



EVALUATION OF SEISMIC IMPACTS OF STRONG EARTHQUAKES IN VARIOUS PERMAFROST AND SEISMIC ZONES OF THE MONGOLIAN-SIBERIAN REGION

V.I. Dzhurik [✉], E.V. Bryzhak , S.P. Serebrennikov , A.Yu. Yeskin 

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 128 Lermontov St, Irkutsk 664033, Russia

ABSTRACT. Based on the study of the features of seismicity within the limits of continuous permafrost and in transitional climatic zones, the influence of natural and climatic factors on the magnitude of seismic impacts is revealed. The results of studies carried out to develop a regional methodology for predicting the parameters of seismic effects of strong earthquakes in the Mongolian-Siberian region during permafrost degradation are summarized. These results are based on the data of complex geophysical measurements. They are aimed at developing methods and techniques for assessing the seismic impacts of strong earthquakes on critical engineering structures located within the permafrost zone and at developing recommendations for conducting seismic micro zoning in various seismic-climatic zones of Siberia and Mongolia, taking into account potential earthquake sources.

The main goal of this study is to use the data obtained in planning and construction in seismically active permafrost areas. The developed methods and approaches are presented at the current level of requirements for the design of earthquake-resistant structures in the permafrost zone in specific areas: at the Uyanga site sum, located in Northern Mongolia, and at the Tupik site (using the example of the construction of a tailings dam), located in Russia in the Zabaykalsky Krai (Transbaikalia Territory). The first section is located in the zone of insular permafrost with a probability of earthquakes of VIII-degree intensity. The second is in the area of continuous permafrost with a likelihood of VII-degree earthquakes.

The proposed and implemented integrated methodological approach makes it possible to obtain at the present level of research for the natural and predicted state of soils in the foundations of designed structures a set of seismic characteristics (accelerograms, spectra, frequency characteristics) and the main parameters of seismic effects for predicted strong earthquakes (maximum accelerations, prevailing frequencies, maxima spectra and resonant frequencies). The noted set of characteristics and parameters of seismic effects meets the modern requirements of designers. It should be accounted for earthquake-resistant structures located in various seismic-climatic zones of the Mongolian-Siberian region.

KEYWORDS: Mongolian-Siberian region; seismicity; Uyanga sum; Tupik village; seismic impact; accelerogram; range; frequency response; maximum acceleration

FUNDING: During the work, the equipment of the Shared Research Facilities "Geodynamics and Geochronology" of the Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences was used within the framework of project 075-15-2021-682.

Recordings of ground vibrations were obtained at the Tupik seismic station at the Large-Scale Research Facilities "Seismo-infrasonic complex for monitoring the Arctic permafrost and the complex for continuous seismic monitoring of the Russian Federation, adjacent territories and the world".

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research and the Ministry of High Education and Science of the Russian Federation within the framework of the scientific project 20-55-44011.

SHORT COMMUNICATION

Received: December 7, 2021

Revised: December 22, 2021

Accepted: December 30, 2021

Correspondence: Vasilii I. Dzhurik, dzhurik@crust.irk.ru

FOR CITATION: Dzhurik V.I., Bryzhak E.V., Serebrennikov S.P., Yeskin A.Yu., 2022. Evaluation of Seismic Impacts of Strong Earthquakes in Various Permafrost and Seismic Zones of the Mongolo-Siberian Region. *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (2s), 0623. doi:10.5800/GT-2022-13-2s-0623

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ МЕРЗЛОТНЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗОНАХ МОНГОЛО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА

В.И. Джурик, Е.В. Брыжак, С.П. Серебренников, А.Ю. Ескин

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

АННОТАЦИЯ. На основе изучения особенностей проявления сейсмичности в пределах распространения сплошной мерзлоты и в переходных климатических зонах выявляется влияние природных и климатических факторов на величину сейсмических воздействий. Обобщаются результаты исследований, выполненных для разработки региональной методики прогноза параметров сейсмических воздействий сильных землетрясений Монголо-Сибирского региона при деградации мерзлоты. Они основаны на данных комплексных геофизических измерений и направлены на развитие методов и приемов оценки сейсмических воздействий сильных землетрясений на ответственные инженерные сооружения, расположенные в пределах криолитозоны, и на разработку рекомендаций по проведению сейсмического микрорайонирования в различных сейсмоклиматических зонах Сибири и Монголии с учетом вероятных очагов землетрясений.

Основная цель исследований – использование полученных данных при планировании и строительстве в сейсмоактивных районах, охваченных мерзлотой. Разработанные способы и подходы представляются на современном уровне требований, предъявляемых к проектированию сейсмостойких сооружений в условиях криолитозоны на конкретных территориях: на участке «Уянга» – сомон, расположенный в Северной Монголии, и на участке «Тупик» (на примере строительства дамбы хвостохранилища), расположенном в России в Забайкальском крае. Первый участок находится в зоне островного распространения мерзлоты с вероятностью возникновения 8-балльных землетрясений, второй – в зоне сплошного распространения мерзлоты с вероятностью 7-балльных землетрясений.

Предложенный и реализованный методический комплексный подход позволяет получать на современном уровне исследований для естественного и прогнозируемого состояния грунтов в основаниях проектируемых сооружений набор сейсмических характеристик (акселерограммы, спектры, частотные характеристики) и основных параметров сейсмических воздействий для прогнозируемых сильных землетрясений (максимальные ускорения, преобладающие частоты, максимумы спектров и резонансных частот). Отмеченный набор характеристик и параметров сейсмических воздействий соответствует современным требованиям проектировщиков и является необходимым для проектирования и строительства сейсмостойких сооружений, в различных сейсмоклиматических зонах Монголо-Сибирского региона.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Монголо-Сибирский регион; исходная сейсмичность; сомон Уянга; село Тупик; сейсмическое воздействие; акселерограмма; спектр; частотная характеристика; максимальное ускорение

ФИНАНСИРОВАНИЕ: При работе использовалось оборудование ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН в рамках проекта № 075-15-2021-682.

Записи колебаний грунта получены на сейсмостанции «Тупик» на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (УНУ СИЗК МАК).

Работа выполнена при поддержке РФФИ и МОКНСМ в рамках научного проекта № 20-55-44011.

1. ВВЕДЕНИЕ

Обобщаются результаты исследований, выполненных для разработки региональной методики прогноза параметров сейсмических воздействий сильных землетрясений при деградации мерзлоты в пределах Монголо-Сибирского региона. Работа направлена на развитие методов и приемов прогноза сейсмических воздействий сильных землетрясений и на разработку рекомендаций по проведению сейсмического микрорайонирования в различных сейсмоклиматических зонах Сибири и Монголии с учетом зон ВОЗ. Основная цель исследований – использование полученных данных при планировании и строительстве в сейсмоактивных районах, охваченных мерзлотой. Разработанные

способы и подходы представляются на современном уровне требований, предъявляемых к проектированию сейсмостойких сооружений в условиях криолитозоны, на конкретных примерах – на участке «Уянга» – сомон, расположенный в Северной Монголии (координаты: 46°27'39" с.ш. и 102°16'10" в.д., площадь 4 км²), и на участке «Тупик», расположенном в Забайкальском крае (координаты: 54°25'47" с.ш. и 119°57'29" в.д.), – строительство дамбы хвостохранилища.

Исходная сейсмическая опасность для сомона Уянга (рис. 1) определена в 8 баллов. В непосредственной близости от него нет ярко выраженных сейсмогенерирующих зон, хотя он расположен в пределах площадной зоны ВОЗ, способной «породить» землетрясение

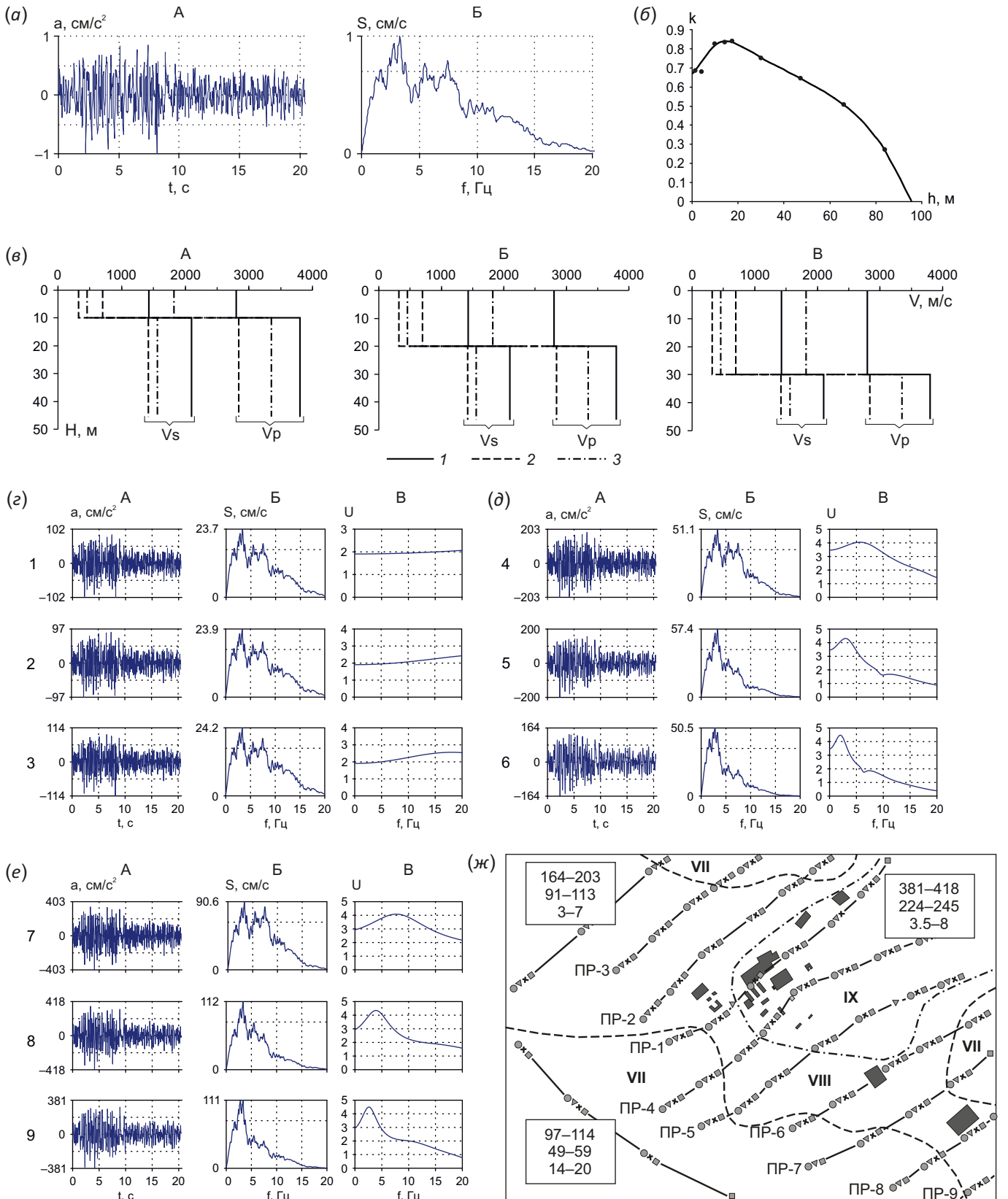


Рис. 1. Реализация методики прогноза сейсмических воздействий сильных землетрясений при деградации мерзлоты на примере сомона Уянга (Монголия).

(а) – сформированная акселерограмма для исходной сейсмичности района; (б) – зависимость коэффициента корреляции сейсмической опасности, рассчитанной по (ρV) от эффективной мощности слоя грунтов; (в) – наиболее вероятные сейсмо-грунтовые модели для 10- (А), 20- (Б) и 30-метровой (В) толщи рыхлых грунтов (1 – коренные породы; 2 – воздушно-сухие рыхлые; 3 – водонасыщенные); (г–е) – результаты теоретических расчетов акселерограмм (А) их спектров (Б) и частотных характеристик (В) для построенных моделей для грунтов I, II и III категории по сейсмическим свойствам соответственно;

(ж) – карта-схема районирования параметров сейсмических воздействий для естественного и прогнозируемого состояния грунтов (в квадратах сверху вниз: ускорения в $\text{см}/\text{с}^2$ для NS компоненты, для Z компоненты и резонансные частоты рыхлой толщи в Гц).

Fig. 1. Implementation of the methodology for predicting the seismic impacts of strong earthquakes during permafrost degradation using the example of Uyanga sum (Mongolia).

(a) – synthetic accelerogram for the initial seismicity of the region; (б) – dependence of the correlation coefficient of seismic hazard calculated by (ρV) on the effective thickness of the soil layer; (в) – the most probable seismic-ground models for 10- (A), 20- (Б) and 30-meter thickness (B) of loose grounds (1 – bedrock; 2 – air-dry loose ground; 3 – water-saturated ground); (г-е) – the results of theoretical calculations of accelerograms: (A) of their spectra (Б) and frequency characteristics (B) for the synthetic models of I, II and III categories according to seismic properties, respectively; (ж) – a scheme of zoning of seismic impact parameters for the natural and predicted state of grounds (in squares from top to bottom: accelerations in cm/s^2 for the NS component, for the Z component and resonant frequencies of the loose strata in Hz).

с магнитудой до 6.5 [Khilko et al., 1985]. Территория со-мона сложена мерзлыми грунтами. Мощность мерзлоты, по данным бурения и электроразведки, не превышает 20 м. Температура на глубине нулевых колебаний меняется от -0.1 до -0.9 °C. В центральной части территории мерзлые грунты имеют температуру от 0 до -0.5 °C, по окраинам площадки встречаются зоны с температурой, близкой к -1 °C [Dzhurik et al., 2009].

Для участка «Тупик» (рис. 2), согласно карте ОСР-2015Б [Building Regulations..., 2018], исходная сейсмичность оценивается в 7 баллов. Климат суровый, резко континентальный, мощность мерзлых рыхлых грунтов на участке не превышает 30 м. Это зона сплошного распространения мерзлоты с крупными массивами, грунты малолдыстые, их температура выше -2 °C. В связи с этим предусматривается строительство с учетом возможной ее деградации. На основе сказанного и первый (Северная Монголия), и второй (Восточная Сибирь) участок выбраны для проведения режимных измерений с целью мониторинга сейсмического состояния мерзлоты в основаниях сооружений в процессе строительства и их дальнейшей эксплуатации. Предусматривается совершенствование методики прогноза сейсмической опасности осваиваемых территорий при строительстве с учетом частичного или полного уничтожения мерзлоты.

2. МЕТОДИКА И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В методическом плане для выбранных участков проведена оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность в баллах [Pavlov, 1988], что отвечает задачам сейсмического микрорайонирования (СМР). Согласно нормативным документам и предлагаемым нами подходам к оценке сейсмической опасности, с учетом состояния грунтов и их эффективной мощности выбран комплекс различных инструментальных методов СМР (инженерно-сейсмологические, сейсморазведочные и электроразведочные). Особое внимание уделяется формированию исходных сигналов, спектральному составу и их трансформации при использовании частотных характеристик грунтовых слоев различного состояния [Dzhurik et al., 2020]. Для этого использовались теоретические расчеты, данные регистрации землетрясений и микросейсм [Dzhurik et al., 2021].

Для выбранных площадок формирование исходных сигналов сводилось к использованию записей землетрясений, зарегистрированных местными сейсмическими станциями из опасных зон ВОЗ [Gileva et al., 2020]. Рассчитывались спектры относительно сильных землетрясений. Они были нормированы, затем усреднялись. Отбиралась фазовая характеристика наиболее сильного землетрясения, и обратным преобразованием Фурье проводился расчет нормированной акселерограммы. При таком подходе амплитудный спектр исходного сигнала отражает все частотные особенности акселерограмм, которые соответствуют опасным зонам ВОЗ для каждой площадки [Dzhurik et al., 2015]. Отмеченный подход имеет свои недостатки, связанные со статистикой сильных землетрясений, необходимостью усовершенствования оценки затухания спектров с расстоянием для различных типов волн и учетом повторяемости землетрясений в каждой зоне ВОЗ. Сигналы (см. рис. 1, а; рис. 2, б) масштабировались для модели эталона с учетом принятой исходной сейсмичности и использовались как исходные для расчетов параметров сейсмических воздействий для участков, представляемых сейсмогрунтовыми моделями.

Результаты расчетов в виде изменения коэффициента корреляции (k) от эффективной глубины, для которых определялись средние значения Р-волн, показаны на рис. 1, б. Начиная с глубины 4–6 м связь между V_{cp} и A_z/A_x характеризуется высоким коэффициентом корреляции, равным 0.67. Для глубины 12–18 м k имеет максимальные значения (0.80–0.82). С увеличением эффективной мощности он быстро уменьшается и достигает значения 0.24 при $h=80$ м. Если рассматривать на уровне 0.7, эта глубина может меняться от 7 до 30 м [Pavlov, 1988]. Отмеченные закономерности, с учетом специфики строения выбранных участков по геологическим и мерзлотным условиям, где мощность рыхлых отложений не превышает 30 м, являются значимыми при обосновании сейсмических воздействий прогнозируемых сильных землетрясений по выбранным подходам.

Для этого построены сейсмогрунтовые модели до глубины залегания эталонных коренных пород (см. рис. 1, в; рис. 2, в). Задача построения моделей решалась путем применения всего комплекса использованных инструментальных методов, мерзлотных и

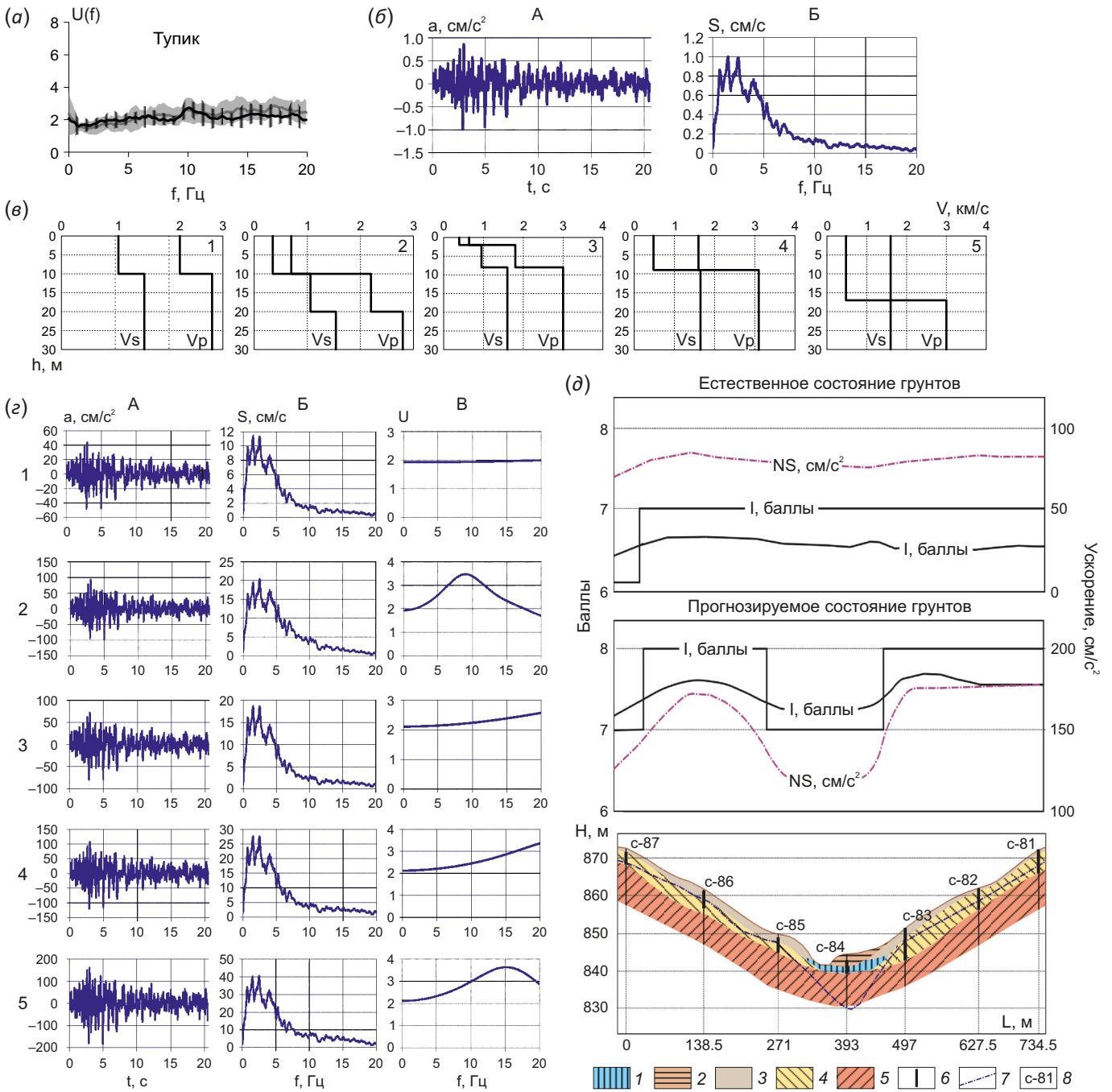


Рис. 2. Реализация методики прогноза сейсмических воздействий сильных землетрясений при деградации мерзлоты на примере участка строительства дамбы хвостохранилища (Восточная Сибирь).

(а) – годовые вариации частотных характеристик зоны сезонных колебаний температур по данным записей землетрясений; (б) – сформированная акселерограмма, соответствующая исходной сейсмичности района; (в) – наиболее вероятные сейсмогрунтовые модели для основания дамбы (1 – коренные эталонные породы; 2 – рыхлые талые неводонасыщенные грунты; 3 – мерзлые грунты; 4, 5 – водонасыщенные грунты); (з) – результаты теоретических расчетов акселерограмм (А) их спектров (Б) и частотных характеристик (В) для построенных моделей; (д) – вверху – инженерно-сейсмологический разрез по створу дамбы для естественного и прогнозируемого состояния грунтов, внизу – инженерно-геологический разрез (1–4 – рыхлые грунты, 5 – скальный грунт, 6 – грунты, насыщенные водой, 7 – граница мерзлых грунтов, 8 – скважины).

Fig. 2. Implementation of the methodology for predicting the seismic effects of strong earthquakes during permafrost degradation on the example of the tailings dam construction site (Eastern Siberia).

(a) – annual variations in the frequency characteristics of the zone of seasonal temperature fluctuations according to earthquake records; (б) – synthetic accelerogram for the initial seismicity of the region; (в) – the most probable seismic-ground models for the dam base (1 – bedrock reference rocks; 2 – loose thawed non-saturated grounds; 3 – frozen grounds; 4, 5 – water-saturated grounds); (z) – the results of theoretical calculations of accelerograms (A) of their spectra (Б) and frequency characteristics (B) for the synthetic models; (д) – above: seismological section along the dam for the natural and predicted state of grounds, below: geological section (1–4 – loose grounds, 5 – rocky grounds, 6 – grounds saturated with water, 7 – border of frozen grounds, 8 – wells).

инженерно-геологических данных. Для участков «Уянга» и «Тупик» отобраны наиболее показательные модели. Они являются представительными для рыхлых грунтов различной мощности и состояния.

Результаты реализации выбранных подходов к прогнозу сейсмических воздействий при деградации мерзлоты представлены поэтапно. По участку «Уянга» (см. рис. 1, г–е) для мерзлых грунтов естественного состояния выделяются две зоны с сейсмичностью 7 и 8 баллов. Однако техногенные воздействия вызывают деградацию многолетней мерзлоты. В случае перехода мерзлого слоя грунтов в талое воздушно-сухое или водонасыщенное состояние сейсмическая опасность в первом случае составляет на двух участках 7 и 8 баллов. Во втором случае это приводит к разделению территории сомона на зоны, соответствующие сейсмической опасности, равной 7, 8 и 9 баллам. Это наглядно представлено на совмещенной карте СМР (см. рис. 1, ж).

По данным расчетных методов, преобладающие частоты колебаний рыхлой толщи в естественном мерзлом состоянии находятся в пределах 14–20 Гц. При переходе в воздушно-сухое состояние частоты, в зависимости от мощности рыхлого слоя и его сейсмических параметров, уменьшаются до 3–7 Гц. Обводненному состоянию этого же слоя соответствует интервал преобладающих частот от 3.5 до 8.0 Гц. Расчетные акселерограммы и спектры ускорений следующим образом характеризуют изменение физического состояния мерзлых грунтов при их деградации. В мерзлом состоянии максимальные ускорения меняются от 164 до 202 см/с² (исходное 97–114 см/с²), при переходе в талое воздушно-сухое состояние они, в зависимости от мощности слоя рыхлых грунтов, увеличиваются в 1.3–1.8 раза и находятся в пределах от 210 до 280 см/с². При переходе из мерзлого в водонасыщенное состояние максимальные ускорения увеличиваются и составляют 381–418 см/с². Отмечается, что соотношение максимальных амплитуд инструментальных или синтезированных ускорений при сравнении с балльностью участка принималось на уровне основания сооружения не менее 1.0, 2.0 или 4.0 м/с² при сейсмичности площадок строительства 7, 8 и 9 баллов по шкале MSK-64 [Building Regulations..., 2018; Pavlov, 1988]. Частоты основных максимумов спектров практически не зависят от состояния грунтов. Основной максимум выделяется в интервале 2–3 Гц, уровни спектров увеличиваются при переходе от мерзлого к воздушно-сухому и далее к водонасыщенному состоянию в 1.8–4.0 раза.

Для площадки «Тупик» (рис. 2, г), служащей основанием строящейся дамбы, сейсмическая опасность, ввиду близкого залегания коренных пород, меняется для естественного состояния грунтов в небольших пределах – от 6.4 до 6.6 балла, для прогнозируемого водонасыщенного состояния – от 7.3 до 7.8 балла. В первом случае дамбы разделяются на участки с сейсмической опасностью, равной 6 и 7 баллам, во втором – 7

и 8 баллов. Участкам с сейсмической опасностью 6, 7 и 8 баллов соответствуют расчетные максимальные ускорения колебаний грунтов для горизонтальной компоненты, равные 48, 80–120 и 180 см/с², для вертикальной – 22, 30–46 и 65 см/с² соответственно. Их распределение по створам дамб представлено на инженерно-сейсмологических разрезах (рис. 2, д).

Центральная часть дамбы, где мощность рыхлых грунтов до коренных пород составляет не более 4 м, является менее опасной в сейсмическом отношении. Сейсмическая опасность таких участков с учетом состояния грунтов составляет 6 и 7 баллов.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный и реализованный методический комплексный подход позволяет получать на современном уровне исследований для естественного и прогнозируемого состояния грунтов в основаниях проектируемых сооружений набор сейсмических характеристик (акселерограммы, спектры, частотные характеристики) и основных параметров сейсмических воздействий для прогнозируемых сильных землетрясений (максимальные ускорения, преобладающие частоты, максимумы спектров и резонансных частот). Отмеченный набор характеристик и параметров сейсмических воздействий соответствует современным требованиям проектировщиков и является необходимым для проектирования и строительства сейсмостойких сооружений, расположенных в различных сейсмоклиматических зонах Монголо-Сибирского региона.

4. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

5. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Все авторы прочитали рукопись и согласны с опубликованной версией.

The authors have no conflicts of interest to declare. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

6. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Building Regulations II-7-81*. 2018. Construction in Seismic Areas. SP 14.13330.2018. Moscow, 117 p. (in Russian) [СНИП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах: СП 14.13330.2018. М., 2018. 117 с.].

Dzhurik V.I., Bryzhak E.V., Serebrennikov S.P., Eskin A.Yu., 2020. The Spectral Behavior of Ground Coseismic Motion in the Baikal Region: Effect of Seasonal Thawing-Freezing Cycles. Russian Geology and Geophysics 61 (8), 929–936. <https://doi.org/10.15372/RGG2019123>.

Dzhurik V.I., Drennov A.F., Serebrennikov S.P., Bryzhak E.V., Eskin A.Yu., 2015. A Study of Dynamic Parameters for Earthquakes in the Baikal Rift Zone in Order to Derive the Expected

Seismic Shaking. *Journal of Volcanology and Seismology* 9, 339–348. <https://doi.org/10.1134/S0742046315050036>.

Dzhurik V.I., Klyuchevsky A.V., Serebrennikov S.P., Demyanovich V.M., Batsaikhan Ts., 2009. Seismicity and Seismic Zoning of the Territory of Mongolia. IEC SB RAS, Irkutsk, 420 p. (in Russian) [Джурик В.И., Ключевский А.В., Серебренников С.П., Демьянович В.М., Батсайхан Ц. Сейсмичность и сейсмическое районирование территории Монголии. Иркутск: ИЭК СО РАН, 2009. 420 с.].

Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Bryzhak E.V., Eskin A.Y., 2021. A Preliminary Seismic Hazard Assessment of the Sakhalin–Mainland Area for a Critical Linear Structure. *Russian Journal of Pacific Geology* 15, 456–466. <https://doi.org/10.1134/S1819714021050031>.

Gileva N.A., Kobeleva E.A., Radziminovich Ya.B., Melnikova V.I., Chechelnitzky V.V., 2020. The September 21, 2020, $M_w=5.5$, Bystraya Earthquake in the Southern Baikal Region: Preliminary Results of Instrumental and Macroseismic Observations. *Problems of Engineering Seismology* 47 (4), 55–71 (in Russian) [Гилёва Н.А., Кобелева Е.А.,

Радзиминович Я.Б., Мельникова В.И., Чечельницкий В.В. Быстринское землетрясение 21.09.2020 г. ($M_w=5.5$) в Южном Прибайкалье: предварительные результаты инструментальных и макросейсмических наблюдений // Вопросы инженерной сейсмологии. 2020. Т. 47. № 4. С. 55–71]. <https://doi.org/10.21455/VIS2020.4-4>.

Khilko S.D., Kurushin R.A., Kochetkov V.M., Misharina L.A., Melnikova V.I., Gilyova N.A., Lastochkin S.V., Baljinniyam I., Monkhoо D., 1985. Earthquakes and Basis for Seismic Zoning of Mongolia. Nauka, Moscow, 224 p. (in Russian) [Хилько С.Д., Курушин Р.А., Кочетков В.М., Мишарина Л.А., Мельникова В.И., Гилева Н.А., Ласточкин С.В., Балжинням И., Монхоо Д. Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии. М.: Наука, 1985. 224 с.].

Pavlov O.V. (Ed.), 1988. Assessing the Influence of Ground Conditions on Seismic Hazard. Methodological Guide to Seismic Microzoning. Nauka, Moscow, 223 p. (in Russian) [Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность: Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию / Ред. О.В. Павлов. М.: Наука, 1988. 223 с.].