

EARTH SCIENCES

ИЗМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

Серебренников С.П.

Институт земной коры СО РАН, старший научный сотрудник

Джурик В.И.

Институт земной коры СО РАН, главный научный сотрудник

Брыжак Е.В.

Институт земной коры СО РАН, заведующий лабораторией

CHANGES IN ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS UNDER THE INFLUENCE OF STRONG EARTHQUAKES IN THE SIBERIAN REGION

Serebrennikov S.,

Institute of Earth 'Crust SB RAS, senior researcher

Dzhurik V.,

Institute of Earth 'Crust SB RAS, chief Scientist

Bryzhak E.

Institute of Earth 'Crust SB RAS, head of laboratory

Аннотация

Рассматриваются физические и инженерно-геологические исследования, проводимые на территории Сибирского региона. Допустимость прогнозирования влияния приповерхностной зоны инженерно-геологического разреза на уровень проявления сейсмических свойств отдельных групп рыхлых и скальных образований основывается на изучении параметров геофизических полей непосредственно на территории расположения объектов промышленного и гражданского назначения.

Abstract

Consideration is being given to the geophysical and engineering-geological studies on the territory of the Siberian region. The admissibility of forecasting the influence of the near-surface zone of the engineering and geological section on the level of manifestation of seismic properties of individual groups of loose and rock formations is based on the study of the parameters of geophysical fields directly on the territory of the location of industrial and civil facilities.

Ключевые слова: инженерно-сейсмологические параметры, климатические зоны, грунты, мерзлота, сейсмическая опасность, мониторинг.

Keywords: engineering-seismological parameters, climate zones, grounds, permafrost, seismic hazard, monitoring.

Допустимость прогноза влияния приповерхностной зоны инженерно-геологического разреза на уровень проявления сейсмических свойств отдельных групп рыхлых и скальных образований, обусловлено многообразием параметров геофизических полей непосредственно на территории расположения объектов промышленного и гражданского назначения, расположенных в широком диапазоне геоморфологических особенностей и в пределах различных климатических зон региона.

Целью исследований является анализ геофизических и инженерно-геологических данных для территории Сибири с последующей возможностью прогнозировать уровень сейсмической опасности на объекты инфраструктуры на стадии проектирования, строительства и эксплуатации. Необходимость исследований обусловлена широким диапазоном изменения уровня сейсмической опасности для региона. Исходные данные для обоснования инженерно-сейсмологических условий и влияния комплекса грунтов на основные параметры сейсмических воздействий на возводимые сооружения

представлены на участках строительства, охватывающих весь спектр инженерно-геологических условий: от талых грунтов (с вариантом сезонного промерзания) до районов распространения вечномерзлых грунтов (с вариантом сезонного оттаивания). По материалам экспериментальных методов получены все необходимые сведения (представлены в табличной форме) о состоянии и мощности рыхлых отложений, основных сейсмических параметрах грунтов, скоростях распространения в них сейсмических волн. В итоге зафиксированные результаты геофизических исследований, выполненные на участках строительства, и создание обобщенной базы основных инженерно-сейсмологических параметров дают возможность прогнозирования на этапе оценки уровня сейсмической опасности для промышленных и гражданских объектов Сибири.

Авторами подготовлен обзор инженерно-сейсмологических особенностей наиболее распространенных грунтов в пределах региона(4,5). Трансфор-

мация инженерно-геологической обстановки обусловлена наличием широкого спектра присутствия разнообразных (равнины, предгорные и горные сооружения) форм рельефа и температурного режима территории исследования.

Структура рельефа, инженерно-геологическая обстановка рассматривается нами, как мера для описания инженерно-сейсмологических границ в пределах зон интенсивности сотрясений в баллах ОСР РФ. Выделены 3 сектора: равнинный, предгорный и горный. Отмечаем, что мы рассматриваем в статье инженерно-сейсмологический прогноз в варианте от простого к сложному.

В пределах границ равнинного сектора коренные породы представлены песчаниками, глинистыми сланцами, известняками и конгломератами. Каждая разновидность горных пород по состоянию различается по своей прочности (прочные, средней и низкой прочности), что отражается на скоростях сейсмических волн. Необходимо отметить, что при низком уровне прочности грунтов, первостепенным фактором в нашем исследовании является степень водонасыщения коренных пород. При натуральных измерениях в отмеченных разновидностях мы наблюдаем следующее: при низком уровне прочностных характеристик грунтов (разрушение) скорости достигают 900 м/с (V_p), при переходе их в состояние к средней прочности, скорости увеличиваются до 1600-2500 м/с (V_p) и 700-1300 (V_s). Далее

с глубиной, средние значения Р и S волн близки к 3000м/с и 1600 м/с соответственно.

Рыхлые грунты представлены суглинками, глинами, супесью, песками, гравием с галькой и дресвой. Во всех этих разновидностях средние значения скоростей сейсмических волн в верхнем 10-ти метровом слое перекрываются. Специально были проведены измерения скоростей в коренных и средних грунтах, которые согласно нормативным документам [2,3] могут быть приняты за эталон. В нашем случае, средние грунты, это неводонасыщенная толща рыхлых грунтов мощностью не менее 10м., в этом состоянии скорости меняются от 400 до 900 м/с – V_p и от 180 до 440 м/с – V_s . Участки с такими значениями скоростей будут иметь сейсмическую опасность соответствующую исходной. В грунтах в водонасыщенном состоянии скорости меняются в диапазоне 1520 – 2300 м/с. Максимумы распределения приходятся на значения равные 1650 и 1950 м/с. Физически это объясняется тем, что при переходе неводонасыщенных рыхлых грунтов верхней части разреза до 4-6м со скоростями Р-волн равными 450 м/с в водонасыщенное состояние, скорости увеличиваются до 1650 м/с. При водонасыщении нижележащих слоев со значениями V_p в воздушно-сухом состоянии равными 650 м/с, скорость продольных волн увеличивается до 1950 м/с. Средние значения для сектор представлены в таблице 1.

Таблица 1

Средние значения скоростей сейсмических волн и приращение балльности для равнинного фрагмента региона

Состав и состояние грунта	Скорость продольных волн - V_p , м/с	Скорость поперечных волн - V_s , м/с	Приращение балльности, балл
Коренные породы	2300	1200	0
Рыхлые неводонасыщенные	580	290	1,2
Рыхлые водонасыщенные	1600	400	2,2

Основными проблемными участками при мониторинге сейсмической опасности являются участки распространения водонасыщенных грунтов. В таблице 2 представлены основные варианты грунтов, их состояния и расчет сейсмической опасности через анализ зафиксированных скоростей при сейсмическом зондировании.

Таблица 2

Расчет сейсмической опасности для основных типов грунтов в водонасыщенном состоянии

Состав грунта и его состояние	Скорость Р-волн (м/с)	Скорость S-волн (м/с)	Сейсмическая опасность (расчетная)
Гравий, песок	590	-	1,1 (pV)
УГВ с 2м	1680	420	0,9 (УГВ) +1балл
Супесь, суглинок	690	-	1,0 (pV)
УГВ С 3м	1800	-	0,69 (УГВ) +1балл
Насыпной грунт (до 4м), суглинки (≥ 3 м).	480	-	1,1 (pV)
Средняя степень водонасыщения	710	340	0,69 (УГВ)
	1640	430	+1балл
Насыпной грунт (2м), супеси (2м), суглинки (4м), щебень (≥ 4 м).	280	-	1,1 (pV)
Средняя степень водонасыщения.	680	320	0,52 (УГВ)
	710	340	+1балл
Гравийно-галечниковые грунты.			
до 2м	530	230	1,13 (pV)
($\geq 4,5$ м)	1550	370	0,45 (УГВ)
(≥ 10 м).	2120	620	+1балл
Гравий песок.			
УГВ – с 0,5-1м	1760	470	1,1 (pV)
			0,6 (УГВ) +1балл

Примеры детальных инженерно-сейсмологических параметров опорных пунктов представлены на конкретном объекте по площади (табл.3).

Таблица 3

Обзор инженерно-сейсмологических характеристик основных разновидностей грунтов в разрезе.

Гидрогеологические условия	h (м)	V _p (м/с)	V _s (м/с)	ρ (т/м ³)	Всред. (10-ти метровом слое) Приращения балльности (ΔI)
Коренные породы (модель эталона)	10	2200	1060	2,5	2200
		2800	1540	2,7	ΔI _{pv} = 0
средние грунты	10	700	350	1,9	700
		2200	1060	2,5	ΔI _{pv} = 1
	10	2800	1540	2,7	
УГВ > 10 м	2	340	180	1,8	1420
		870	415	1,9	ΔI _{pv} = 0,5
	3	1580	790	2,0	
		2800	1380	2,6	
Водонасыщенный слой с 5 до 6,5 м	5	870	415	1,9	1300
		1400	750	2,0	ΔI _{pv} = 0,6
	2,5	2800	1380	2,6	ΔI _{угв} = 0,36
Водонасыщенный слой с 6 до 9 м	2	330	175	1,8	1020
		870	415	1,9	ΔI _{pv} = 0,75
	3	1580	790	2,0	ΔI _{угв} = 0,22
		1400	780	2,2	
	7	2800	1380	2,6	
УГВ > 10 м	5	690	380	1,8	1220
		1580	790	2,0	ΔI _{pv} = 0,7
	16	2800	1380	2,6	

Таким образом, дана характеристика основных разновидностей грунтов. По составу и состоянию, по величинам скоростей сейсмических волн, получены наиболее вероятные значения, необходимые для оценки инженерно-сейсмологических условий ранинного сектора.

Предгорный сектор региона это сочетание различных морфоструктурных особенностей равнинных, предгорных и горных сооружений и мы считаем основной переходной зоной от талых к мерзлым грунтам. Инженерно-сейсмологический обзор перехода от талых грунтов к переходной зоне к мерзлым грунтам мы рассмотрим на участках основных транспортных коммуникаций Сибири, где в структуре инженерно-геологических показателей грунтов появляется многолетнемерзлая составляющая [2].

Скорости сейсмических волн рыхлых отложений измерялись на площадках строящихся объектов, а в «эталонных» и коренных породах измерялись на их обнажениях и в карьерах.

Температура мерзлых грунтов на глубине ее нулевых колебаний бралась по данным мерзлотного районирования, проведенных ранее [1,3].

Обобщенные значения скоростей для естественного состояния грунтов сведены в таблицу 4. Верхний слой мерзлых грунтов до 11 м имеет скорости продольных волн равные в естественном мерзлом состоянии равные 2200 м/с и поперечных 1200 м/с. В подстилающих коренных породах эти величины равны 3400 м/с и 1780 м/с – соответственно. В случае деградации мерзлоты, а такой вариант при строительстве возможен, в таблицу 4 введены прогнозируемые макеты инженерно-сейсмологического развития состояния грунтов, необходимые при детальном анализе уровня сейсмической опасности.

Обобщенные значения скоростей для естественного состояния грунтов
(мерзлые грунты)

Грунтовые условия	Мощность слоя	Естественное состояние $T \geq -1^{\circ}\text{C}$			Состояние выше УГВ			Состояние ниже УГВ		
		V_p (м/с)	V_s (м/с)	V_p/V_s	V_p (м/с)	V_s (м/с)	V_p/V_s	V_p (м/с)	V_s (м/с)	V_p/V_s
Пески, суглинки, галечники.	11	2200	1200	1,83	600	300	2,1	1600	430	3,7
Относительно-сохраняемые коренные породы.	∞	3400	1780	1,7	2300	1270	1,8	2900	1500	1,9

Таким образом, выше полученные сведения позволяют нам просчитать варианты приращения сейсмической опасности в баллах. Результаты расчетов приводят к значениям приращений балльности, для центральной зоны исследуемой территории Изменения оцениваются следующим образом: 0,1 балла - с учетом осреднения, в верхнем 10-метровом слое по отношению к коренным породам; 0,7-0,8 – когда температура грунтов больше -1°C . Вариант приращения балльности до 1 балла и более (при неблагоприятных геологических условиях) исключать не надо.

Все типы распространения мерзлых грунтов зафиксированы в пределах горного сектора исследуемой территории. В процессе строительства и эксплуатации промышленных и гражданских объектов инфраструктуры закладываются риски на случай опасных геологических процессов и уровня сейсмичности региона здесь же необходимо отметить, что основная часть объектов расположена в

пределах пониженных форм рельефа (впадины, долины крупных рек). Инженерно-геологический разрез представлен комплексами поймы и низких надпойменных террас, высоких надпойменных террас, делювиальных склонов и конусов выноса. Именно в границах этих формирований находятся практически все населенные пункты, промышленные объекты, железнодорожные и автомобильные дороги.

При изучении инженерно-геологических особенностей конкретных участков проектирования и строительства сооружений различного назначения использовались данные бурения, геофизических и вскрышных работ. Полученные сведения позволили осуществить мониторинг сейсмической опасности наиболее распространенных вариантов объединений грунтов, который представлен в таблице 5.

Таблица 5

Оценка сейсмической опасности наиболее распространенных вариантов объединений мерзлых грунтов

Состав грунтов	Состояние грунтов, $T^{\circ}\text{C}$	V ср (км/с)	Приращение балльности к скальному грунту (баллы)
Островный тип распространения мерзлых грунтов			
Чередование песка, гравелистого галечникового материала	Мерзлые $T^{\circ} = 0 - -1$	2,6-2,8	+1,3
Пески, ил	Мерзлые $T^{\circ} = 0 - -1$	2,6-2,8	+1,3
Прерывистый тип распространения мерзлых грунтов			
Пески с прослоями валунов. Льдистые. Скальный грунт	Мерзлые $T^{\circ} = -1 - -2$	2,8-3,0	+0,84
Валунно-галечниковый грунт с песчаным заполнителем, льдистый	Мерзлые $T^{\circ} = -1 - -2$	2,7-2,9	+0,86
Песчано-галечниковый грунт, льдистый	Мерзлые $T^{\circ} = -1 - -2$	2,7-2,9	+0,8
Сплошной тип распространения мерзлых грунтов			
Пески с прослоями суглинков и валунов	Мерзлые $T^{\circ} < -2$	3,0-3,2	+0,2
Пески, галечники. Глыбовый материал	Мерзлые $T^{\circ} < -2$	3,0-3,4	+0,2
Пески гравий, валуны, прослой льда	Мерзлые $T^{\circ} < -2$	2,9-3,2	+0,3

В итоге представленные результаты комплексных геофизических исследований, выполненные на участках ответственных сооружений, показали возможность их использования для проектных и инженерно-сейсмологических изысканий и оценки

уровня сейсмической опасности в параметрах сейсмических воздействий для промышленных и гражданских объектов во всем разнообразии инженерно-геологических и климатических условий Сибири.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ и МОКНСМ в рамках научного проекта № 20-55-44011

Список литературы

1. Геокриологическая карта СССР (редактор А.Ю. Рогатюк): Масштаб 1:2500000, Лист 11, МГУ им. Ломоносова, 1996.-16с.
2. Джурик В.И., Серебренников С.П., Брыжак Е.В., Ескин А.Ю. Оценка и прогноз поведения грунтов различного состояния при сильных землетрясениях в пределах криолитозоны Восточной Сибири // Природные и сейсмические риски. Безопасность сооружений. 2017. № 4. С.32–34.
3. Кондратьев В.Г., Кондратьев С.В. Как защитить федеральную автодорогу «Амур» Чита –

Хабаровск от опасных инженерно-геокриологических процессов и явлений // Инженерная геология, 2013, № 5. – С. 40–47.

4. Серебренников С.П., Джурик В.И., Брыжак Е. В. Возможности геофизических методов при расчете уровня сейсмической опасности крупных инфраструктурных объектов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2020; №5, с. 32-53.

5. Dzhurik, V.I., Tubanov, Ts.A., Serebrennikov, S.P., Drennov, A.F., Bryzhak, E.V. and Eskin, A.Yu. (2015). – An overview of the technique for seismicity microzonation mapping of the Ulan-Ude city territory. – *Geodynamics & Tectonophysics*, 6, 3, 365-386 (in Russian)/