

Научная статья

УДК 550.34.06

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-4-15-25

КОРРЕКТИРОВКА СЕЙСМИЧНОСТИ УЧАСТКА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО
ОБХОДА Г. КЕМЕРОВОВласов Максим Алексеевич¹, Герасимов Олег Васильевич²,
Никулин Николай Юрьевич², Простов Сергей Михайлович¹¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева²ООО «Нооцентр»

*для корреспонденции: maxsdss@mail.ru

**Информация о статье**

Поступила:

17 мая 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 сентября 2023 г.

Принята к публикации:

20 сентября 2023 г.

Опубликована:

27 сентября 2023 г.

Ключевые слова:сейсмомикроразведочные
работы; преломление волн;
гамма-гамма каротажа;
домен; линеамент;
скоростной разрез;
сейсмическая интенсивность.**Аннотация.**

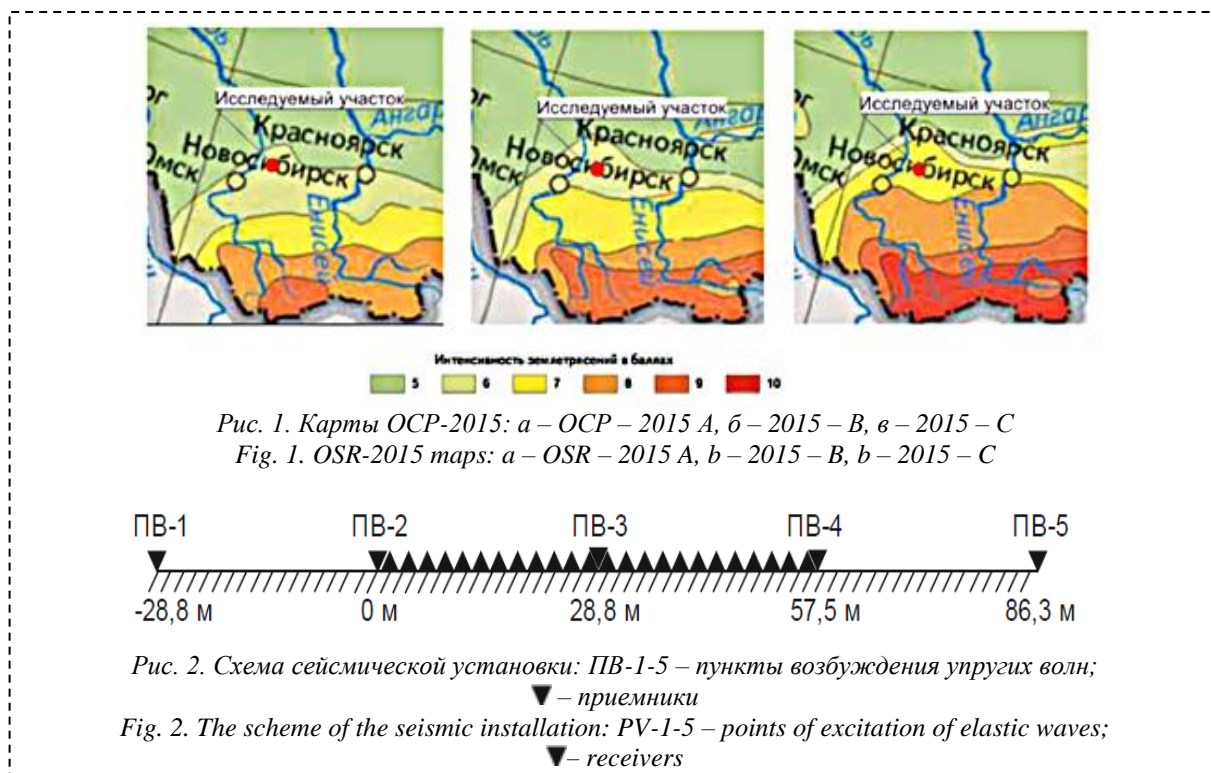
Описана методика проведения сейсмомикроразведочных работ методом преломленных волн и комплекса скважинных геофизических исследований, включающих методы гамма-гамма и гамма-каротажа, кажущихся сопротивлений и естественной поляризации. С целью построения скоростного разреза сейсмические зондирования выполнялись в модификации одиночных сейсмозондирований с получением пар встречных годографов и годографа, полученного в центральном пункте возбуждения. Построена модель, включающая параметры сейсмичных доменов района исследований и линеаменты. Домены охватывают объемы геологической среды, внутри которых с равной плотностью расположены (рассеяны) очаги землетрясений умеренных и невысоких магнитуд. Линеаменты представляют собой модели разломов, их координаты в плане получены путем интерпретации структурно-тектонической карты, а сейсмический режим вычислялся из обработки каталога землетрясений. Линеаменты несут основную часть сейсмического потенциала, так как вдоль них размещаются очаги наиболее крупных землетрясений. На основе комплексного анализа приведены результаты оценки расчетной интенсивности, скоростные поперечные разрезы и параметры колебаний для землетрясений с различным периодом повторяемости. Дана оценка сейсмической интенсивности по результатам сейсмомикроразведочных работ и прогноза сейсмических свойств грунтов, по результатам которых сейсмическую интенсивность удалось понизить на каждой опоре на 1 балл.

Для цитирования: Власов М.А., Герасимов О.В., Никулин Н.Ю., Простов С.М. Корректировка сейсмичности участка северо-западного обхода г. Кемерово // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 4 (158). С. 15-25. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-4-15-25, EDN: PDBSRI

Ведение.

В последнее время проблемы уточнения исходной сейсмичности (УИС) и сейсмического микрорайонирования (СМР) приобрели особую актуальность [1-4]. Колебания в земной коре происходят регулярно. Опасность на территории Сибири возникает не только от геологических особенностей, но и из-за большого количества шахт, разрезов и карьеров, ведь Кузбасс – это «Угольное сердце России». Довольно часто жители региона ощущают сильные взрывы на карьерах и разрезах, более интенсивные, чем природные подземные толчки в грунтах основания.

На современном этапе проблема защиты зданий и сооружений от сейсмических воздействий является задачей первостепенной важности. Актуальность исследований в этом направлении в свете недавних разрушительных землетрясений, а также ускоренного развития инфраструктуры сейсмоактивных районов Дальнего Востока, Байкала, Краснодарского края, Северного Кавказа очевидна.



Инженерный анализ последствий катастрофических землетрясений позволяет сделать важные выводы для получения новых данных. Отсюда следует, что при постройке объектов инфраструктуры необходимо производить сейсморазведочные работы и изучать сейсмическую интенсивность [5].

Исходную сейсмичность оценивают по картам общего сейсмического районирования ОСП - 2015 А, В, С, которые отражают соответственно 10%, 5%, 1%-ную вероятность возникновения в течение 50 лет в любом пункте зоны сотрясения, интенсивность которого равна значению балла, указанному на карте для данной зоны, либо превышает это значение. Это соответствует повторяемостям такого сотрясения 1 раз в 500, 1000, 5000 лет. Как видно из Рис. 1, по картам ОСП - 2015 А и В исследуемый участок относится к шестибальной зоне, то есть вероятность сотрясения в 6 баллов в течение 50 лет здесь составляет 10 и 5% соответственно (повторяемость такого сотрясения раз в 500 и 1000 лет), по карте С эта территория относится к семибальной зоне с повторяемостью сотрясения 7 баллов 1 раз в 5000 лет.

Методы исследования.

Исследуемая площадка располагается на р. Томь Кемеровской области в районе автомобильной дороги Кемерово – Яшкино – Тайга, севернее села Верхотомка между п. Денисово и п. Креково. Подробное описание площадки строительства представлено в статье [6].

Детализация сейсмичности и районирование территорий реализуется методами геофизики. В мировой практике широко используется комплексный подход при проведении геофизических работ. Как правило, при малоглубинных исследованиях он включает многоволновую сейсморазведку, высокоразрешающую электроразведку и скважинные исследования [7-16]. Инженерно-геологические работы проводились в соответствии со Сводом правил СП 269, СП 115, одобренным Департаментом развития научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя России.

Сейсмомикроразведочные работы (СМР) выполнялись методом преломленных волн (МПВ) с использованием сейсморазведочной станции «ЭЛЛИСС-3» с 24 каналами, шаг между

которыми был принят 2,5 м. С целью построения скоростного разреза сейсмические зондирования выполнялись в модификации одиночных сейсмондирований с получением пар встречных годографов и годографа, полученного в центральном пункте возбуждения. Схема расположения пунктов возбуждения по отношению к расстановке сейсмической косы приведена на Рис. 2.

Из-за стесненных условий при проведении работ установка сейсмического зондирования включала 3 пункта возбуждения (ПВ), 2 фланговых ПВ – 2 и ПВ – 4, центральный ПВ – 3. Выносные пункты возбуждения упругих волн ПВ – 1 и ПВ – 5 использовались с целью увеличения глубинности исследований. В качестве источника упругих волн применялся груз массой 500 кг, сбрасываемый с передвижного пункта удара (ППУ), который представлял собой буровую установку УРБ 2А2 на базе автомобиля ЗИЛ 131. Необходимость использования ППУ была обусловлена проведением исследований на поверхности, сложенной рыхлыми гравийно-галечниковыми отложениями, представляющими собой среду с высоким волновым сопротивлением, что негативно сказывалось бы на качестве полученного материала (сейсмограмм) из-за затухания сигнала. Т.к. использование ППУ предполагало сброс груза в вертикальном направлении по отношению к поверхности земли, то в качестве исследуемых волн были приняты продольные волны, которые фиксировались вертикальными сейсмоприемниками GS20 - DX. Однако в качестве скоростных характеристик грунтов, необходимых для решения задач СМР, используются скорости распространения поперечных волн V_s , определение которых осуществлялось методом многоканального анализа поверхностных волн MASW. Изучение V_s методом MASW позволило совместить сейсморазведочные исследования с решением задач исследования закарстованности и СМР.

Установки сейсмического зондирования располагались на участках проектируемых береговых опор моста. В русловой части исследования не проводились, СМР осуществлялся путем интерполяции сейсмических характеристик грунтов, полученных в ходе сейсморазведочных работ в пойме реки. Регистрация геофизических исследований в скважинах проводилась аппаратурой комплексного каротажа АКК-6-01 «Сосна», установленной на каротажный подъемник МПЗ С22-50. Измерения методами гамма-каротажа (ГК) кажущихся сопротивлений (КС) и естественной поляризации (ПС) с потенциал-зондом В0,95А0,1М проводились одновременно, за один спуско-подъем, скважинным прибором КП-82БКР. Для увеличения порога чувствительности сцинтилляционный детектор гамма-канала экранировался алюминиевым защитным экраном. Дополнительными спусками и регистрацией на АКК-6-01 выполнялись кавернометрия и резистивиметрия. Регистрация методами каротажа проводилась в автоматическом режиме в цифровой форме с шагом квантования 10 см на бортовой компьютер, входящий в состав аппаратуры АКК-6.

Измерения методами гамма-гамма каротажа (ГГК) проводились с использованием каротажной станции СК-1-74М с аппаратурой КП-82БКР. Измерялась интенсивность рассеянного гамма-излучения, находящаяся в обратной зависимости от плотности горных пород. Запись ГГК проводилась одновременно с ГК при постоянной интегрирующей контура, равной 1,5 с в масштабе 1:200, и 0,75 с в масштабе 1:50, на регистратор НО-65. Скорость подъема при регистрации в масштабе 1:200 составляла 200-360 м/ч, в масштабе 1:50 – 120-150 м/ч. Источник ионизирующего излучения-Цезий-137 активностью 1,2+10 Бк (0,0297 Ки), размер зонда 40 см.

Результаты ГГК переводились в цифровую форму с шагом квантования 10 см и передавались в форме таблиц *Excel* для перевода в форматы *PRN*, ГИС и ЛАС для их интерпретации и выноски на геологическую документацию.

Предварительно кривые ГГК сопоставлялись и увязывались по глубинам с данными КС, ГК, кавернометрии, записанными на регистраторе АКК-6-01 «Сосна» по характерным точкам на кривых гамма-каротажа. Стабильность работы канала гамма-каротажа оценивалась по измерениям интенсивности гамма-излучения от рабочего эталона до и после каротажа и сравнением их с измерениями при градуировании. Среднеквадратичное отклонение за весь период работ составило 3,4%, при инструктивном – 7,0%.

Основой для оценки сейсмической опасности (определения исходного балла) конкретной площадки является модель сейсмичности, которая составляется на основе карты сейсмогенерирующих структур, созданной, в свою очередь, в результате анализа всего необходимого и имеющегося для ее составления геолого-геофизического, тектонического и

сейсмологического материала. Домены (площади в плане) охватывают объемы геологической среды, внутри которых с равной плотностью расположены (рассеяны) очаги землетрясений умеренных и невысоких магнитуд (в методике ОСР принята магнитуда $M \leq 5,5$). В Таблице 1 приведены домены района исследований.

Таблица 1. Домены района исследований
Table 1. Domains of the research district

Домен	M_{max}	Сейсмический поток, событий/год				Площадь, тыс. км ²
		$M = 5,5$	$M = 5$	$M = 4,5$	$M = 4$	
D-262	4	-	-	-	0,007368	873,55
D-287	5,5	0,014682	0,031499	0,067577	0,144977	225,29
D-297	4,5	-	-	0,001461	0,003887	144,86
D-300	5,5	0,016364	0,045279	0,125285	0,346657	257,9

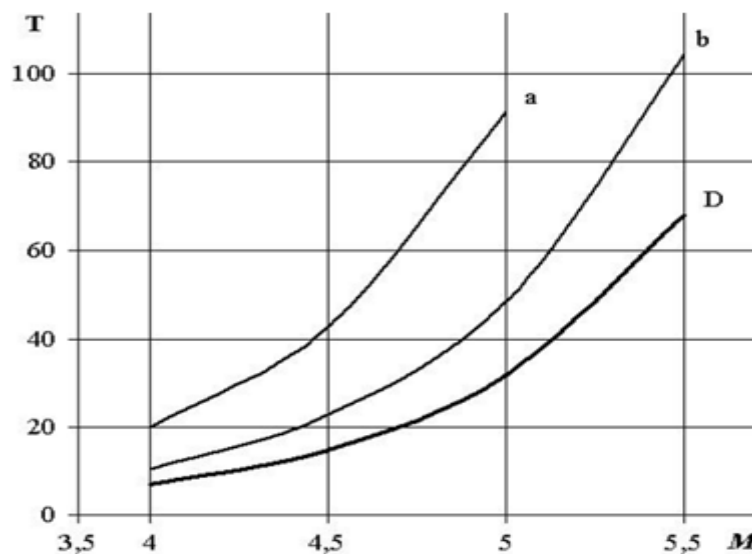


Рис. 3. Графики периодов повторяемости землетрясений разных магнитуд M в пределах всего домена D-287 и его частей D-287a и D-287b, периоды (T , годы) повторяемости землетрясений разных магнитуд (M) в пределах всего домена (D) и его частей (a , b)

Fig. 3. Graphs of the recurrence periods of earthquakes of different magnitudes M within the entire domain D-287 and its parts D-287a and D-287b, periods (T , years) of recurrence of earthquakes of different magnitudes (M) within the entire domain (D) and its parts (a , b)

Следует отметить, что участок изысканий находится в пределах домена D-287, который может генерировать землетрясения с максимальной магнитудой $M_{max} = 5,5$. Однако для дальнейшей оценки необходимо получить сейсмические характеристики этого и окружающих доменов.

Домен D-287 разделен на две части D-287a и D-287b. Оценка $M_{max} = 5,5$ была отнесена к южной части домена D-287b. Максимальная магнитуда ожидаемых землетрясений в D-287a принята равной $M_{max} = 5,0$, что не противоречит максимальной наблюдаемой здесь магнитуде землетрясений каталога $M = 4,0$ (Рис. 3).

Линеаменты (линии в плане) служат основным каркасом ЛДФ-модели и отображают на земной поверхности в генерализованном виде оси верхних кромок трехмерных и относительно четко выраженных сейсмоактивных структур. Они несут основную часть сейсмического потенциала, так как вдоль них размещаются очаги наиболее крупных землетрясений (в методике ОСР для линеаментов принята магнитуда $M \geq 6$). Линеаменты представляют собой модель разломов, их координаты в плане получены путем интерпретации структурно-тектонической карты, а сейсмический режим вычисляется из обработки каталога землетрясений.

Все линеаменты расположены на южной границе зоны и могут генерировать землетрясения только с $M_{max} = 6$, поэтому их влияние для карт А и В, скорее всего, несущественно сказывается на сейсмичности участка работ, однако для более длительных периодов их вклад в интенсивность сейсмических колебаний района может быть весьма высок. В Таблице 2

Таблица 2. Линеаменты района исследования
Table 2. Lineaments of the research district

№	Сейсм. поток $M = 6$	Длина, км	φ , град	λ , град
L-0421	0,00045	58,321	54,77 – 54,5	84,17 – 84,95
L-0422	0,000684	88,696	54,85 – 54,16	84,23 – 83,54
L-0440	0,000702	91,059	54,5 -53,84	84,95 – 85,78
L-0455	0,000374	48,929	53,84 -53,42	85,78 – 85,56
L-0462	0,701	90,531	54,55 -53,86	86,07 – 86,81
L-0471	0,000205	27,505	53,83 -53,59	86,82 – 86,92
L-0473	0,000569	73,331	53,59 -53,04	86,92 – 86,31
L-0477	0,000405	52,771	53,95 -53,51	87,19 – 87,49
L-0493	0,000734	94,976	54,61 -53,81	88,12 – 88,63
L-0497	0,001819	235,809	54,32 -53,25	88,27 – 85,16
L-0500	0,001634	212,257	53,81 -52,01	88,63 – 87,58
L-0501	0,000489	62,823	54,15 -53,61	88,69 – 88,97
L-0502	0,000326	43,417	54,54 -54,15	88,7 – 88,69
L-0521	0,000264	33,495	54,28 -54,02	90,25 – 90,51
L-0535	0,000752	97,664	54,65 -54,18	90,97 – 89,69
L-0536	0,000503	64,784	54, 65 -54,51	90,97 – 91,95
L-0550	0,000762	98,746	54,5 -54,2	91,78 – 90,34

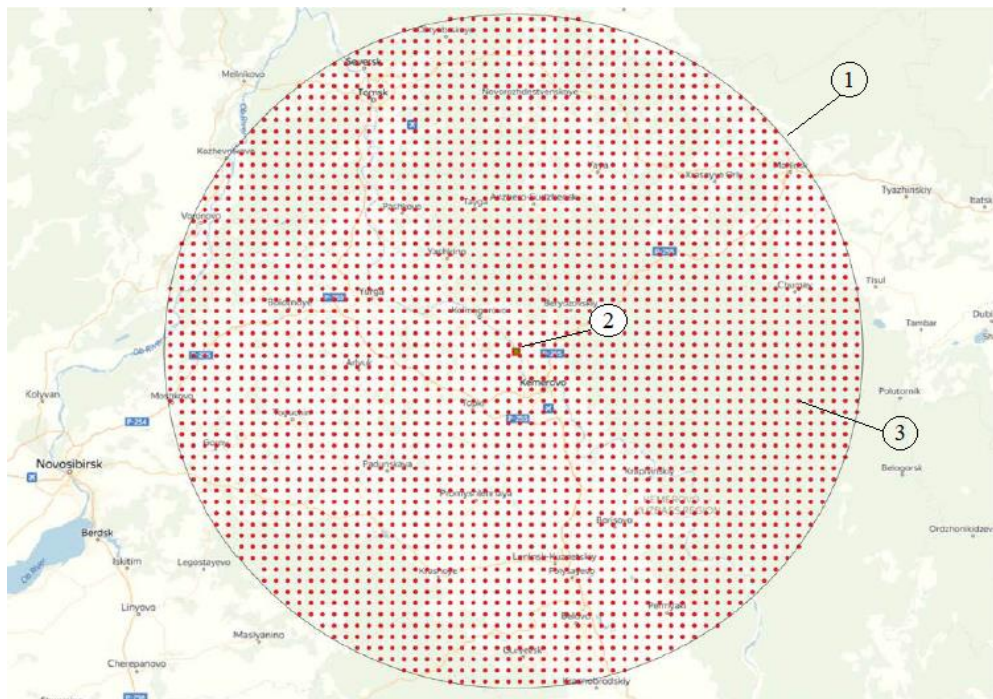


Рис. 4. Расчетная сетка с шагом 5 x 5 км: 1 – зона расчетной сейсмичности;

2 – расположение исследуемого объекта; 3 – узел сетки с шагом 5 x 5 км

Fig. 4. The calculated grid with a step of 5 x 5 km: 1 – the zone of calculated seismicity;

2 – the location of the object under study; 3 – the grid node with a step of 5 x 5 km

приведены линеаменты района исследований, где φ – угол, образованный перпендикуляром к поверхности в данной точке и плоскостью экватора, а λ – двугранный угол между плоскостями геодезического меридиана данной точки и Нулевого меридиана.

Для проведения площадного расчета была построена сетка с шагом 5x5 км на площади радиусом 150 км вокруг района работ (Рис. 4). Далее в программе EAST-2016 с использованием базы доменов и линеаментов, обладающих выше описанными свойствами,

Таблица 3. Оценка расчетной интенсивности
Table 3. Estimation of the calculated intensity

Площадка	Координаты		Интенсивность сотрясений I для периода повторяемости				
	N (с.ш)	E (в.д.)	500 лет (карта А)	1000 лет (карта В)	2000 лет	5000 лет (карта С)	10000 лет (карта D)
Мост, Северо-западный обход г. Кемерово	55,51	85,89	5,74 (5,7)	6,21 (6,2)	6,75 (6,8)	7,36 (7,4)	7,80 (7,8)

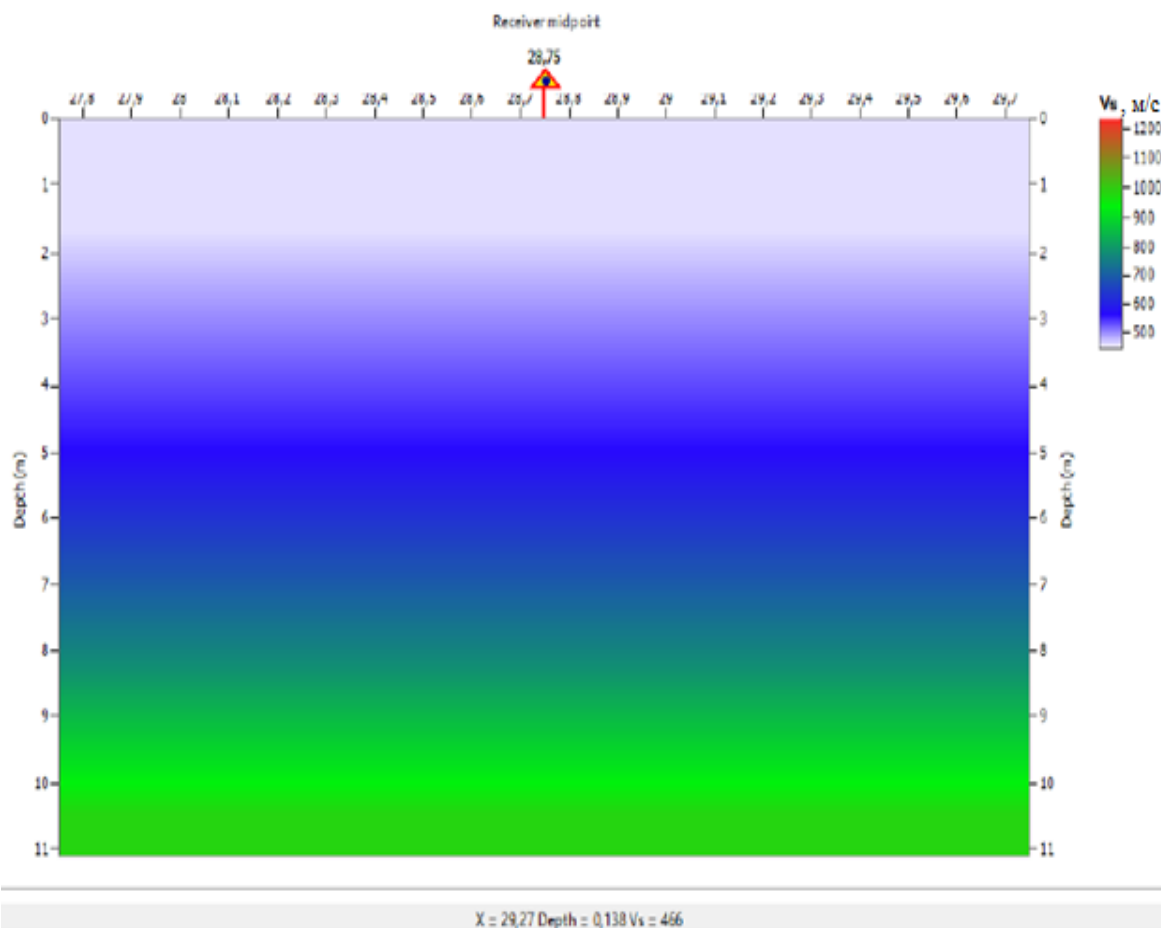


Рис. 5. Скоростной разрез, полученный методом MASW
Fig. 5. High-speed section obtained by the MASW method

была рассчитана интенсивность сотрясений для каждого узла (выделены красными точками) данной расчетной сетки.

На заключительной стадии работ по оценке сейсмической опасности интенсивность сотрясений земной поверхности вычисляется от каждого виртуального очага в отдельности с учетом его размера и закона затухания сейсмических сотрясений с расстоянием. Расчеты производятся для каждого узла квадратной сетки. В основу расчета повторяемости сейсмических воздействий различной интенсивности на изучаемой территории и ее сейсмического районирования положена виртуальная сейсмичность, полученная путем «разыгрывания» случайным образом гипотетических очагов землетрясений из продленного во времени синтетического каталога и в соответствии с созданной моделью.

Опрашивая каждый из виртуальных очагов и учитывая затухание сейсмического эффекта с расстоянием, для каждого узла сетки рассчитывается интенсивность колебаний I в баллах. Оценки расчетной интенсивности для участка работ по всем вариантам расчета приведены в Таблице 3.

Коэффициент за сейсмический режим определялся по формуле:

Таблица 4. Параметры колебаний для землетрясений с различным периодом повторяемости на участке расположения опоры №1

Table 4. Oscillation parameters for earthquakes with different recurrence periods at the location of support №1

Период повторяемости землетрясений	Расчетные параметры горизонтальных колебаний грунта		
	Перемещение U , см	Скорость V , см/с	Ускорение W , см/с ²
Раз в 500 лет (Карта ОСР-2015 А)	2,2	4,3	54,1
Раз в 1000 лет (Карта ОСР-2015 В)	3,1	6,1	76,8
Раз в 500 лет (Карта ОСР-2015 С)	7,1	14,1	176,4
Раз в 2000 лет	4,7	9,3	116,3

Таблица 5. Сейсмическая интенсивность, определенная по результатам СМР и УИС

Table 5. Seismic intensity determined by the results of SMR and UIS

№	Объект	ПК	Категория грунта за сейсмические свойства	Сейсмическая интенсивность I			
				Период повторяемости, лет			
				500 лет (карта А)	1000 лет (карта В)	2000 лет	5000 лет (карта С)
1	Мост (Опора №1)	282+31,61	III	6,1	6,6	7,2	7,8
2	Мост (Опора №2)	283+36,61	II	5,1	5,6	6,2	6,8
3	Мост (Опора №3)	284+41,61	II	5,1	5,6	6,2	6,8
4	Мост (Опора №4)	285+46,61	II	5,1	5,6	6,2	6,8
5	Мост (Опора №5)	286+51,61	II	5,1	5,6	6,2	6,8
6	Мост (Опора №6)	287+56,61	II	5,1	5,6	6,2	6,8
7	Мост (Опора №7)	288+61,61	II	5,1	5,6	6,2	6,8
8	Мост (Опора №8)	289+66,61	III	6,0	6,5	7,1	7,7
9	Мост (Опора №9)	290+35,61	III	5,9	6,4	7,0	7,6
10	Мост (Опора №10)	291+09,31	II	5,4	5,9	6,5	7,1

$$K_{cp} = 2^{\delta I_{sr}} \quad (1)$$

где $\delta I_{sr} = I_{ym} - I_{uc}$; I_{ym} – уточненная сейсмическая интенсивность; I_{uc} – исходная сейсмическая интенсивность, принимаемая по картам ОСР – 2015.

Коэффициент на динамические свойства грунтовой толщи (ее сейсмической жесткости) определялся по формуле:

$$K_{cp} = 2^{1,671g(\frac{655}{\rho v})} \quad (2)$$

где ρv – сейсмическая жесткость грунта расчетной толщи, т/м²с; ρ – плотность грунта, т/м³; v – скорость поперечных сейсмических волн в расчетной толще, м/с.

Согласно Рис. 5, значение скорости поперечной сейсмической волны для коренных пород в характерной точке СЗ-1 на глубине 11 м составило 1050 м/с. Период повторяемости колебаний скальных пород принят из справочных данных равным 0,12.

Таким образом, длина волны равна $\lambda = 1050 \times 0,12 = 126$ м. Отношение длины волны к глубине долины равно $\chi = \lambda/H = 126 / 98 = 1,29$. Так как мостовой переход возвышается над дном долины в среднем на 40 м, то, используя линейную интерполяцию, было установлено, что коэффициент влияния рельефа местности на этом уровне равен $K_{pm} = 0,99$. Особенности построения скоростных волн рассмотрены более детально в публикациях [17,18] и различных строительных нормах, в таких как РСН 60-86 и РСН 65-87, СП 269. Динамические характеристики грунтов скорректированы с использованием коэффициентов K_{cp} , $K_{зр}$, K_{pm} , определенных выше по приведенным формулам.

Результаты.

Исходные амплитудные характеристики колебаний грунта в горизонтальной плоскости в районах (пунктах), расположенных на ровных участках местности и сложенных средними по сейсмическим свойствам грунтами, принимаются следующими:

- при сейсмичности 6 баллов:

ускорения ($PGA=0,051g$) – $W = 50$ см/с², скорости – $V = 4,0$ см/с, перемещения – $U = 2,0$ см;

- при сейсмичности 7 баллов:

ускорения ($PGA=0,102g$) – $W = 100$ см/с², скорости – $V = 8,0$ см/с, перемещения – $U = 4,0$ см.

Используя ранее рассчитанные коэффициенты K_{cp} , $K_{зр}$, K_{pm} выполнили корректировку амплитудных характеристик для карт ОСР-2015 А, В, С и периода повторяемости землетрясения 1 раз в 2000 лет. Результаты уточнения приведены в Таблице 4 для береговой опоры №1.

Дана обобщенная оценка сейсмической интенсивности для опор моста в целочисленных значениях балла. Сейсмическая интенсивность, определенная по результатам сейсмического микрорайонирования и оценки сейсмических свойств грунтов представлены в таблице 5.

Выводы.

1. По результатам работ по СМР и оценке сейсмических свойств грунтов исследуемый район представлен тремя микрizonaми:

- микрizona, приуроченная к руслу и пойме реки (опоры №2-7) – сейсмическая интенсивность этой микрзоны по карте ОСР-2015 В – 6 баллов; по карте С – 7 баллов; для периода повторяемости раз в 2000 лет – 6 баллов;

- микрizona береговых склонов располагается на участке проектируемых опор №1, №8) – сейсмическая интенсивность этой микрзоны по карте ОСР-2015 В – 7 баллов; по карте С – 8 баллов; для периода повторяемости раз в 2000 лет – 7 баллов;

- микрizona береговых склонов с близким залеганием скальных пород располагается в районе опор №9 и №10. Сейсмическая интенсивность этой микрзоны по карте ОСР-2015 В – 6 баллов; по карте С – 7 и 8 баллов, а для периода повторяемости раз в 2000 лет – 7 баллов.

2. Проведение сейсморазведочных работ совместно с выполненными расчетами наглядно показало, что сейсмическую интенсивность удалось понизить на каждой опоре на 1 балл. В свою очередь, это способствовало уменьшению стоимости строительства данного объекта без угрозы сейсмического воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Достанова С. Х., Токпанова К. Е., Сахи С. Г. Проблемы теории и практики сейсмостойкости зданий и сооружений // Евразийский Союз Ученых. 2020. № 11 (80). С. 48–53.
2. Солодкий И. А. Сравнительный обзор методов строительства в сейсмически активных районах // Символ науки. 2018. № 9. С. 5–7.
3. Половников С. С., Табрин В. Л., Шабалин С. В. Кинематическая обработка сейсморазведочных данных, полученных в сложных сейсмологических условиях // Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих ресурсов России. 2018. № 3 (35). С. 315–321.
4. Давыдов В. А., Щапов В. А., Цай Г. А. Изучение опасных природных и техногенных геологических процессов с помощью геофизических методов // Известия Уральского государственного горного университета. 2018. № 2 (50). С. 65–71.
5. Джинчвелашвили Г. А., Колесников А. В., Заалишвили В. Б., Годустов И. С. Перспективы развития систем сейсмоизоляции современных зданий и сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2009. № 6. С. 27–31.

6. Власов М.А., Герасимов О.В., Плотников А.В., Простов С.М. Особенности геологического строения участка основания северо-западного обхода г. Кемерово // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 3 (157). С. 4-13. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-4-13, EDN: NQGCUC
7. Мельник Е. А., Оленченко В. В. Комплексная интерпретация данных геофизических исследований в составе инженерно-геологических изысканий // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. № 3. С. 288–294.
8. Ganerod G. V. Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fractures zones in a section of the Viggja road tunnel, Norway // Bulletin of Engineering and the Environment. 2006. 65 (3):231–243.
9. Nemeth B., Clowes R., Hajnal Z. Lithospheric structure of the Trans-Hudson Orogen from seismic refraction – wide-angle reflection studies // Canadian Journal of Earth Sciences. 2005. 42(4):435–456.
10. Санфиоров И. А., Жикин А. А., Ярославцев А. Г. Малоглубинная сейсморазведка 3D на участках со сложным геологическим строением // Журнал Пермского федерального исследовательского центра. 2019. № 2. С. 18–28.
11. Бородкин В. Н., Курчиков А. Р., Недосекин А. С., Лукашов А. В., Смирнов О. А., Фирстаева Е. Н., Погрещкий А. В. Сейсмогеологическая модель палеозой-мезозойских отложений Белоостровского, Скуратовского и Нярайского лицензионных участков акватории Карского моря по данным сейсморазведки 3D // Геология нефти и газа. 2019. № 1. С. 72–85.
12. Хуррамов А. Ч., Мирзаалимов И. Ю., Сафаров Ш. Ш. Способы защиты мостовых конструкций от внешних воздействий и их сравнительный анализ // Academic research in educational sciences. 2021. № 2 (8). С. 204–212.
13. Gabibov F., Aliyev V., Gafarov E., Akhmedova A., Magerramova S. Study of the stability and safety of the dam on lake Boyuk-Shor in Baku // Reliability: Theory and Applications. 2022. 4 (70):140–145.
14. Ivanov A. Y., Chernogorskiy S. A., Vlasov M. P. Seismic design optimization considering base-isolation system // Magazine of Civil Engineering. 2018. 4 (80):138–150.
15. Nigmatov G., Savinov A., Nigmatov T. Assessment of individual seismic risk for the population, taking into account the actual seismic resistance of buildings and the seismicity of soils // Reliability: Theory and Applications. 2022. 4 (70):172–179.
16. Belash T. A., Ivanova T. V. Earthquake resistance of buildings on thawing permafrost grounds // Magazine of Civil Engineering. 2020. 1 (93): 50–29.
17. Чернышов Г. С., Дучков А. А., Сердюков А. С. Применение метода волновой томографии для обработки данных малоглубинной сейсморазведки // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. № 2 (4). С. 90–94.
18. Тяпин А. Г. «Старые» и «новые» узлы в моделировании сложных грунтовых условий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 6. С. 14–19.

© 2023 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Власов Максим Алексеевич, аспирант, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: maxsdss@mail.ru
Герасимов Олег Васильевич, канд. техн. наук, генеральный директор, ООО «Нооцентр», (650056, Россия, г. Кемерово, ул. Ворошилова, 30), e-mail: gerasimov@noocentr.com
Никулин Николай Юрьевич, канд. техн. наук, ведущий инженер-геофизик, ООО «Нооцентр», (650056, Россия, г. Кемерово, ул. Ворошилова, 30), e-mail: n.y.nikuln@mail.ru
Простов Сергей Михайлович, докт. техн. наук, профессор, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: psm.kem@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Власов Максим Алексеевич – обзор литературы по теме исследования, сбор и анализ данных, написание текста.
Герасимов Олег Васильевич – постановка задачи и организация проведения сейсмомикроразведочных работ.
Никулин Николай Юрьевич – проведение сейсмомикроразведочных работ, анализ данных.
Простов Сергей Михайлович – научный менеджмент, анализ данных, выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

ADJUSTMENT OF SEISMICITY OF THE SECTION OF THE NORTH-WESTERN BYPASS OF KEMEROVO

Maksim A. Vlasov¹, Oleg V. Gerasimov²,
Nikolay Y. Nikulin², Sergey M. Prostov¹¹T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University²«Nootsentr»

*for correspondence: maxsdss@mail.ru



Article info

Received:

17 May 2023

Accepted for publication:

15 September 2023

Accepted:

20 September 2023

Published:

27 September 2023

Keywords: seismic micro-exploration work; wave refraction; gamma-gamma logging; domains; lineaments; velocity sections; seismic intensity

Abstract.

The technique of conducting seismic micro-exploration by the method of refracted waves and a complex of borehole geophysical studies, including methods of gamma-gamma and gamma-logging, apparent resistances and natural polarization, is described. In order to construct a velocity section, seismic sounding was performed in the modification of single seismic sounding with the receipt of a pair of counter hodographs and a hodograph obtained at the central excitation point. Model including parameters of seismic domains of the research area and lineaments is constructed. The domains cover the volumes of the geological environment, within which the foci of moderate and low magnitude earthquakes are located (scattered) with equal density. Lineaments are a model of faults, their coordinates in the plan are obtained by interpreting the structural-tectonic map, and the seismic regime is calculated from the processing of the earthquake catalog. The lineaments carry the main part of the seismic potential, since the foci of the largest earthquakes are located along them. Based on a comprehensive analysis, the results of estimating the calculated intensity, velocity cross sections and oscillation parameters for earthquakes with different recurrence periods are presented. An assessment of the seismic intensity is given based on the results of seismic micro-exploration and a forecast of the seismic properties of soils, according to the results of which the seismic intensity was reduced by 1 point on each support.

For citation: Vlasov M.A., Gerasimov O.V., Nikulin N.Y., Prostov S.M. Adjustment of seismicity of the section of the north-western bypass of Kemerovo. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 4(158):15-25. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-4-15-25, EDN: PDBSRI

REFERENCES

1. Dostanova S.Kh., Tokpanova K.E., Sakhi S.G. Problemy teorii i praktiki seismostoikosti zdaniy i sooruzheniy [Problems of theory and practice of earthquake resistance of buildings and structures]. *Evrasiiskii Soyuz Uchenykh [Eurasian Union of Scientists]*. 2020; 11:48-53.
2. Solodkii I.A. Sravnitel'nyi obzor metodov stroitel'stva v seismicheski aktivnykh raionakh [Comparative review of construction methods in seismically active areas]. *Simvol nauki [Symbol of science]*. 2018; 9:5-7.
3. Polovnikov S.S., Tabrin V.L., Shabalin S.V. Kinematicheskaya obrabotka seismorazvedochnykh dannykh, poluchennykh v slozhnykh seismologicheskikh usloviyakh [Kinematic processing of seismic survey obtained in complex seismological conditions]. *Problemy resursnogo obespecheniya gazodobyvayushchikh resursov Rossii [Problems of resource provision of gas producing resources of Russia]*. 2018; 35(3):315-321.
4. Davydov V.A., Shchapov V.A., Tsai G.A. Izuchenie opasnykh prirodnykh i tekhnogennykh geologicheskikh protsessov s pomoshch'yu geofizicheskikh metodov [Study of hazardous natural and man-made geological processes using geophysical methods]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta [Proceedings of the Ural State Mining University]*. 2018; 50(2):65-71.
5. Dzhinchvelashvili G.A., Kolesnikov A.V., Zaalishvili V.B., Godustov I.S. Perspektivy razvitiya sistem seismoizolyatsii sovremennykh zdaniy i sooruzheniy [Prospects for the development of modern systems of seismic isolation of buildings and structures]. *Seysmostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy [Earthquake-resistant construction]*.

Safety of structures]. 2009; 6:27–31.

6. Vlasov M.A., Gerasimov O.V., Plotnikov A.V., Prostov S.M. Features of the geological structure of the base section of the north-western bypass of Kemerovo. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2023; 3(157):4–13. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-4-13, EDN: NQGCUC

7. Mel'nik E.A., Olenchenko V.V. Kompleksnaya interpretatsiya dannykh geofizicheskikh issledovaniy v sostave inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy [Comprehensive interpretation of geophysical research data as part of engineering and geological surveys]. *Interexpo Geo-Sibir'*. [Interexpo Geo-Siberia]. 2018; 3:288–294.

8. Ganerod G.V. Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fractures zones in a section of the Viggja road tunnel, Norway. *Bulletin of Engineering and the Environment*. 2006; 65(3):231–243.

9. Nemeth B., Clowes R., Hajnal Z. Lithospheric structure of the Trans-Hudson Orogen from seismic refraction – wide-angle reflection studies. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2005; 42(4):435–456.

10. Sanfirov I.A., Zhikin A.A., Yaroslavtsev A.G. Maloglubinnaya seismorazvedka 3D na uchastkakh so slozhnym geologicheskim stroeniem [Shallow 3D seismic survey on the sites of complex geological structure]. *Zhurnal Permskogo federal'nogo issledovatel'skogo tsentra* [Perm Federal Research Centre Journal]. 2019; 2:18–28.

11. Borodkin V.N., Kurchikov A.R., Nedosekin A.S., Lukashov A.V., Smirnov O.A., Firstaeva E.N., Pogretskii A.V. Seismogeologicheskaya model' paleozoi-mezozoiiskikh otlozhenii Beloostrovskogo, Skuratovskogo i Nyarmeiskogo litsenzyonnykh uchastkovakvatorii Karskogo morya po dannym seismorazvedki 3D [Geoseismic model of Palaeozoic-Mesozoic series according to 3D seismic data: Beloostrovsky, Skuratovsky, and Nyarmeisky license areas (Kara Sea waters)]. *Geologiya nefii i gaza* [Geology of oil and gas]. 2019; 1:72–85.

12. Khurramov A.Ch., Mirzaolimov I.Yu., Safarov Sh.Sh. Sposoby zashchity mostovykh konstruksii ot vneshnikh vozdeystvii i ikh sravnitel'nyi analiz [Methods of protection of bridge structures from external influences and their comparative analysis]. *Academic research in educational sciences*. 2021; 8(2):204–212.

13. Gabibov F., Aliyev V., Gafarov E., Akhmedova A., Magerramova S. Study of the stability and safety of the dam on lake Boyuk-Shor in Baku. *Reliability: Theory and Applications*. 2022; 70(4): 140–145.

14. Ivanov A.Y., Chernogorskiy S.A., Vlasov M.P. Seismic design optimization considering base-isolation system. *Magazine of Civil Engineering*. 2018; 80(4):138–150.

15. Nigmatov G., Savinov A., Nigmatov T. Assessment of individual seismic risk for the population, taking into account the actual seismic resistance of buildings and the seismicity of soils. *Reliability: Theory and Applications*. 2022; 70(4):172–179.

16. Belash T.A., Ivanova T.V. Earthquake resistance of buildings on thawing permafrost grounds. *Magazine of Civil Engineering*. 2020; 93(1):50–29.

17. Chernyshov G.S., Duchkov A.A., Serdyukov A.S. Primenenie metoda volnovoi tomografii dlya obrabotki dannykh maloglubinnoi seismorazvedki [Application of wave-equation traveltime inversion for near surface geophysics studies]. *Interexpo Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia]. 2017; 2(4):Pp. 90–94.

18. Tyapin A.G. «Starye» i «novye» uzly v modelirovanii slozhnykh gruntovykh uslovii ["Old" and "new" nodes in modeling of complicated soil environment]. *Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii*. [Earthquake-resistant construction. Safety of structures]. 2019; 6:14–19.

© 2023 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Maksim A. Vlasov, Postgraduate, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya st., 28), e-mail: maxsdss@mail.ru

Oleg V. Gerasimov, PhD in Technical Sciences, General manager, OOO «Nootsentr», (650056, Russia, Kemerovo, Voroshilov St, 30), e-mail: gerasimov@noocentr.com

Nikolay Y. Nikulin, PhD in Technical Sciences, leading geophysicist engineer, OOO «Nootsentr», (650056, Russia, Kemerovo, Voroshilov St, 30), e-mail: n.y.nikulin@mail.ru

Sergey M. Prostov, Dr. in Technical Sciences, Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya st., 28), e-mail: psm.kem@mail.ru

Contribution of the authors:

Maksim A. Vlasov – review of the literature on the research topic, data collection and analysis, writing a text, conclusions.

Oleg V. Gerasimov – statement of the task and organization of conducting seismic micro-exploration work.

Nikolay Y. Nikulin – conducting seismic micro exploration work, data analysis.

Sergey M. Prostov – scientific management, data analysis, conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

