

ON THE METHODS OF ASSESSMENT OF SEISMIC AND TECHNOGENIC HAZARDS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE FACILITIES**Dzhurik V.I.,**

Chief Research Scientist

*Institute of the Earth's Crust SB RAS, Lermontov St., 128, Irkutsk, 664033, Russia***Serebrennikov S.P.**

Senior Research Scientist

*Institute of the Earth's Crust SB RAS, Lermontov St., 128, Irkutsk, 664033, Russia***К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ****Джурик В.И.,**

Главный научный сотрудник,

Институт земной коры СО РАН

664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128

Серебренников С.П.

старший научный сотрудник,

Институт земной коры СО РАН

664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128

Abstract

There have been considered the examples of reasonable level of seismic hazard of infrastructure facilities. Presented here are the research materials on the forecast effect of soft and rocky grounds on both specific objects and a complex of facilities as a whole. The example assumes the railway infrastructure in Siberia.

Аннотация

Рассмотрены примеры обоснования уровня сейсмической опасности на объектах линейных сооружений. Представлены материалы исследований по прогнозу влияния отдельных групп рыхлых и скальных образований, как на конкретные объекты, так и на весь комплекс сооружений. В качестве примера рассматривается железнодорожная инфраструктура расположенная на территории Сибири.

Keywords: engineering-seismological parameters, grounds, permafrost, seismic hazard**Ключевые слова:** инженерно-сейсмологические параметры, грунты, мерзлота, сейсмическая опасность

Обоснование уровня сейсмической и техногенной опасности базируется на материалах геофизических и инженерно-геологических исследований при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов строительства железнодорожной инфраструктуры на территории Сибири.

Необходимость прогноза влияния приповерхностной зоны инженерно-геологического разреза на уровень проявления сейсмических свойств отдельных групп рыхлых и скальных образований, их техногенного состояния обусловлена многообразием параметров геофизических полей непосредственно на территории расположения объектов и факторов, влияющих на изменение природной среды.

Целью исследований является анализ геофизических и инженерно-геологических данных для территории расположения линейных сооружений с последующей возможностью прогнозировать уровень сейсмической и техногенной опасности на объекты промышленного и гражданского назначения. Потребность исследований обусловлена высоким уровнем сейсмической опасности (до 10 баллов). Исходными данными для этого исследования

послужили материалы инструментальных сейсмо-разведочных измерений и состояние инженерно-геологического комплекса на территории восточного сегмента железнодорожной структуры России.

Авторами рассмотрена возможность прогнозирования влияния приповерхностной зоны геологического разреза на уровень проявления сейсмической опасности отдельных групп рыхлых и скальных образований, вероятность их трансформаций, которая базируется на изучении основных параметров геофизических полей непосредственно на территории расположения объектов и региона в целом. Исходные данные для обоснования инженерно-сейсмологических условий и влияния комплекса грунтов на основные параметры сейсмических воздействий представлены на участках строительства и эксплуатации опорных объектов Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, охватывающих весь спектр инженерно-геологических условий в пределах распространения вечномерзлых грунтов[1]. 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 геолого-геофизических исследований позволили создать обобщенную базу основных инженерно-сейсмологических параметров и создать условия для определения уровня сейсмической опасности для промышленных и гражданских объектов Сибири.

При строительстве крупных инфраструктурных объектов изначально предполагается возможность развития природных процессов, спровоцированных нарушением природной и инженерно-геологической ситуации, что в свою очередь приводит к увеличению уровня техногенной и сейсмической опасности.

Опыт инженерно-сейсмологических исследований, проведенный в пределах криолитозоны [2,3,4] показал, что если методика прогноза сейсмических воздействий в баллах для естественного состояния мерзлых грунтов достаточно обоснована, то прогнозированию возможных состояний грунтов после нарушения природной среды необходимо уделить внимание. Реализацию одного из подходов решения поставленной задачи мы приводим на примере обоснования сейсмической опасности линейных сооружений (Юг Якутии) на трассе железнодорожного пути «ст. Икабьекан-Тарыннахский ГОК» протяженностью 180 км.

Строительство и эксплуатация железной дороги связано с планированием комплексного развития и в первую очередь включает строительство горно-обогатительных комбинатов и промышленных объектов, расположенных в районах с высокой сейсмичностью [5], что ставит серьезные задачи по обеспечению сейсмической безопасности таких объектов.

Статистику измерений инженерно-сейсмологических условий мы использовали для формирования комплекта наиболее вероятных вариантов сейсмических воздействий для естественного и прогнозируемого состояния грунтов конкретных объектов и далее для районирования по ним трассы линейного сооружения. В связи относительной протяженностью объекта мы представляем результаты исследований в обобщенном виде (табл. 1). Представим основные показатели, используемые в таблицах: h (м) – глубина сейсмозондирования; V_p (м/с) – скорость продольных волн; V_s (м/с) – скорость поперечных волн; A_{max} (см/с²) максимальные ускорения; F (Гц) – резонансная частота; I – баллы; из инженерно-геологических: ρ (т/м³) – плотность грунтов.

Таблица 1

Состояние грунта	h (м)	V_p (м/с)	V_s (м/с)	ρ (т/м ³)	A_{max} (см/с ²)	I F(Гц)
Скальные	10	2700	1450	2,5	208	8
(мерзлые)	∞	3000	1600	2,6		>20
Естественное состояние						
Рыхлые талые до 10м. Ниже мерзлые с 20м эталонные	2	600	300	1,8	434	9 10,4
	8	800	400	1,9		
	10	2500	1300	2,1		
	10	2700	1450	2,5		
	∞	3000	1600	2,6		
Рыхлые талые до 20м. Ниже эталонные	2	600	300	1,8	480	9 5,8
	8	800	400	1,9		
	10	900	450	2,0		
	10	2700	1450	2,5		
	∞	3000	1600	2,6		
Мерзлые рыхлые, ($T < -2^{\circ}C$)	10	2500	1300	2,0	230	8 15,7
	20	2600	1360	2,1		
	10	2700	1450	2,5		
Рыхлые водонасыщенные мерзлые ($-1^{\circ}C$) коренные породы	14	1700	520	2,1	820	10
	20	2600	1360	2,1		
	10	2700	1450	2,5		
	∞	3000	1600	2,6		
Рыхлые мерзлые ($-1^{\circ}C$) мерзлые ($-2^{\circ}C$) коренные породы	4	800	400	1,9	248	8 14
	12	2500	1300	2,0		
	22	2600	1360	2,1		
	10	2700	1450	2,5		
	∞	3000	1600	2,6		
Прогнозируемое состояние						
Рыхлые водонасыщенные мерзлые ($-1^{\circ}C$) коренные породы	9	800	400	1,9	510	9 7
	12	1700	520	2,1		
	18	2600	1360	2,1		
	10	2700	1450	2,5		
	∞	3000	1600	2,6		
Рыхлые водонасыщенные мерзлые ($-1^{\circ}C$) коренные породы	3	800	400	1,9	860	10 6
	18	1700	520	2,1		
	20	2600	1360	2,1		
	10	2700	1450	2,5		
	∞	3000	1600	2,6		

Из рассмотренного примера очевидно, что даже частичная деградация мерзлоты приводит к значительному ухудшению инженерно-сейсмологических условий строительства и эксплуатации железнодорожного пути..

Пример более детальной оценки сейсмической и техногенной опасности объектов транспортной инфраструктуры авторы осуществляют при анализе геолого-геофизических данных по железнодорожной трассе ст. Чара – ст. Чина.

В мерзлотном отношении участок дороги расположен в области сплошного распространения вечномерзлых грунтов. Мощность мерзлых грунтов от ст. Чара (Чарская впадина) и далее в долинах рек к ст Чина может превышать 100 м, а их температура опускаться ниже -1 , -2°C . В горном сооружении, по которому проходит большая часть трассы, включая и хр. Удокан мощность мерзлоты превышает 600 м, а ее температура на отметке 2000 м опускается до -8°C , в целом она меняется в основном от -1 до -3°C .

Наиболее сильно техногенному воздействию подвергаются участки мостовых переходов. Природное равновесие нарушается вследствие необходимости подготовки площадок для мостовых переходов. Удаление рыхлого материала приводит к уменьшению устойчивости склонов, увеличивается угол естественного откоса и происходит интенсивная деградация мерзлоты. При строительстве моста через руч. Ущелистый строителями были подрезаны борта ручья, что привело к активному протаванию мерзлоты вверх по склону. Еще более осложнило обстановку наличие зоны разлома, пересекающей трассу по правому борту ручья. Если при строительстве дороги рыхлые отложения убирались по возможности до коренных пород, то при строительстве моста воздействие на природный комплекс приводит к концентрации талых и дождевых вод, проявлению эрозионных процессов вблизи насыпи и термопросадок под ней. Расчетные сейсмические воздействия для опор мостового перехода через р. Ущелистый продемонстрированы в таблице 2.

Таблица 2

№ опоры	V_p (м/с)	V_s (м/с)	H (м)	a_{\max} (cm/c^2)	$f_{U \max}$ (Гц)
1,2,3	3600 4000	2000 2160	12 -	382	33
4,5	3400 3600 4000	1860 2000 2360	12 18 -	421	30
6,7,8	800 1800 3800 4000	400 600 2180 2360	16 14 10 -	776	6
9	1200 3800 4000	600 2180 2360	11 10 -	518	12
10,11	3800 4000	2180 2360	10 -	368	34

Другим сложными фрагментами строительства железнодорожного пути являются его переходы через сухие лога, где отсыпаются насыпи высотой до 65 м. На этих участках переходным слоем от относительно крепких песчаников к насыпным грунтам служат сильно трещиноватые коренные породы. Сейсморазведочные измерения позволяют авторам утверждать, что мощность этого слоя на бортовых участках, с понижением к руслу ручья,

увеличивается от 3 до 8 м, а в русловой части он может достигает 8-12 м. В естественных условиях этот слой перекрывается рыхлыми грунтами мощностью до 4 м. Само нарушение структуры рыхлых поверхностных отложений и наличие временных водотоков приводит к активизации экзогенных процессов. Расчетные сейсмические воздействия для железнодорожной трассы на участке пересечения сухих логов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Привязка	V_p (м/с)	V_s (м/с)	H (м)	a_{\max} (cm/c^2)	$f_{U \max}$ (Гц)
Левый борт	1800 4000	970 2360	4 -	378,0	40
Средняя часть	1200 3500 4000	600 1900 2300	4 6 -	416,5	>40
Правый борт	3500 4000	1900 2360	10 -	383,8	>40

Используя изложенный выше подход к оценке сейсмической опасности, проведен расчет приращений сейсмической балльности на участке железнодорожной ветки ст. Чара - ст. Чина. Расчеты приращений за счет изменения акустических жесткостей и температуры мерзлых пород (t , °C) сведены в таблицу 4. В таблице представлены: литологический комплекс (мощность исследуемого слоя до

4м), значения скоростей продольных V_p и поперечных V_s сейсмических волн, температура грунтов и приращения сейсмической балльности ΔJ . Авторы отмечают, что скорость в сезонно талых грунтах не учитывалась, как при выборе скоростей в эталонных грунтах, так и при расчетах приращений балльности.

Таблица 4

Литологический комплекс	V_p , м/с	V_s , м/с	t , °C	ΔJ за счет (ρV), балл	ΔJ за счет t °	ΔI баллы
Пойм и низкие надпойменные террасы	510 3500	320 1900	-3,4 -2,1	0,05	0,32	0,37
Высокие надпойменные террасы	540 3290	260 1710	-1,0	0,08	0,54	0,62
Делювиальный комплекс	740 4600		-8,5 -2,9	-0,13	0,21	0,08
Моренный комплекс	700 3400		-5,5 -4,8	0,06	0	0,06
Проллювиальные отложения	610 3800	290 2000	<-2	-0,16	0	-0,16
Аллювиальные отложения троговых долин	1100 4000	2400	<-2	-0,2	0	-0,2

В статье рассмотрены данные экспериментальных и расчетных методов и их возможности по усовершенствованию инженерно-сейсмологического обеспечения сейсмической безопасности строительства линейных сооружений в условиях криолитозоны. Требуемые, согласно нормативным документам, основные показатели (сейсмической опасности) полученные согласно теоретическим расчетам, могут быть приведены в соответствие с экспериментальными данными, когда для каждого комплекса грунтов будут рассчитаны и масштабированы параметры сейсмических воздействий, соответствующие исходной сейсмичности района. В этом случае расчеты для каждого состояния грунтов (воздушно-сухие, водонасыщенные и мерзлые) будут наиболее обоснованными, и соответствовать экспериментальным измерениям. Последние в свою очередь являются основой прогноза параметров сейсмических воздействий на случай частичной или полной деградации мерзлоты в результате строительства.

Проведенный выше анализ можно считать обобщением, полученных результатов работ по сейсмическому микрорайонированию трасс линейных сооружений на юге Якутии и севере Забайкалья, в направлении более рационального использования теоретических расчетов и данных экспериментальных методов в условиях региона в целом. Основой для получения акселерограмм, спектров ускорений и частотных характеристик, служили данные комплекса расчетных и инструментальных методов сейсмического микрорайонирования (сейсмических жесткостей и микросейсм). В результате получен набор необходимых данных для оценки инженерно- сейсмологических условий строительства и эксплуатации линейных сооружений по предложенной выше методике, возможности кото-

рой реализованы на примере двух участков, расположенных в девятибалльной сейсмической зоне, и в сложных геокриологических условиях.

При достаточном статистическом наборе регистрируемых инструментальными методами сейсмического микрорайонирования характеристик, обоснованном формировании исходного сигнала, уровня исходной сейсмичности территории строительства и данных записей местных землетрясений, обеспечивается, на уровне требований нормативных документов [6], получение необходимого набора параметров сейсмических воздействий для проектирования сейсмостойких линейных сооружений.

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

References

1. Geocryological map of the USSR. (1996). – Rogatyuk, A.Yu. (ed). Scale 1:2500000. Sheet 11. – Moscow, Lomonosov MSU, 16 pp. (in Russian)
2. Dzhurik, V.I., Serebrennikov, S.P., Bryzhak, E.V. and Eskin, A.Yu. (2017). – Estimation and prediction of the behavior of soils of different states in strong earthquakes within the permafrost zone of Eastern Siberia. – Natural and Technogenic Risks. Building Safety, 4, 32-34 (in Russian).
3. Kutergin, V.N., Sevost'yanov, V.V., Pankov, K.V., Kal'bergenov R.G. and Grigor'eva, L.V. (2016). – The basic aspects of methodical approach to assessing seismic resistance of soils. – Geocology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology, 1, 56-68 (in Russian)
4. Serebrennikov, S.P., Dzhurik, V.I., and Bryzhak, E.V. (2020). – The possibilities of using the geophysical methods in calculation of the levels of seis-

mic hazard for large infrastructure objects. – Earthquake Engineering Constructions Safety, 5, 32-53 (in Russian)

5. General seismic zoning for the territory of the Russian Federation. Change of No. 1 BR 14.13330.2014 Constructing buildings in seismic areas BC II-7-81* (actualized BC II-7-81* “Constructing buildings in seismic areas” (BR 14.13330.2011). Date of entry into force 2015-12-01 by order of the

Ministry of Construction Industry, Housing and Utilities Sector of the Russian Federation (Minstroy RF) dated November 23, 2015 (in Russian) <https://docs.cntd.ru>

6. An assessment of the influence of ground conditions on seismic hazard. Guidance on seismic microzoning. (1988). – Nauka, Moscow, 300 pp. (in Russian)