Джурик Василий Ионович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией инженерной сейсмологии и сейсмогеологии, тел.: (3952) 427510, e-mail: dzhurik@crust.irk.ru

Dzhurik Vasily, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Head of the Laboratory of Engineering Seismology and Seismogeology, tel.: (3952) 427510, e-mail: dzhurik@crust.irk.ru

³Брыжак Евгений Вадимович, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, тел.: (3952) 425860, e-mail: bryzhak@crust.irk.ru

Bryzhak Evgeniy, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Researcher, tel.: (3952) 425860, e-mail: bryzhak@crust.irk.ru

⁴Ескин Александр Юрьевич, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, тел.: (3952) 425860, e-mail: eskin@crust.irk.ru

Eskin Aleksandr, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Researcher, tel.: (3952) 425860, e-mail: eskin@crust.irk.ru

возможности метода для конкретного объекта строительства с высоким уровнем детализации.

Инженерно-сейсмологические работы выполнялись на участке строительства путепровода через железную дорогу на км 1362+900 автодороги М-53 «Байкал». Площадка расположена вблизи населенного пункта Куряты в Нижнеудинском районе Иркутской области. В сейсмическом отношении она находится в зоне возможных сотрясений с различной вероятностью от 6 до 8 баллов согласно карте ОСР-97 [1].

Исследования по обоснованию сейсмической опасности путепровода основываются на количественной оценке принятого набора параметров движений грунта на случай сильных землетрясений. Это прежде всего сейсмическая опасность в баллах, максимальное ускорение колебаний грунтов, преобладающие периоды колебаний на случай сильных землетрясений и резонансные частоты рыхлой толщи. Для их количественной оценки используется метод сейсмических жесткостей, метод микросейсм и расчетные методы [9].

Исследуемая территория расположена в пределах юго-западной части активизированной окраины Сибирской платформы, где данные о сейсмических событиях, зарегистрированных за инструментальный период наблюдений, и расчетные данные о возможном транзитном сейсмическом сотрясении из расположенных на исследуемой площади зон возникновения очагов землетрясений позволяют сделать вывод: площадка строительства находится в зоне интенсивности сотрясений в 7 баллов. Такие сотрясения могут быть обусловлены очагами землетрясений с магнитудой от 5,9 до 7,2, удаленными на расстояние 100 и более километров от объектов строительства [2].

Для решения поставленной задачи используется методика инструментальных измерений и расчетов необходимых параметров для обоснования сейсмиче-

ской опасности участка строительства путепровода.

Метод сейсмических жесткостей. Для проведения расчетов сейсмической опасности в баллах по методу сейсмических жесткостей необходимы данные о составе грунтов, скоростях распространения в них продольных и поперечных волн, глубине залегания уровня грунтовых вод, мощности рыхлых отложений, объемной массе эталонных и исследуемых грунтов.

Скорости сейсмических волн измерялись методом преломленных волн. Длина годографов составляла от 46 до 92 м. Сейсмические волны возбуждались с помощью ударов. Наблюдения проводились с возможностью регистрации продольных и поперечных волн. Такая методика измерений позволяет получать средние значения скоростей в верхней зоне разреза до глубины 10–20 м.

Характерные сейсмограммы, зарегистрированные непосредственно на площадке строительства и на выходах коренных пород, представлены на рис. 1.

По пунктам зондирования до глубины 10–15 м выделяются в основном два слоя, по мощности и в скоростном отношении они достаточно выдержаны. Верхний слой до 3–5 м представлен неводонасыщенными рыхлыми грунтами, имеющими скорости распространения продольных и поперечных волн $V_p = 710–880$ м/с и $V_s = 310–380$ м/с. Далее идет слой этих же водонасыщенных грунтов со значениями $V_p = 1560–1750$ м/с и $V_s = 500–600$ м/с.

Для коренных «эталонных» пород сейсмограммы зарегистрированы на расстоянии не более 15 км от площадки в карьере. Грунты представлены песчаниками, верхний разрушенный слой на участке измерений снят. Средняя скорость в верхнем 10-метровом слое для этих грунтов близка к 2200 м/с, поперечных – 1180 м/с. Ниже залегают более плотные коренные породы со значениями V_p , превышающими 2500 м/с. Расчет скоростей проводился по методу

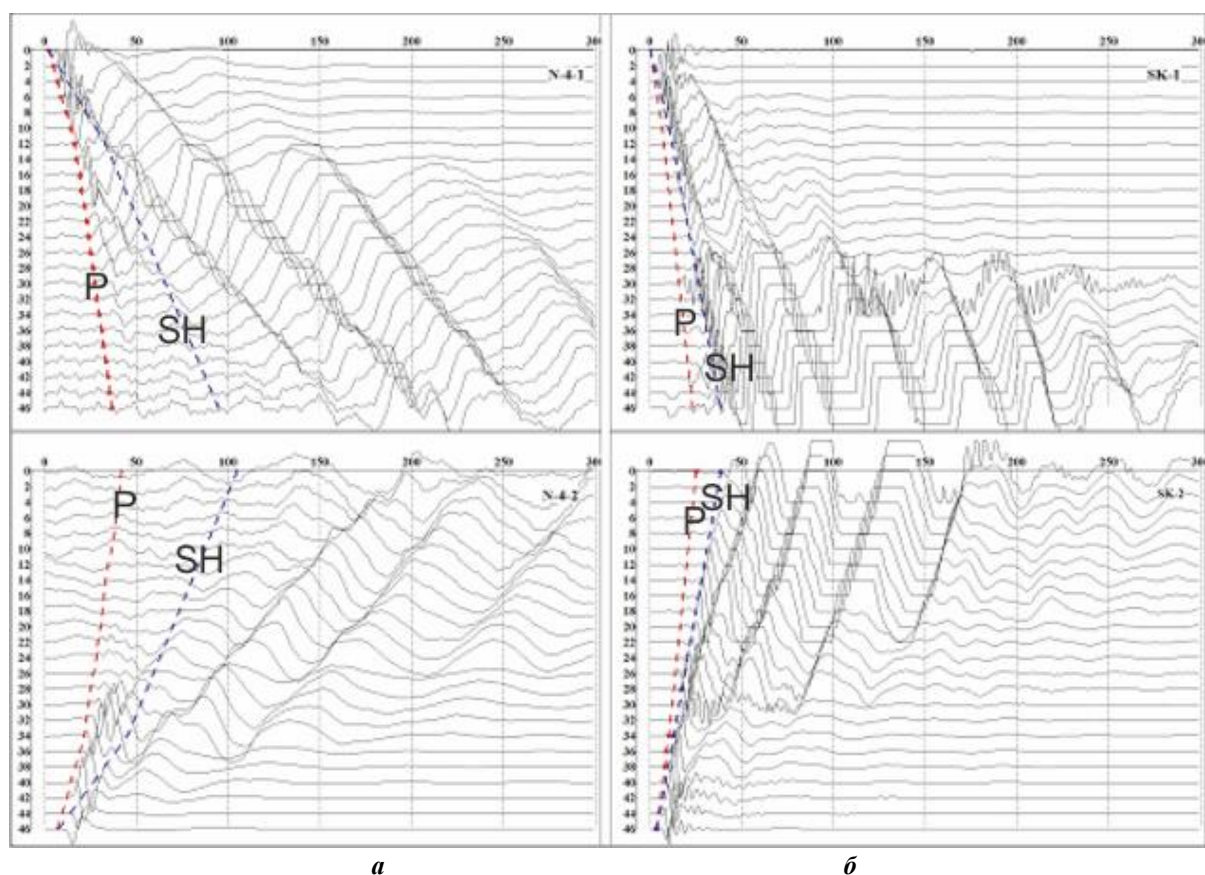


Рис. 1. Примеры сейсмограмм, зарегистрированных на участке строительства путепровода в точках сейсмозондирования на рыхлых грунтах (а) и скальных грунтах (б). Пунктиры – вероятные вступления продольной (P) и поперечной (SH) волн

преломленных волн при использовании специальных программ [10].

Дополнительно были проведены измерения скоростей ультразвука на образцах, в основном они представлены песчаниками. Результаты измерений позволяют уверенно контролировать выбор скоростей сейсмических волн в эталонных коренных породах.

В итоге за эталон принимаются значения скоростей в трещиноватых песчаниках верхней зоны разреза $V_p = 2200$ м/с и $V_s = 1180$ м/с. Значению скоростей продольных волн соответствуют первые максимумы распределения V_p ультразвука, они находятся в пределах от 1800 до 2400 м/с и соответствуют менее сохранным коренным породам. Последующие максимумы распределения скоростей ультразвука (от 2500 до 3100 м/с) обязаны менее трещиноватым этим же разновидностям грунтов и могут соответствовать более глубокому их

залеганию, что учитывается нами при формировании сейсмогрунтовых моделей.

Все необходимые данные для расчетов сейсмической опасности по методу сейсмических жесткостей сведены в табл. 1. В результате сейсмическая опасность по этому методу для всей площадки строительства оценивается в пределах от 7,16 до 7,34 балла.

Метод микросейсм. Из инструментальных методов в комплексе с методом сейсмических жесткостей применялся метод микросейсм [9]. В основе метода лежат измерения и анализ реакции различных категорий грунтов на микросейсмические колебания естественного или техногенного происхождения. Измерения уровня и спектральный анализ микросейсмических колебаний позволяют оценить сейсмические свойства грунта на исследуемой площадке. Расчет приращений сейсмической балльности

Таблица 1

Расчетные приращения балльности по методу сейсмических жесткостей

Номер точки землетрясений	$Vp(10)$, м/с	$\rho(10)$, г/см ³	dI_{gp} , балл	$УГВ$, м	$dI_{yзв}$, балл	$dI_{сумм}$, балл
N-1	820	1,9	0,91	4,6	0,43	1,34
N-2	880	1,9	0,86	4,85	0,39	1,25
N-3	750	1,9	0,98	5,0	0,18	1,16
N-4	780	1,9	0,95	3	0,35	1,30
N-5	770	1,9	0,96	2,9	0,36	1,32

Примечание. $Vp(10)$ – средневзвешенные значения скоростей распространения продольных волн в десятиметровом слое; $\rho(10)$ – средневзвешенные значения объемной плотности; dI_{gp} – приращение балльности за грунтовые условия, рассчитанное по продольным волнам; $УГВ$ – уровень грунтовых вод по данным бурения; $dI_{yзв}$ – приращение балльности за счет обводненности; $dI_{сумм}$ – суммарное приращение балльности.

в этом случае ведется по следующему выражению:

$$\Delta I = K \lg B_i / B_{э}, \quad (1)$$

где K – постоянный коэффициент; B_i – векторное значение среднеквадратичных амплитуд микроколебаний на исследуемом грунте; $B_{э}$ – векторное значение среднеквадратичных амплитуд микроколебаний на эталонном грунте.

Постоянный коэффициент K зависит от региональных условий и определяется на основе данных по макросейсмике или других методов СМР. Его значение было принято равным 1,6 на основании проведенных ранее работ. За эталонный грунт берется грунт с известными сейсмическими характеристиками, которые определяются другими методами СМР, в нашем случае методом сейсмических жесткостей. За эталонный грунт обычно берется скальный грунт или грунты первой категории. Это позволяет оценивать амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) грунтов на исследуемой площадке и тем самым определять их резонансные и сейсмические характеристики.

Если на исследуемой площадке эталонный грунт отсутствует, то оценку частотных характеристик можно выполнить способом спектральных отношений. Для этого проводится спектральный

анализ микросейсм, а АЧХ определяются по отношению между спектрами горизонтальных и вертикальных компонент. Этот способ позволяет компенсировать спектральные компоненты, вызываемые техногенным шумом, и получить достаточно надежные оценки преобладающих периодов (частот) колебаний грунтов.

В этом случае АЧХ определяется согласно выражения

$$U(x) = (H_N + H_E) / 2V_Z, \quad (2)$$

где H_N , H_E – спектры микросейсм по горизонтальным компонентам N-S и E-W; V_Z – спектр по вертикальной компоненте Z.

Максимальное значение АЧХ связано с резонансными особенностями рыхлой толщи грунта и определяет его сейсмические свойства. Приращения балльности определяются по формуле

$$\Delta I = K \lg U_{max}, \quad (3)$$

где K – эмпирический коэффициент; U_{max} – максимальные значения АЧХ. Приращения балльности определяются относительно скального грунта.

Для записи микроколебаний на площадке использовалась многоканальная цифровая сейсмическая станция с трехкомпонентными сейсмоприемниками. Применяемая аппаратура обеспечивала динамический диапазон 96 дБ в

полосе частот от 0,1 до 300 Гц в режиме регистрации скорости перемещений. В каждом пункте измерения для получения необходимой статистической надежности в оценке уровня и спектрального состава микроколебаний регистрация велась не менее 5 минут. При этом регистрировались колебания в двух горизонтальных плоскостях X и Y, ориентированных на север и восток и в вертикальной плоскости Z. Регистрация микросейсм проводилась в пунктах сейсмозондирований.

АЧХ в пунктах проведения измерений на площадке приведены на рис. 2. Физически они отвечают за степень увеличения интенсивности колебаний грунтов в зависимости от частоты. Уровни передаточных функций (АЧХ) непосредственно использовались для расчета приращений балльности для каждого пункта регистрации микросейсм.

В табл. 2 приведены номера пунктов регистрации (ПН) микросейсм, максимальные значения амплитудно-частотных характеристик $U(f)$, частота f_{max} , соответствующая этому максимуму, и приращения сейсмической опасности по отношению к коренным породам в баллах ΔI , рассчитанные по формуле (3).

Таким образом, оценка сейсмической опасности площадки с помощью метода микросейсм приводит к следующим результатам. Приращения сейсмической опасности по отношению к эталонным коренным породам меняется от 0,7 до 1,0 балла. Сейсмическая опасность площадки по этому методу меняется от 6,7 до 7,0 балла. Это хорошо согласуется с данными метода сейсмических жесткостей, рассчитанных по формулам (1) и (2). Частотные характеристики по методу микросейсм показывают

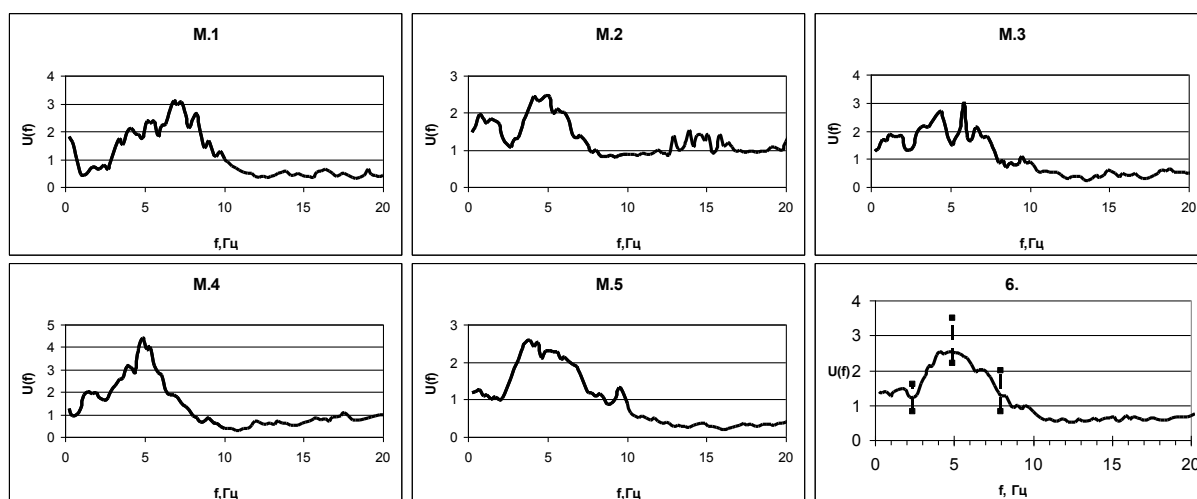


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики в пунктах проведения измерений: М1–М5 – пункты регистрации микросейсм; 6 – средняя частотная характеристика (пунктиром указан доверительный интервал на уровне 0,7)

Таблица 2

Расчетные приращения балльности по методу микросейсм

Номер пункта наблюдения	ПН	f_{max} , Гц	$U(f)_{max}$	ΔI , балл	I , балл
1	М.1	7,0	3,1	0,8	6,8
2	М.2	4,9	2,5	0,6	6,6
3	М.3	5,9	3,0	0,8	6,8
4	М.4	4,9	4,4	1,0	7,0
5	М.5	3,9	2,6	0,7	6,7

(см. рис. 2), что основные увеличения колебаний верхним слоем рыхлых отложений на всем участке путепровода необходимо ожидать на интервале частот от 3 до 7 Гц. Представленная средняя частотная характеристика и ее доверительные интервалы (см. рис. 2), а также данные о сейсмической опасности площадки по двум методам свидетельствуют об ее относительной однородности в сейсмическом отношении. В дальнейшем для проверки этого заключения и с целью оценки параметров сейсмических воздействий на случай сильных землетрясений ниже приводятся результаты теоретических расчетов, при реализации которых учитывались и данные инструментальных методов.

Для расчета сейсмических воздействий на случай вероятных сильных землетрясений при проектировании сейсмостойких ответственных линейных сооружений важное значение имеет оценка параметров сейсмических воздействий в баллах и в максимальных ускорениях, а также характеристика частотного со-

става колебаний грунтов для горизонтальной и вертикальной составляющих. Для реализации такого подхода нам необходимо представить участок строительства путепровода в виде сейсмогрунтовых моделей. Параметрами таких моделей являются значения мощности слоев, объемная масса грунтов и скорости распространения продольных и поперечных волн.

Для исследуемой площадки сформированы три вероятные сейсмогрунтовые модели (табл. 3). При их формировании учитывалось распределение объемной массы для второго и последующих слоев с поверхности и измеренные значения скоростей сейсмических волн в них. Кроме того, они были несколько скорректированы с учетом глубины их залегания ниже 20–30 м при использовании литературных данных и резонансных частот по осредненной частотной характеристике.

Первая модель соответствует эталонным коренным породам исследуемого района, модели 2 и 3 характеризуют

Таблица 3

Вероятные сейсмические модели и расчетные параметры сейсмических воздействий для участков строительства

Номер модели	Состав слоя	<i>H</i> , м	ρ , г/см ³	<i>V_p</i> , м/с	<i>V_s</i> , м/с	<i>I</i> , балл; макс. ускорение <i>NS</i> , <i>Z</i> , см/с ²
1 (эталон)	Коренные трещиноватые породы	10	2,5	2200	1180	<i>I</i> = 6 <i>NS</i> = 52 <i>Z</i> = 14
	Коренные относительно сохранные породы	∞	2,6	2700	1400	
2	Рыхлые воздушно-сухие грунты	5	1,9	700	350	<i>I</i> = 7 <i>NS</i> = 122 <i>Z</i> = 41
	Рыхлые водонасыщенные грунты	15	2,0	1700	500	
	Рыхлые водонасыщенные грунты	20	2,1	1800	580	
	Рыхлые водонасыщенные грунты	20	2,2	1900	700	
	Коренные трещиноватые породы	10	2,5	2200	1180	
Коренные относительно сохранные породы	∞	2,6	2700	1500		
3	Рыхлые воздушно-сухие грунты	3	1,9	600	300	<i>I</i> = 7 <i>NS</i> = 134 <i>Z</i> = 45
	Рыхлые водонасыщенные грунты	15	2,0	1700	500	
	Рыхлые водонасыщенные грунты	20	2,1	1800	580	
	Рыхлые водонасыщенные грунты	20	2,2	1900	700	
	Коренные трещиноватые породы	10	2,5	2200	1180	
Коренные относительно сохранные породы	∞	2,6	2700	1500		

участки строительства путепровода, которые практически различаются только параметрами их верхней зоны разреза до 10 м.

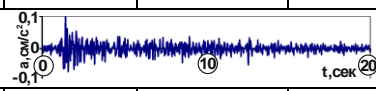
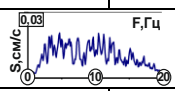
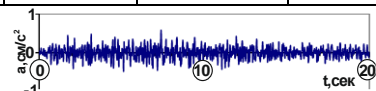
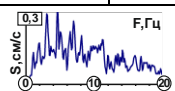

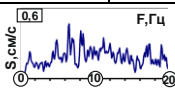
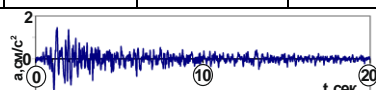
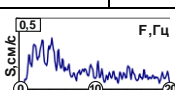
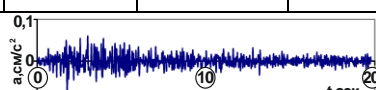
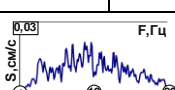
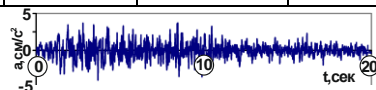
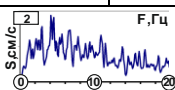
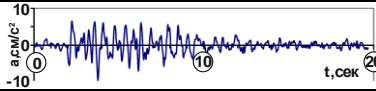
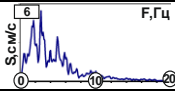
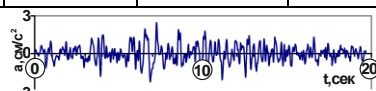
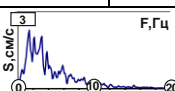
Для расчетов акселерограмм, спектральных характеристик, спектров ускорений использовался набор методов. Для их реализации необходимо задание исходного сигнала – акселерограммы, отвечающей принятой исходной сейсмичности по карте В, равной 7 баллам.

Основные параметры: глубина очага – 15–20 км, удаление – 100–300 км, магнитуда – от 5,9 до 7,2, механизм – взбросо-сдвиг.

Само задание сигнала отвечало требованиям, изложенным в руководстве по безопасности [10], программам и другим нормативным документам [8]. Но реально нами использовались в основном записи местных землетрясений (табл. 4).

Таблица 4

Основные параметры отобранных землетрясений

Номер землетрясения	Дата и время	Координаты эпицентров		Энергетический класс землетрясений K_p	Магнитуда M	Эпицентральное расстояние до сейсмостанции Орлик, км	Расстояние до г. Нижнеудинска, км
		Северная широта	Восточная долгота				
1	7.06.2002 12-38-58.5	53,6	99,72	10,4	3,6	118	153
							
2	17.09.2003 02-59-56.0	51,75	101,46	13,7	5,4	144	387
							
3	19.01.2004 13-50-53.8	51,89	100,15	13	5	76	344
							
4	23.02.2005 19-55-11.2	52,35	101,59	13,6	5,3	123	331
							
5	15.12.2005 03-53-50.4	53,99	101,20	11,5	4,2	186	178
							
6	16.08.2008 04-01-08	52,13	98,32	>15	6,2	188	423
							
7	27.08.2008 01-35-31.4	51,62	104,06	>15	6,4	309	496
							
8	27.12.2011 15-22-01.3	51,84	96,01	>15	6,7	271	396
							

По отобранным записям вначале рассчитывался средний амплитудный спектр по всей совокупности имеющихся в распоряжении авторов данных, отвечающих основным параметрам зон возникновения очагов землетрясений. Для этого с использованием записей акселерограмм и рассчитывались их спектры (см. табл. 4), далее они нормировались и находился их средний спектр. Фазовый спектр также определялся по данным записей местных землетрясений. Следующим этапом был Фурье-синтез среднего амплитудного спектра с фазовым спектром местного землетрясения.

Такая акселерограмма была синтезирована для горизонтальной компо-

ненты и представлена для твердых грунтов без учета двойного отражения от поверхности (*a*), приведен ее спектр Фурье (*б*) (рис. 3). Он на уровне 0,5 от максимума охватывает диапазон частот от 1 до 5 Гц, а основной максимум спектра приходится на 2,4 и 5 Гц. Это отвечает распределением максимумов спектра транзитных землетрясений, которые наиболее опасны для путепровода.

Далее расчеты выполнены с помощью метода тонкослоистых сред [3, 5–7, 11].

Основные параметры сведены в табл. 5.

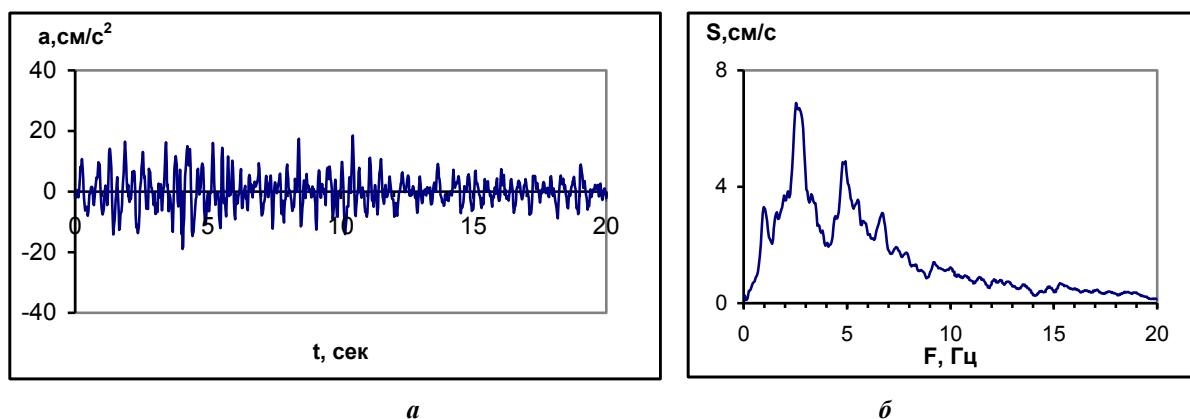


Рис. 3. Исходная акселерограмма (*a*) и ее спектр (*б*)

Таблица 5

Основные параметры расчетных акселерограмм и соответствующих им спектров для моделей 1–3

Номер модели, типовой разрез	Максимальное ускорение \ddot{A}_{max} , см/с ²	Максимальное значение спектра, см/с	Частота основного максимума спектра, Гц	Интервал частот для $0,5 \cdot S_{max}(f)$ Z, Гц	Резонансная частота рыхлых слоев, Гц
Горизонтальная компонента NS					
1	52	16	2.5	2,2–5	–
2	122	53	2.5	1,9–5	2,3–4,6
3	134	61	2.5	1,9–5	2,4–4,6
Вертикальная компонента Z					
1	14	4.3	2.5	1,9–5,6	–
2	41	11	2.5; 4.8	0,8–5,6	2,3–4,6
3	45	12	2.5; 4.8	0,8–5,6	2,4–4,6

На основе использованного комплекса выбранных методов мы представляем полученные по ним результаты изменения сейсмической опасности и максимальных ускорений по профилю строительства путепровода в виде сейсмогрунтового разреза (рис. 4). Сами значения параметров сейсмической опасности сравниваются по уже выделенным участкам по инструментальным методам, которые представляются моделями 2 и 3.

и площадного районирования сейсмической опасности предоставляет возможность использования метода для конкретного объекта строительства с высоким уровнем детализации [4–7]. На примере оценки инженерно-сейсмологических условий строительства участка путепровода на автомобильной дороге М-53 «км 1362 + 900» представлены результаты исследований, полученные в направлении решения уровня сейсмической опасности путепровода, которые

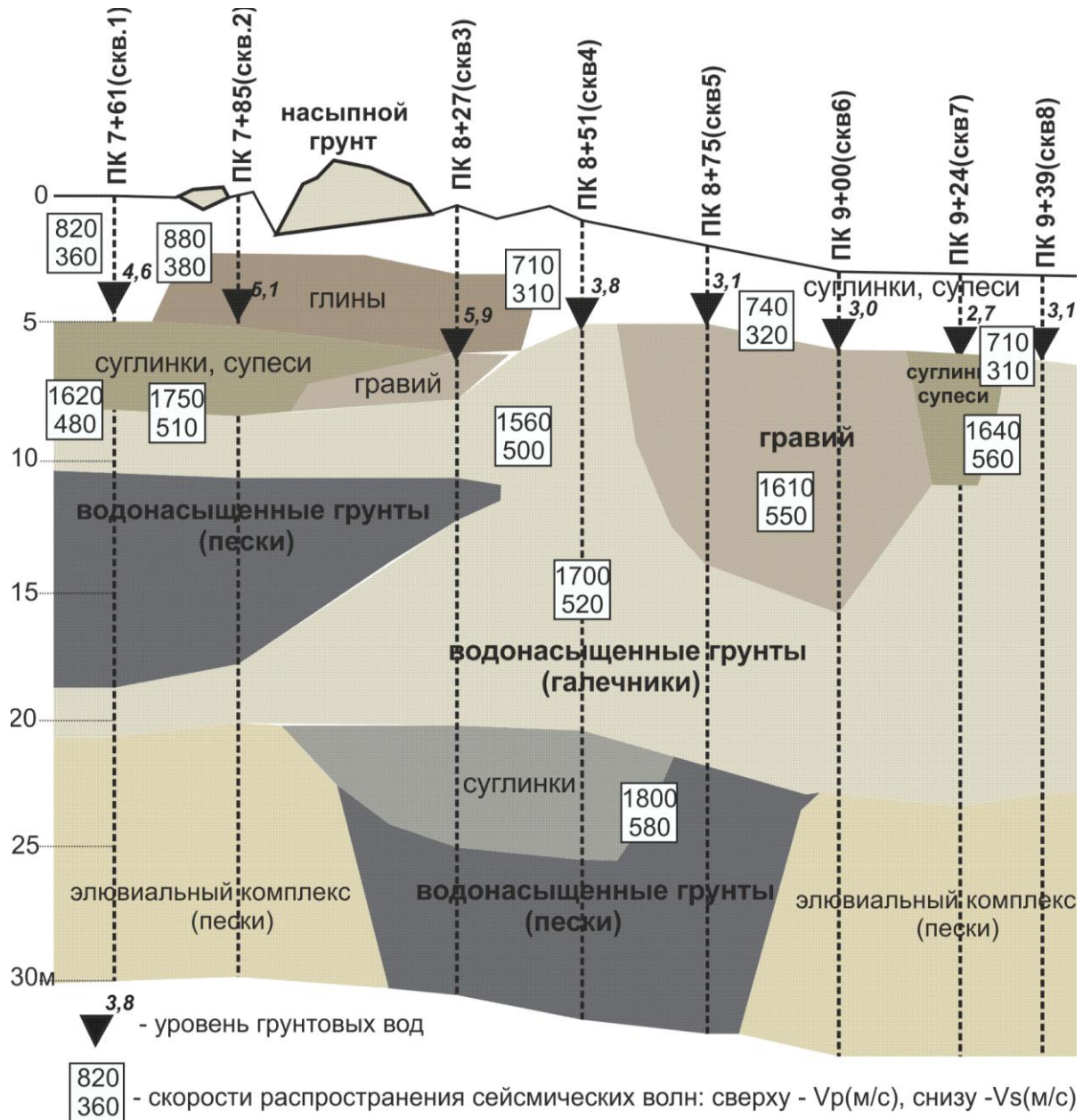


Рис. 4. Сейсмогрунтовой разрез по профилю строительства путепровода

Разрабатываемая авторами методика для крупных линейных сооружений

оцениваются в пределах от 7,16 до 7,34 балла.

Библиографический список

1. Комплект карт ОСР-97 / гл. ред. В.Н. Страхов, В.И. Уломов. М.: Изд-во ОИФЗ, 1999. 57 с.
2. Литосфера Центральной Азии. Новосибирск: Наука, 1996. 238 с.
3. МДС 22-1.2004. Методические рекомендации по сейсмическому микрорайонированию участков строительства транспортных сооружений. М.: Изд-во МИИТ, 2004. 48 с.
4. Методика районирования линейных сооружений в условиях криолитозоны по сейсмическим воздействиям на их основания / С.П. Серебренников, В.И. Джурик, Р.М. Семенов, Е.В. Брыжак // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2014. № 3 (43). С. 135–141.
5. Методика районирования сейсмической опасности линейных сооружений по сейсмогрунтовым моделям / В.И. Джурик, С.П. Серебренников, А.Ф. Дреннов, Л.А. Усынин // Криосфера земли. 2008. № 4 (12). С. 66–76.
6. Методика формирования исходного сейсмического сигнала с целью районирования сейсмической опасности городских агломераций (на примере г. Иркутска) / В.И. Джурик, С.П. Серебренников, Е.В. Брыжак, А.Ф. Дреннов, А.Ю. Ескин // Известия Иркутского государственного университета. Науки о Земле. 2012. № 2 (5). С. 96–110.
7. Районирование сейсмической опасности протяженных трасс линейных сооружений в Сибирском регионе / В.И. Джурик, С.П. Серебренников, А.Ф. Дреннов, Л.А. Усынин // Вопросы инженерной сейсмологии. 2009. № 4 (36). С. 53–69.
8. Расчетные методы в СМР // Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию. М.: Наука, 1988. С. 196–130.
9. Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность // Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию. М.: Наука, 1988. 300 с.
10. Сейсмический риск и инженерные решения. М.: Недра, 1981, 370 с.
11. Спектры ускорений колебаний, возбуждаемых землетрясениями юго-западного фланга байкальской рифтовой зоны / А.Ф. Дреннов, В.И. Джурик, С.П. Серебренников, Е.В. Брыжак, Н.Н. Дреннова // Геология и геофизика. 2013. № 2 (54). С. 292–301.

Статья поступила 07.09.2015 г.