

УДК 504.05;622.235

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА СЕЙСМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ

© 2013 Г.В. Гриб, А.Ю. Пазынич, Н.Н. Гриб

Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета,  
г. Нерюнгри

Поступила в редакцию 13.05.2013

Оценка влияния свойств массива на сейсмические эффекты от взрывов основана на анализе закономерностей, связывающих максимальную векторную скорость с литологическим составом, трещиноватостью, неоднородностью, обводненностью взрывааемых блоков, многолетней мерзлотой и другими инженерно-геологическими особенностями разрабатываемых месторождений.

Ключевые слова: *литологические типы пород, физико-механические свойства, тектоника, трещиноватость, обводненность, многолетняя мерзлота, сейсмический эффект взрыва*

Для количественной оценки сейсмического действия взрывов в разрезе «Нерюнгринский» использовалась уравнение регрессии, выражающее связь приведенной массы заряда взрывчатого вещества (ВВ), максимальной в группе ( $\rho_{Qmax}$ ), и максимальной векторной скорости колебания грунта ( $U_{xyz}$ ) [1]:

$$U_{xyz} = 0,1969 \rho_{Qmax}^3 + 1,866 \rho_{Qmax}^2 - 3,59 \rho_{Qmax} + 1,6004$$

При расчете приведенной массы заряда ВВ, максимальной в группе ( $\rho_{Qmax}$ ), использовалось следующее выражение  $\rho_{Qmax} = \sqrt[3]{Q/R}$ , где  $Q$  – масса заряда ВВ, максимальная в группе;  $R$  – гипоцентральное расстояние.

Теоретически зависимости подобного вида непосредственно учитывают всю совокупность параметров взрывных работ, влияющих на сейсмический эффект взрыва, такие, как конструктивные особенности заряда ВВ, параметры короткозамедленного взрывания и схемы инициирования, свойства пород и горно-геологические условия. При этом отклонение измеренных значений от аппроксимирующих зависимостей были велики, что объясняется неизбежным и неконтролируемым изменением многих параметров взрывной отбойки [1]. Необходимо отметить, что даже для однородного месторождения распространение сейсмических волн каждый раз остается особым случаем, зависящим от всего чрезвычайно изменчивого комплекса горно-геологических и технологических условий. Поэтому для каждого конкретного месторождения необходимо установить факторы оказывающие наибольшее влияние на сейсмический эффект взрыва.

**Инженерно-геологические условия Нерюнгринского месторождения.** Физико-механические свойства горного массива, а также структурно текстурные особенности пород в основном определяют способ бурения, конструкцию и массу заряда взрывчатого вещества, параметры технологии буровзрывных работ. Представление о влиянии свойств массива на сейсмический эффект взрыва основаны на анализе закономерностей, связывающих упругие и прочностные свойства горных пород с литологическим составом, пористостью, свойствами флюидов, заполняющих поры и трещины, неоднородностью и другими геологическими особенностями. Прочность горных пород, наряду с ее упругостью, являются основными показателями, которые характеризуют сопротивляемость породы разрушению [2]. Прочностные свойства вскрышных пород Нерюнгринского месторождения приведены в табл. 1. Характеристики упругих свойств вскрышных пород Нерюнгринского месторождения приведены в табл. 2.

Плотностные параметры имеют тенденцию к повышению с глубиной; пористость, влажность и влагоемкость с глубиной соответственно понижаются. Изменение в пределах одного литотипа истинной плотности (плотность минерального скелета) свидетельствует о повышении по мере приближения к дневной поверхности доли окислительно-восстановительных процессов.

Горные породы вскрышного массива характеризуются высокой трещиноватостью. Степень трещиноватости пород определяет степень их разрушения. В целом, характеризуя трещиноватость пород, необходимо отметить наибольшую ее интенсивность в алевrolитах. Зона повышенной трещиноватости пород, сопровождающая крупно-амплитудные разрывные нарушения, характеризуется интенсивностью около 5-30 трещин/п.м., мощностью 5-10 м. По мере удаления от зон разрушения трещиноватость затухает.

*Гриб Галина Владиславовна, заведующая лабораторией мониторинга и прогноза сейсмичности. E-mail: nss@neru.sakha.ru*

*Пазынич Андрей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела*

*Гриб Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры горного дела. E-mail: grib@nfygu.ru*

**Таблица 1.** Прочностные характеристики вскрышных пород Нерюнгринского месторождения

Название породы	Объемный вес г/см <sup>3</sup>	Прочность при растяжении		Прочность при сжатии		Показатель дро- жимости	
		$\sigma_p$ , МПа	коэфф. вариации кв.:%	$\sigma_{сж}$ МПа	коэфф. вариации кв.:%	$V_{max}$ см <sup>3</sup>	коэфф. вариации кв.:%
глинистый песчаник, средне и крупнозернистый	2,42	5,9	9,3	55,0	7,5	6,4	16
кварцево-глинистый песчаник, мелко и среднезернистый	2,48	6,8	13	62,0	12	4,2	19
кварцево-глинистый песчаник, алевроитовый	2,55	7,8	21,5	68,0	20	3,5	23,9
карбонатный песчаник, мелко и среднезернистый	2,64	7,62	17	69,0	12	4,0	22,6
кварцево-карбонатный песчаник	2,59	8,8	26	75,0	23	3,2	31
алевролит	2,5	5,8	21	74,0	17,5	4,2	28
кварцево-карбонатный песчаник, алевроитовый	2,60	9,9	21	86,0	20	3,7	25
кварцевый песчаник, мелкозернистый	2,62	12,3	18	124,0	14	2,1	29

**Таблица 2.** Упругие свойства вскрышных пород Нерюнгринского месторождения

Название породы	Объемная плотность, г/см <sup>3</sup>	Скор. продол. волны		Скор. попе- речн. волны		Коефф. Пуассона		Модуль упругос-ти		Модуль всест-ного сжатия $K \cdot 10^{-5}$ кг/см <sup>2</sup>	Акустическая жест-кость	
		$V_p$ , м/сек	кв.:%	$V_s$ , м/сек	кв.:%	$\mu$	кв.:%	$E \cdot 10^{-5}$ кг/см <sup>2</sup>	кв.:%		$\lambda \cdot 10^{-5}$ г/см <sup>2</sup>	кв.:%
глинистый песчаник, средне и крупнозернистый	2,42	3250	8,6	2160	11	0,29	29	2,55	19	1,07	7,88	8,6
кварцево-глинистый песчаник, мелко и среднезернистый	2,48	3450	17,3	2270	15,3	0,27	30,7	2,92	29	1,33	8,55	17,3
кварцево-глинистый песчаник, алевроитовый	2,55	3910	7,2	2560	8,0	0,23	24,3	3,85	15	1,74	9,98	7,2
карбонатный песчаник, мелко и среднезернистый	2,64	3370	9,3	2160	10,1	0,25	27	2,94	18	1,33	8,9	9,3
кварцево-карбонатный песчаник	2,59	4100	7,0	2650	7,6	0,21	24	4,23	24	1,96	10,6	7,0
алевролит	2,50	4400	12,2	2410	13,3	0,27	31,4	3,62	25	2,08	10,0	12,2
кварцево-карбонатный песчаник, алевроитовый	2,60	4000	6,8	2550	7,5	0,26	24,3	4,1	13	2,01	10,4	6,8
кварцевый песчаник, мелкозернистый	2,62	4600	5,9	2850	6,7	0,19	21	5,16	10	2,77	12,1	5,9

Следует отметить, что одним из основных факторов, снижающих прочностные свойства пород, является тектоническая нарушенность пород. Поле разреза разбито 54 нарушениями с амплитудой смещения от 3 до 56 м и углами падения от 15 до 83°. Все нарушения имеющие падение перпендикулярно фронту работ, что снижает сейсмический эффект от взрывов. При значительной степени трещиноватости горного массива изменяется соотношение зон дробления и разрыва пород в результате взрыва. В сильнотрещиноватых породах размер зоны развала значительно превышает размер зоны дробления [2]. В этом случае кусковатость горной массы, получаемой в результате

взрыва, в основном определяется размерами естественных отдельностей, слагающих массив горных пород. В мелкоблочном массиве размеры естественных отдельностей не превышают размеры кондиционного куска, поэтому задача взрыва здесь сводится лишь к разрушению естественной структуры массива путем «встряхивающих» взрывов. Данные факторы также снижают сейсмичку взрыва. Трещиноватость массива вскрышных пород на Нерюнгринском разрезе приведена в табл. 3. Как видно из таблицы, на месторождении можно выделить три группы пород с различной трещиноватостью.

**Таблица 3.** Классификация вскрышных пород Нерюнгринского месторождения по степени трещиноватости и блочности массива

Наименование пород	Удельная трещиноватость	Содержание (%) в массиве отдельностей в массиве:			Средний акустический показатель трещиноватости	Категория трещиноватости	Степень трещиноватости (блочности) массива
		+300 мм	+700 мм	+1000 мм			
кварцевый песчаник, мелкозернистый	0,85	100	100	68	0,43	IV	малотрещиноватые (крупноблочные)
кварцевый песчаник, алевролитовый	0,80	100	100	76	0,42	IV	то же
кварцево-карбонатный песчаник, мелкозернистый	1,00	100	82	50	0,36	III-IV	то же
карбонатный песчаник мелко и среднезернистый	0,87	100	98	65	0,46	IV	то же
кварцевоглинистый песчаник, алевритовый	1,43	93	50	10	0,29	III	средне-трещиноватый (крупноблочный)
кварцево-глинистый песчаник, мелко и среднезернистый	1,8	78	35	4	0,23	II-III	сильно-трещиноватый (среднеблочный)
алевролит слоистый	1,9	74	32	-	-	II-III	то же
алевролит слоистый	2,8	56	15	-	0,15	II	то же
алевролит слоистый	5-10	29-40	-	-	0,10	I	чрезвычайно трещиноватый (мелкоблочный)

Необходимо отметить, что вмещающие породы «Нерюнгринского» месторождения, которые в основном сложены разнозернистыми песчаниками, за счет разнообразного цементирующего вещества, структурно текстурных особенностей и т.д., обладают большим разбросом значений физико-механических свойств. Данный факт, несомненно, оказывает влияние на сейсмический эффект от промышленных взрывов. Однако, учитывая тот факт, что охраняемые объекты (АБК, ОФ, АТА), разрез «Нерюнгринский» находятся в одинаковых инженерно-геологических условиях и в дальней зоне взрыва, где преобладают сейсмические волны Релея, то влияние рассмотренных выше свойств массива горных пород на вариации скорости колебаний грунта в основании сооружений будет объясняться не столько изменением физико-механических свойств горных пород, сколько

факторами, определяющими изменчивость физико-механических свойств массива горных пород. Поэтому данные факторы более детально и рассматриваются ниже.

**Влияние литологического состава взрываемых пород на сейсмический эффект.** Вскрышные породы пласта «Мощный» сложены породами холодниканской свиты, представленными, в основном песчаниками от тонкозернистых до грубозернистых. Реже встречаются алевролиты. Соотношение основных литологических типов пород для месторождения в целом приведено на рис. 1. Так как разрез месторождения по составу монотонен и представлен переслаиванием песчаников и алевролитов, а здания и сооружения также расположены на аналогичных породах, что и вскрышные блока месторождения и их физико-механические свойства одинаковы, то существенного

влияния геологическое строение взрывааемых блоков на изменение  $U_{xyz}$  на сейсмический эффект не оказывает, что подтверждается выполненными исследованиями (рис. 2). Из рисунка следует, что не существует зависимости между изменением литологических типов пород в блоках и векторной скоростью смещения пород.

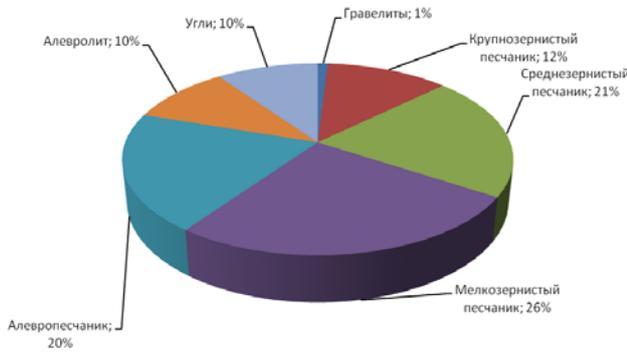
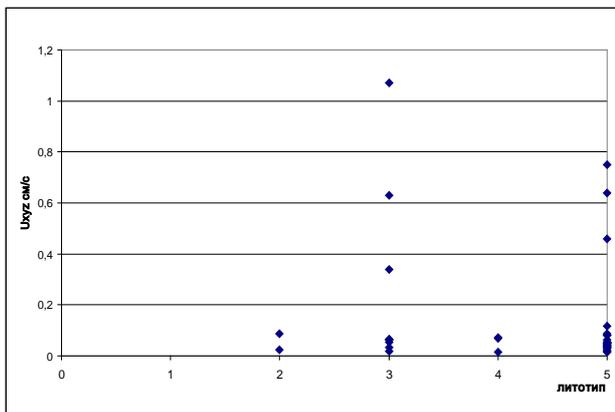
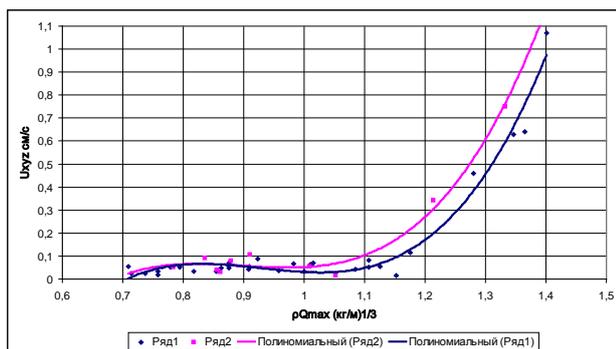


Рис. 1. Соотношение основных литологических типов



учитывать при проектировании буро-взрывных работ для обеспечения сейсмобезопасного расстояния до охраняемых объектов.

**Влияние многолетней мерзлоты и сезонного состояния горных пород на сейсмические эффекты от взрывов.** Интенсивность и степень изменения свойств и состава пород при криогенных процессах оцениваются влиянием многочисленных факторов, среди которых наиболее значимыми являются: литологический состав (менее подвержены изменчивости мелкозернистые песчаники, наиболее – алевролиты); структурно-текстурные особенности пород (наличие включений и растительных остатков); влажность; пористость; трещиноватость. Сезонная глубина промерзания исследуемых блоков составляла 5-7 метров.



**Рис. 4.** График зависимости максимальной векторной скорости смещения грунта от приведенного максимального веса заряда в группе (1 ряд мерзлые блоки, 2 ряд талые блоки)

Максимальные значения прочности песчаников отмечаются в начале зимнего периода при понижении температуры пород до отрицательных значений, что подтверждается увеличением значений скорости продольных волн в октябре-ноябре на 20-25%. Дальнейшее понижение температуры характеризуется незначительным увеличением прочности при одновременном постоянном снижении скорости продольных волн. Летний период характеризуется снижением значений прочности пород до 30% и скорости продольных волн до 25%. Данные процессы объясняются цементирующим

действием льда в породе. При этом прогнозировать сезонное изменение прочностных и упругих свойств пород для всего поля разреза не представляется возможным из-за многочисленности факторов, которые значительно влияют на интенсивность и степень происходящих криогенных процессов. Тем не менее, данный фактор нельзя не учитывать при оценке влияния сейсмических эффектов на здания и сооружения. Поэтому были выполнены исследования по сопоставлению максимальной векторной скорости смещения грунта в мерзлых и талых породах взрывааемых блоков (зимнее-осенний и весеннее-летний периоды) в разрезе Нерюнгринский. Результаты исследований приведены на рис. 4. Из рис. 4 следует, что максимальная векторная скорость смещения грунта при взрывах в мерзлых породах ниже, чем при взрывах в талых породах и достигает более 30% с увеличением приведенного максимального веса заряда в группе  $> 1,0$  (кг/м)<sup>1/3</sup>. В интервале 0,7-1,0 (кг/м)<sup>1/3</sup> максимальная векторная скорость смещения грунта практически не меняется. Данный эффект объясняется тем, что с увеличением приведенного веса заряда ВВ максимального в группе увеличивается сейсмическое воздействие массового взрыва из-за наложения сейсмических процессов от взрывов большего количества зарядов (сейсмоодновременные взрывы), чем расчетное число в группе замедления.

При переходе мерзлых пород в талые сейсмический эффект взрыва увеличивается, поэтому в каждом конкретном случае необходимо учитывать состояние горных пород, с тем чтобы обеспечить гарантированную безопасность ведения взрывных работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гриб, Н.Н. Методика оценки и прогноза сейсмической опасности промышленных взрывов на разрезе «Нерюнгринский» / Н.Н. Гриб, Е.Н. Черных, А.Ю. Пазынич и др. – Иркутск-Нерюнгри: Изд-во Технического института (фил.) ЯГУ, 2007. 41 с.
2. Кутузов, Б.Н. Физика взрывного разрушения горных пород / Б.Н. Кутузов, В.К. Рубцов. – М.: Изд-во МГИ, 1970. 241 с.

## ESTIMATION THE INFLUENCE OF NATURAL FACTORS ON SEISMIC EFFECT FROM MULTIPLE EXPLOSIONS

© 2013 G.V. Grib, A.Yu. Pazynich, N.N. Grib

Technical Institute (Branch) of North East Federal University, Neryungri

Estimation the influence of massif properties on seismic effects from explosions is based on the analysis of regularities, connecting the maximal vector speed with lithological structure, fracturing, inhomogeneity, water cut of blown-up blocks, long-term permafrost and other engineering-geological features of developed fields.

Key words: lithological types of rocks, physical-mechanical properties, tectonics, fracturing, water cutting, long-term permafrost, seismic effect of explosion

Galina Grib, Chief of the Monitoring and Seismic Forecasting Laboratory. E-mail: nss@neru.sakha.ru; Andrey Pazynich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Mining Department; Nikolay Grib, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Mining Department. E-mail: grib@nfygu.ru