

УДК 550.34

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ДЛЯ ПРОГНОЗА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Серебренников С.П., Джурик В.И., Брыжак Е.В.

*Институт земной коры СО РАН, Иркутск, e-mail: serebr@crust.irk.ru*

В статье представлены материалы геофизических и инженерно-геологических исследований на территории Забайкалья, полученные при проведении проектных и инженерно-исследовательских исследований инфраструктурных объектов региона. Возможность прогнозирования влияния приповерхностной зоны инженерно-геологического разреза на уровень проявления сейсмических свойств отдельных групп рыхлых и скальных образований базируется на изучении основных параметров геофизических полей непосредственно на территории расположения отдельных объектов промышленного и гражданского назначения. Основными границами уровня сейсмической опасности региона является трансформация по исходному уровню сейсмичности (карта ОСР-2015). В пределах исследуемой территории она изменяется от 6 до 10 баллов. Исходные данные, для обоснования инженерно-сейсмологических параметров при мониторинге обследованных различных технических сооружений, получены в результате комплексных инструментальных геофизических измерений (сейсморазведочные и электроразведочные методы, регистрация микросейсм) и проведения теоретических расчетов. Основой для прогноза будет наличие мерзлых грунтов, в широком диапазоне типов развития мерзлоты, во всем спектре ее существования в направлении с юга на север. Южный сектор региона относится к территории сочетания грунтов в естественном состоянии (температурный режим со знаком плюс). Для центральной части региона ситуация изменяется, появляется комплекс мерзлотных образований, являющийся переходной зоной от талого к мерзлому состоянию грунтов, северный фрагмент территории – зона существования и развития мерзлоты. Авторами проработан и представлен вариант обобщенной базы влияния комплекса приповерхностных слоев грунтов при расчете уровня сейсмической опасности (в форме таблиц) для региона в различных климатических зонах региона в целом.

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

## BASIC PARAMETERS OF SEISMIC GROUND PROPERTIES FOR SEISMIC HAZARD PREDICTION IN TRANSBAIKALIA

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

*Institute of the Earth Crust Siberian Branch of RAS, Irkutsk, e-mail: serebr@crust.irk.ru*

The paper presents the geophysical and engineering-geological data that were collected during the project studies and surveying of infrastructure facilities in Transbaikalia. The probability of prediction of the influence of the near-surface engineering-geological cross-section on the level of manifestation of seismic properties of certain groups of soft and hard rocks is based on the study of basic parameters of geophysical fields immediately in the area of location of industrial and civilian objects. The basic limit of seismic hazard in the region is the transformation of the initial earthquake intensity (General Seismic Zoning Map OSR-2015) ranging from 6 to 10 within the study area. The initial data substantiating the engineering-seismological parameters in monitoring different types of technical facilities were obtained from integrated instrumental geophysical measurements (seismic and electrical exploration methods, microseismic recording) and theoretical calculations. The prediction will be based on the presence of frozen areas which lie within the permafrost region extending from south to north. The authors have developed and presented a tabulated version of the generalized base for the influence of the complex of near-surface ground layers in the calculation of the seismic hazard level for different climate zones of the region. The basic limit of seismic hazard in the region is the transformation of the initial earthquake intensity (General Seismic Zoning Map OSR-2015) ranging from 6 to 10 within the study area.

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

Исследования, осуществленные авторами, базируются на материалах геофизических и инженерно-геологических исследований при проведении проектных и инженерно-геологических работ для объектов строительства на территории Забайкалья.

Допустимость прогноза влияния приповерхностной зоны инженерно-геологического разреза на уровень проявления сейсмических свойств отдельных групп рыхлых и скальных образований обусловлена многообразием параметров геофизических полей непосредственно на территории расположе-

ния объектов промышленного и гражданского назначения, расположенных в пределах различных климатических зон региона.

Целью исследований является анализ геофизических и инженерно-геологических данных для территории Забайкалья с последующей возможностью прогнозировать уровень сейсмической опасности на объекты промышленного и гражданского назначения на стадии проектирования, строительства и эксплуатации. Необходимость исследований обусловлена широким диапазоном изменения уровня сейсмиче-

ской опасности для региона. В пределах исследуемой территории она изменяется от 6 до 10 баллов [1]. Исходными данными для этого исследования послужили материалы инструментальных сейсморазведочных измерений на площадках 15 проектных инфраструктурных комплексов на территории Забайкалья. Участки строительства расположены в широком диапазоне географических и геоморфологических особенностей региона: от степных (юг края) до таежных, горно-таежных и горных (центр и север).

**Материал и методы исследований**

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.



Обзорная карта региона исследований:  
 1 – талые грунты (сезонное промерзание);  
 2 – переходная зона от талых к мерзлым грунтам;  
 3 – мерзлые грунты (сезонное оттаивание)

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 Забайкалья.

**Результаты исследования и их обсуждение**

На первом этапе рассмотрим южный сектор региона. Исследования по изучению инженерно-сейсмологических параметров проводились на уже существующих и проектируемых объектах транспортной инфраструктуры и промышленного строительства. Участок от ст. Карымская до ст. Забайкальск Забайкальской железной дороги является основой изучения уровня сейсмической опасности территории. Для этого авторами подготовлен обзор инженерно-сейсмологических особенностей наиболее распространенных грунтов.

В изучаемом районе 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 перво-степенным фактором в нашем исследовании является степень водонасыщения коренных пород. При натурных 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 3000 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-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 10 м, 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 неводо-

насыщенных рыхлых грунтов верхней части разреза до 4-6 м 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 южного фрагмента Забайкалья представлены в таблице 1.

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

Эта закономерность достаточно наглядно подтверждается данными выполненных нами 44 зондирований на участках распространения водонасыщенных грунтов.

Таблица 1

Средние значения скоростей сейсмических волн и приращение балльности для южного 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

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

**Таблица 3**

Инженерно-сейсмологические параметры опорных пунктов

Опорный пункт	Грунты	Скорость продольных волн	Скорость поперечных волн	Отношение скоростей Vp/Vs
ст. Мациевская	рыхлые грунты	590	270	2,2
ст. Билютуй	рыхлые грунты	820	390	2,09
ст. Даурия	рыхлые грунты	710	330	2,12
ст. Хранор	рыхлые грунты	610	280	2,18
ст. Соктуй	рыхлые грунты	870	430	2,03
ст. Новоборзинск	рыхлые грунты	570	260	2,2
ст. Зун-Торей	рыхлые грунты	620	300	2,08
ст. Безречная	рыхлые грунты	650	310	2,1
ст. Мирная	рыхлые грунты	670	320	2,12
ст. Ясная	скальные грунты	2260	1190	1,9
ст. Ясногорск	рыхлые грунты	580	270	2,3
ст. Булак	рыхлые грунты	600	280	2,1
ст. Седловая	скальные грунты	2300	1210	1,9
ст. Андриановка	рыхлые грунты	570	260	2,2
ст. Тарская	скальные грунты	2100	1130	1,86

**Таблица 4**

Обзор инженерно-сейсмологических характеристик основных разновидностей грунтов в разрезе

Гидрогеологические условия	h (м)	Vp (м/с)	Vs (м/с)	г	Всред. (10-метровый слой) Приращения балльности ( $\Delta I$ )
Коренные породы (модель эталона)	10	2200	1060	2,5	2200 $\Delta I_{pv} = 0$
		2800	1540	2,7	
Средние грунты	10	700	350	1,9	700 $\Delta I_{pv} = 1$
		2200	1060	2,5	
		2800	1540	2,7	
УГВ > 10 м	2 3 1,5	340	180	1,8	1420 $\Delta I_{pv} = 0,5$
		870	415	1,9	
		1580	790	2,0	
		2800	1380	2,6	
Водонасыщенный слой с 5 до 6,5 м	5 2,5	870	415	1,9	1300 $\Delta I_{pv} = 0,6$ $\Delta I_{угв} = 0,36$
		1400	750	2,0	
		2800	1380	2,6	
Водонасыщенный слой с 6 до 9 м	2 4 3 7	330	175	1,8	1020 $\Delta I_{pv} = 0,75$ $\Delta I_{угв} = 0,22$
		870	415	1,9	
		1580	790	2,0	
		1400	780	2,2	
		2800	1380	2,6	
УГВ > 10 м	5 16	690	380	1,8	1220 $\Delta I_{pv} = 0,7$
		1580	790	2,0	
		2800	1380	2,6	

Примеры детальных инженерно-сейсмологических параметров опорных пунктов по трассе ст. Карымская – ст. Забайкальск представлены в таблице 3.

Северный фрагмент южной зоны можно представить на материалах исследования промышленного комплекса, расположенно-

го в пределах горного сооружения (табл. 4). Мы представляем детальный вариант сейсмондирования на конкретном объекте по площади.

Таким образом, дана характеристика основных разновидностей грунтов. По их составу и состоянию, по величинам скоростей

сейсмических волн и получены наиболее вероятные их значения, необходимые для оценки инженерно-сейсмологических условий юга Забайкалья.

Центральная часть региона – это сочетание различных морфоструктурных особенностей предгорных и горных сооружений. Необходимо отметить, что объекты промышленного и гражданского строительства на исследуемой территории расположены вдоль Транссибирской железнодорожной магистрали. Ее северо-восточный фрагмент мы считаем основной переходной зоной в развитии многолетнемерзлых грунтов. Инженерно-сейсмологический обзор перехода от талых грунтов к переходной зоне к мерзлым грунтам мы рассмотрим на участке от ст. Могзон до ст. Могоча. Если на юго-западном фрагменте инженерно-сейсмологические материалы (в том числе и г. Чита) сравнимы с параметрами юга региона, то в северо-восточном направлении в структуре инженерно-геологических показателей грунтов появляется многолетнемерзлая составляющая часть [4].

Район ст. Могзон рассматривается как пример сочетания грунтов в переходной зоне от талого к мерзлomu состоянию. При проведении необходимых расчетов использовались данные бурения и сейсморазведки [5-7]. В скоростном отношении, в границах станции, участок представлен до глубины 20 м трехслойным разрезом. Здесь мы впервые сталкиваемся со слоем сезонного оттаивания и промерзания мощностью до 2 м, имеющим диапазон изменения скоростей от 420 до 1100 м/с –  $V_p$  и от 230 до 510 м/с –  $V_s$ . Необходимо отметить, что для дальнейших расчетов сейсмической опасности промышленных объектов взяты значения скоростей сейсмических волн для средних грунтов этого района, равные 600 м/с –  $V_p$  и 300 м/с –  $V_s$ . Это оправдано тем, что при строительстве верхний почвенно-растительный слой в основании сооружений будет снят и заменен более плотными грунтами и будет нарушено естественное состояние грунтов. Второй слой (2 м) представлен водоносным горизонтом, приуроченным к аллювиальным отложениям. Водовмещающие породы – в основном это пески гравелистые со значениями  $V_p=1600-1900$  м/с и  $V_s = 430-500$  м/с. Расчетными взяты значения  $V_p=1800$  м/с и  $V_s=460$  м/с. Далее идут мерзлые грунты. Криогенная текстура их массивная (суглинки, супеси), слоисто-сетчатая (песок, суглинок, глина), гнездовидная (суглинок, супесь). Суммарная льдистость составляет

0,140-0,431 д.е., льдистость за счет ледяных включений – 0,134 д.е. Температура мерзлых грунтов на глубине годовых нулевых амплитуд составляет минус 0,3-0,4°C. Мерзлые грунты, с указанными выше физическими показателями, характеризуются относительно невысокими значениями скоростей, близкими к 2400 м/с –  $V_p$  и  $V_s = 1280$  м/с. Ниже 20 м скорости продольных волн приняты равными 2800 м/с и поперечных – 1600 м/с.

Инженерно-сейсмологическая ситуация северо-восточного фрагмента зоны рассматривается в пределах границ поселка и ст. Могоча. Необходимо отметить, что населенный пункт (включая станцию) находится на двух геоморфологических уровнях (относительно р. Могоча), что прослеживается на инженерно-геологических разрезах.

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, проведенного ранее [8; 9].

Обобщенные значения скоростей для естественного состояния грунтов сведены в таблицу 5. Верхний слой мерзлых грунтов до 11 м имеет скорости продольных волн, в естественном мерзлом состоянии равные 2200 м/с и поперечных 1200 м/с. В подстилающих коренных породах эти величины равны 3400 и 1780 м/с соответственно. В случае деградации мерзлоты, а такой вариант при строительстве возможен, в таблицу введены прогнозируемые макеты инженерно-сейсмологического развития состояния грунтов, необходимые при детальном анализе уровня сейсмической опасности.

Таким образом, выше полученные сведения позволяют нам просчитать варианты приращения сейсмической опасности в баллах. Результаты расчетов приводят к значениям приращений балльности, для исследуемой территории, и в среднем для восточного фланга центральной зоны Забайкалья. 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  $-1^{\circ}\text{C}$ . Вариант приращения балльности до 1 балла и более (при неблагоприятных геологических условиях) исключать не надо.

**Таблица 5**

Обобщенные значения скоростей для естественного состояния грунтов  
(мерзлые грунты)

Грунтовые условия	Мощность слоя	Естественное состояние $T \geq -1 \text{ }^\circ\text{C}$			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)	$V_p/V_s$
Тип грунта	H(м)									
Пески, суглинки, галечники	11	2200	1200	1,83	600	300	2,1	1600	430	3,7
Относительно сохранные коренные породы	$\infty$	3400	1780	1,7	2300	1270	1,8	2900	1500	1,9

**Таблица 6**

Оценка сейсмической опасности наиболее распространенных вариантов объединений мерзлых грунтов

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

Практически все типы распространения мерзлых грунтов зафиксированы на северных территориях Забайкалья. В процессе строительства и эксплуатации промышленных и гражданских объектов инфраструктуры закладываются риски на случай опасных геологических процессов и уровня сейсмичности региона [10], здесь же необходимо отметить, что основная часть объектов расположена в пределах пониженных форм рельефа (впадины, долины крупных рек). Инженерно-геологический разрез представлен образованиями современного и четвертичного времени формирования и представлен литологическими комплексами, залегающими на скальных грунтах. Основные из них следующие: комплекс поймы

и низких надпойменных террас, комплекс высоких надпойменных террас, комплекс делювиальных склонов, комплекс 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 6.

Таблица 7

Образец показателя мощности слоя рыхлых отложений и обобщенных данных по скоростному режиму (сейсмозондирование) и расчет сейсмической опасности (отношение скоростей  $V_p/V_s$ ) для участков Чинейских месторождений

Мощность слоя рыхлых отложений	Скорость продольных волн	Скорость поперечных волн	Отношение скоростей $V_p/V_s$
до 3 м	2700-3540	12801840	19,2-2,01
до 7 м	2090-4090	1600-2320	1,76-2,0
до 15 м и более	3100-3600	1600-2000	1,8-1,9

Для объектов северного фрагмента территории, но уже в границах высокогорья, мы представляем пример населенного пункта (вахтовый режим) Чинейского ГОКа (хр. Удокан). На стадии инженерно-геологических изысканий, помимо инженерно-механических свойств, отслеживались результаты измерений сейсмологических границ при сейсмическом сейсмозондировании. С учетом инженерно-геологических факторов прослеживаются ситуации, когда границы рыхлых отложений и коренных пород для объекта изменяются в диапазоне 1-15 м и более. В таблице 7 представлены материалы по сейсмозондированию в 14 пунктах (площадь поселения), что отражено как показатели мощности слоя рыхлых отложений до скальных грунтов и обобщенные данные по скоростному режиму (сейсмозондирование) и материалы расчета сейсмической опасности (отношение скоростей  $V_p/V_s$ ).

### Выводы

По данным полевых экспериментальных методов получены все необходимые сведения о состоянии и мощности рыхлых отложений, основных сейсмических параметрах эталонных и исследуемых грунтов, скоростях распространения в них сейсмических волн для большого количества участков инфраструктурных объектов Забайкалья. При использовании отмеченных данных и реализации расчетных методов дана оценка сейсмической опасности ответственных сооружений, рассмотрена возможность подготовки обобщенной базы данных, влияния комплекса параметров физических свойств приповерхностных грунтовых слоев на установленный уровень исходных сейсмических воздействий.

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 климатических условий территории Забайкалья.

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

### Список литературы / References

1. ОСП-2015. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации. Изменение № 1 СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81\* (актуализированного СНиП II-7-81\* «Строительство в сейсмических районах» (СП 14.13330.2011). Дата введения в действие 2015-12-01 приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 23 ноября 2015 г.

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).

2. Кутергин В.Н., Севостьянов В.В., Панков К.В., Кальбергенов Р.Г., Григорьева Л.В. Основные аспекты методического подхода к оценке сейсмоустойчивости грунтов // Геоэкология. 2016. № 1. С. 56-68.

Kutergin V.N., Sevost'yanov V.V., Pankov K.V., Kal'bergenov R.G., Grigor'eva, L.V. The basic aspects of methodical approach to assessing seismic resistance of soils // Geoeкологиya. 2016. № 1. P. 56-68 (in Russian).

3. Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность. Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию. М.: Наука, 1988. 300 с.

An assessment of the influence of ground conditions on seismic hazard. Guidance on seismic microzoning. M.: Nauka, 300 p. (in Russian).

4. 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.

Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Bryzhak E.V., Eskin A.Yu. Estimation and prediction of the behavior of soils of different states in strong earthquakes within the permafrost zone of Eastern Siberia // Prirrodnnye i seysmicheskiye riski. Bezopasnost' sooruzheniy. 2017. № 4. P. 32-34 (in Russian).

5. Серебренников С.П., Джурик В.И., Брыжак Е.В. Возможности геофизических методов при расчете уровня сейс-

мической опасности крупных инфраструктурных объектов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2020. № 5. С. 32-53.

Serebrennikov S.P., Dzhurik V.I., Bryzhak E.V. The possibilities of using the geophysical methods in calculation of the levels of seismic hazard for large infrastructure objects // Seysmostoykoye stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy. 2020. № 5. P. 32-53 (in Russian).

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

7. Yang Z.J., Dutta U., Xu G., Hazirbaba Kenan K., Marx E.E. Numerical analysis of permafrost effects on the seismic site response. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2011. V. 31 (3). P. 282-290.

8. Геокриологическая карта СССР (редактор А.Ю. Рогатюк): Масштаб 1:2500000, Лист 11, МГУ им. Ломоносова, 1996. 16 с.

Geocryological map of the USSR. (1996). Rogatyuk, A.Yu. (ed). Scale 1:2500000. Sheet 11. MGU im. Lomonosova, 1996. 16 p. (in Russian).

9. 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.

Kondratiev V.G., Kondratiev S.V. How to protect the “Amur” Federal Highway (Chita-Khabarovsk) from dangerous engineering-geocryological processes and phenomena // *Engineering Geology World*. 2013. V. 5. P. 40-47 (in Russian).

10. Лапердин В.К., Имаев В.С., Верхозин И.И., Качура Р.А., Имаева Л.П. Опасные геологические процессы на юге Якутии и сопредельных территориях. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2011. 240 с.

Laperdin V.K., Imaev V.S., Verkhopzin I.I., Kachura R.A., Imaeva L.P. Hazardous geological processes in the southern Yakutia and adjacent areas. Irkutsk: Institut zemnoy kory SO RAN, 2011. 240 p. (in Russian).