

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА, СОЗДАВАЕМОГО ПРОМЫШЛЕННЫМИ ВЗРЫВАМИ

Л. И. Надежка, С. П. Пивоваров\*,  
И. Н. Сафронич, М. А. Ефременко\*, Р. С. Пивоваров

Лаборатория глубинного строения,  
геодинамики и сейсмического мониторинга  
им. проф. А. П. Таркова, Воронежский  
государственный университет, Воронеж

\*Лаборатория сейсмического мониторинга  
Воронежского кристаллического массива,  
Геофизическая служба РАН, Обнинск

Поступила в редакцию 20 сентября 2009 г.

**Аннотация.** В статье приведены результаты изучения сейсмического эффекта вызванного промышленными взрывами в ближней и относительно дальней зонах. Показано, что волновое поле, возбуждаемое промышленными взрывами, поляризовано в горизонтальной плоскости. Горизонтальные составляющие скорости движения частиц грунта наиболее сильно зависят от мощности взрыва.

**Ключевые слова:** сейсмический эффект, скорость движения частиц грунта, промышленный взрыв.

**Abstract.** In the article results of studying of seismic effect caused by industrial explosions in the nearest and concerning distant zones are presented. The wave field raised by industrial explosions is shown that it polarized in a horizontal plane. Horizontal making speeds of movement of particles of a ground most strongly depend from capacity of explosion.

**Key words:** seismic effect, speed of movement of particles of a ground, industrial explosion

### Краткая характеристика

#### волновых процессов, вызванных взрывами

Известно, что характер волновых форм записи взрывов зависит от особенностей массового взрыва, строения геологической среды между источником и приемником, а также специфическими свойствами геологической среды в месте регистрации взрыва [1–7].

Сейсмические эффекты, создаваемые промышленными взрывами в карьерах, особенно в ближней зоне, вызывают значительные колебания почвы, которые негативно отражаются на устойчивости зданий и сооружений. Для снижения

рисков при проведении короткозамедленных промышленных взрывов необходимо изучение влияния особенностей производства взрыва и его мощности на величину вызываемых колебаний почвы на различном удалении от эпицентра. На примере Ситовского карьера выполнено изучение скорости движения частиц грунта от мощности взрыва на различных расстояниях: в ближней зоне (расстояние от эпицентра до 2,0 км) и в относительно дальней зоне (расстояние от эпицентров взрывов – 12 км) (рис. 1).

На рис. 1 приведены: схема пространственного расположения карьера и пунктов наблюдений Т1 в ближней и Т2 в дальней зоне, а также подрываемых блоков. Добыча известняка в Ситовском карьере производится на двух горизонтах (+125 м и +106 м)

© Надежка Л. И., Пивоваров С. П., Сафронич И. Н., Ефременко М. А., Пивоваров Р. С., 2009

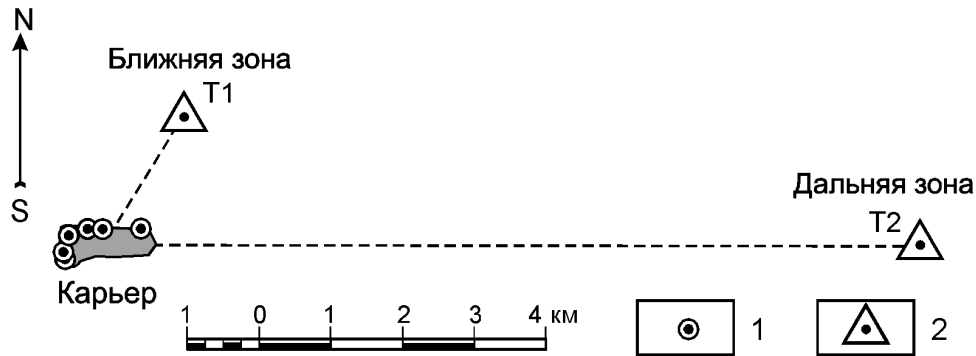


Рис. 1. Схема размещения пунктов наблюдений в дальней и ближней зоне карьера:  
1 – пункты взрывов; 2 – пункты регистрации

по разным технологиям. Технология подрыва на горизонте +106 м направлена на отвал линейного участка рабочего борта карьера высотой около 22 метров, а технология, используемая при работе на уровне +125 м, направлена на отрыв и дробление площадного блока породы высотой 9,5 метра. При работе на горизонте +106 м используется последовательный подрыв с замедлением 42 мс скважин, расположенных параллельно борту карьера на расстоянии 5,5 метра друг от друга, в каждой из которых размещается три группы зарядов (снизу: 90 кг, 62 кг, 36 кг) общей массой ВВ 188 кг. Инициация подрыва в скважине происходит последовательно с нижнего заряда без замедления.

Технология взрывных работ на уровне +125 м является площадной. В блоке бурятся несколько рядов скважин (обычно 6–8), расстояние между которыми в ряду – 6 метров, а между рядами – 5 метров. Подрыв в ряду производится без замедления, а между крайними скважинами соседних рядов – с замедлением 42 мс. При этом в нижней части каждой скважины размещается по 80 кг ВВ. За один взрыв может осуществляться подрыв двух подготовленных блоков как на одинаковых уровнях, так и на различных.

На рис. 2 и 3 представлен пример волновых форм трехкомпонентной записи взрыва в карьере и модуля полной скорости движения частиц грунта в разные временные моменты, полученные на ближней и дальней станциях. Данный взрыв состоял из двух блоков на горизонте +106 м, суммарной массой ВВ 10100,8 кг, которая была распределена по блокам следующим образом: 1-й блок – 27 скважин, вес заряда – 4622,4 кг, протяженность взрываемого блока – 120 м; второй блок – 32 скважины, 5478,4 кг, протяженность – 200 м. В обоих блоках направление подрыва заряда с юга на север.

На записи выделяются волны P<sub>g</sub> (первая объемная продольная волна) и L<sub>g</sub> (первая горизонталь-

ная волна) [8, 9]. Как видно из рисунков, интенсивность вертикальной составляющей значительно (более чем в 4 раза) ниже интенсивности горизонтальной составляющей (север–юг) как на ближней, так и на дальней станции. Это свидетельствует о горизонтальной поляризации волнового поля, т. е. наибольшее количество сейсмической энергии содержат горизонтальные составляющие волнового поля. Спектральный анализ записей волновых форм различных составляющих показал, что основная мощность сейсмического сигнала сосредоточена на частотах от 1,0 – 6,0 Гц.

Хорошо видно, что записи взрывов пакетированы, причем наиболее выражены «пакеты» на записях канала W-E (рис. 2 и 3) независимо от того, где расположена станция – на близком или удаленном расстоянии. Следует отметить, что сейсмические проявления отмечаются значительной продолжительности: на ближней станции – до 10 сек, на дальней – до 35 сек. Хотя с расстоянием уменьшается интенсивность суммарной скорости движения частиц грунта, но увеличивается временной отрезок его экстремального проявления.

#### Оценка влияния мощности взрыва на интенсивность скорости движения частиц грунта

Мощность взрыва является ведущим фактором сейсмического воздействия. В двух пунктах наблюдения – Т1 и Т2 – сейсмические станции принимали сейсмические колебания, вызванные несколькими взрывами. Станция Т1 зарегистрировала 5 взрывов. Общее количество ВВ изменялось от 2739,2 кг до 10108,8 кг. При этом изменялось направление взрыва и количество взрываемых блоков. Станция Т2 зарегистрировала также 5 взрывов. В таблице даны результаты определения суммарной скорости движения частиц грунта и ее составляющих в зависимости от мощности короткозамедленных взрывов.

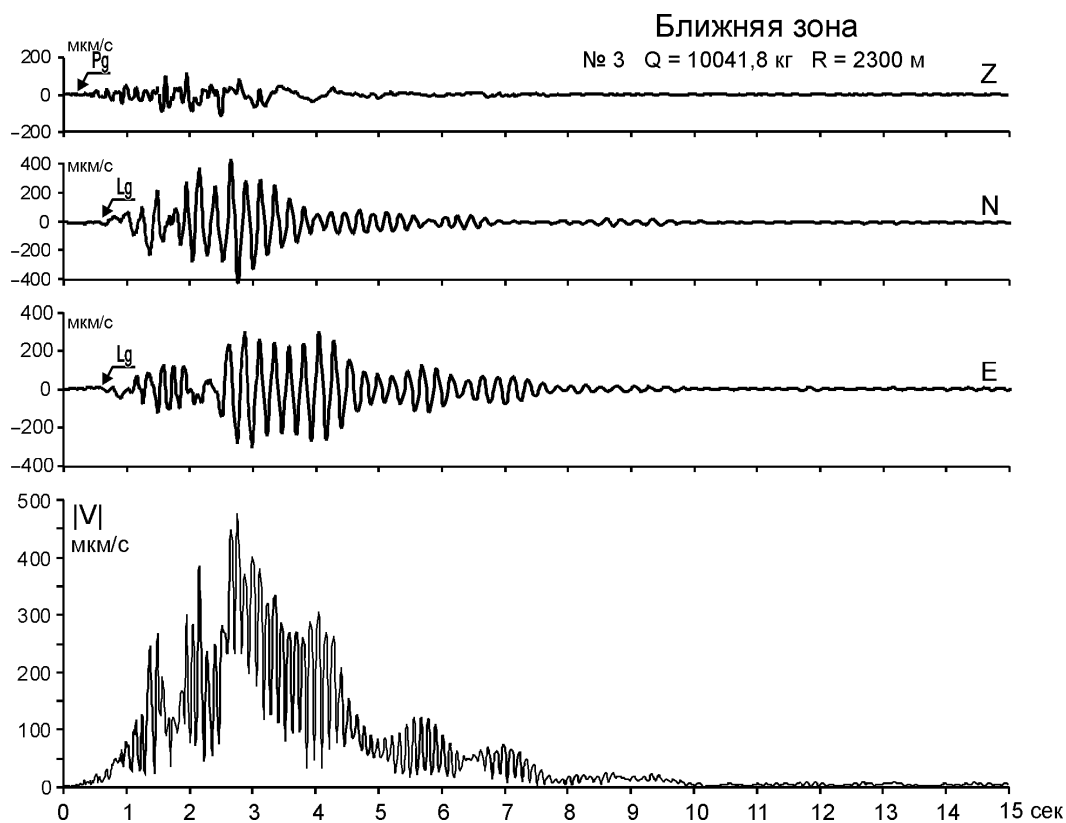


Рис. 2. Волновые формы и модуль полного вектора скорости движения частиц грунта, вызванные взрывом в Ситовском карьере (пункт наблюдения T1)

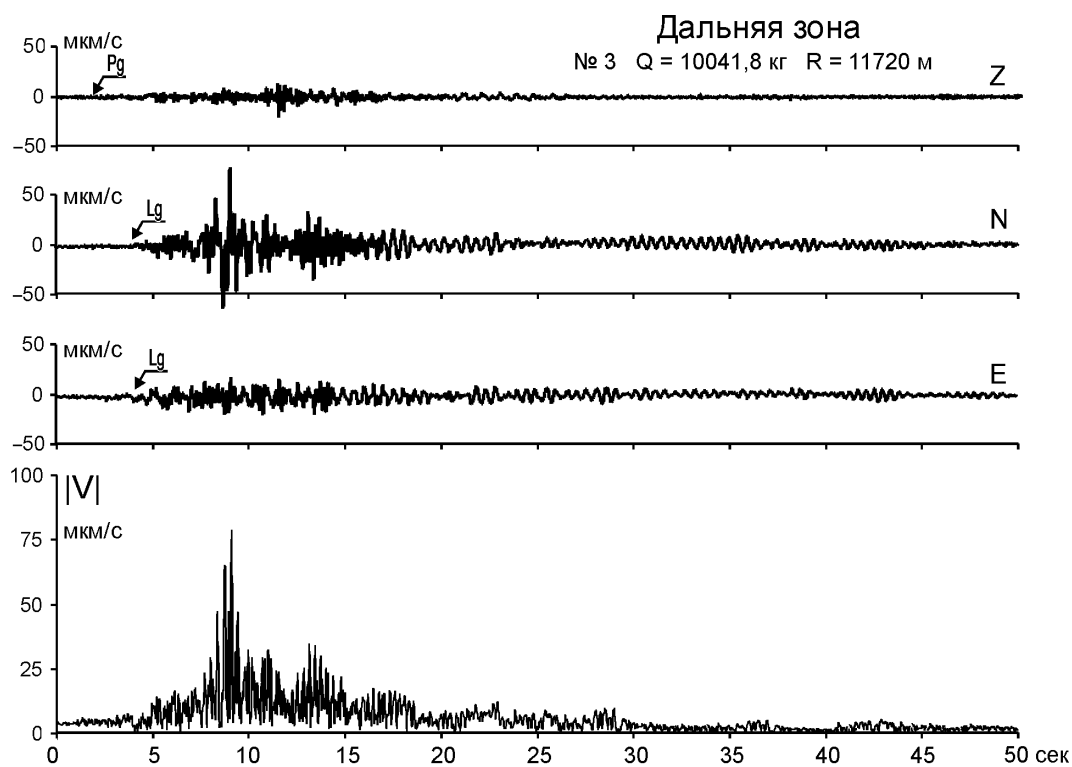


Рис. 3. Волновые формы и модуль полного вектора скорости движения частиц грунта, вызванные взрывом в Ситовском карьере (пункт наблюдения T2)

Результаты определения суммарной скорости движения частиц грунта и ее составляющих в зависимости от мощности взрыва

Мощность взрыва, кг	Пункты наблюдений	Расстояние взрыв–приемник, км	Максимальное значение скорости, мкм/с			
			V	V <sub>Z</sub>	V <sub>N</sub>	V <sub>E</sub>
1	2	3	4	5	6	7
2700,2	Ближняя зона	2,34	270	85	115	245
2700,2	Дальняя зона	11,78	23	12	18	20
9168,2	Ближняя зона	2,20	500	135	480	370
9168,2	Дальняя зона	11,65	57	18	57	38
9475,2	Ближняя зона	1,61	1000	650	850	470
9475,2	Дальняя зона	10,72	67	17	62	50
10041,8	Ближняя зона	2,30	475	120	425	300
10041,8	Дальняя зона	11,72	78	20	75	23

Как видно из таблицы, наиболее интенсивными являются горизонтальные составляющие скорости движения частиц грунта как на ближней, так и на дальней станции. Зависимость значений, составляющих скорости движения частиц грунта от мощности взрыва, по данным станции, в пункте наблюдения Т1 достаточно хорошо описываются линейной зависимостью (рис. 4).

Максимальный сейсмический эффект возникает при массе ВВ больше 10000 кг. Как было

сказано выше, мощность сейсмического эффекта формируется, в основном, горизонтальными составляющими волнового поля. На рис. 4 и 5 отчетливо видно, что интенсивность вертикальной составляющей скорости движения частиц грунта от мощности взрыва практически не зависит, в то время как интенсивность горизонтальных составляющих скорости движения частиц грунта обнаруживает четкую линейную зависимость.

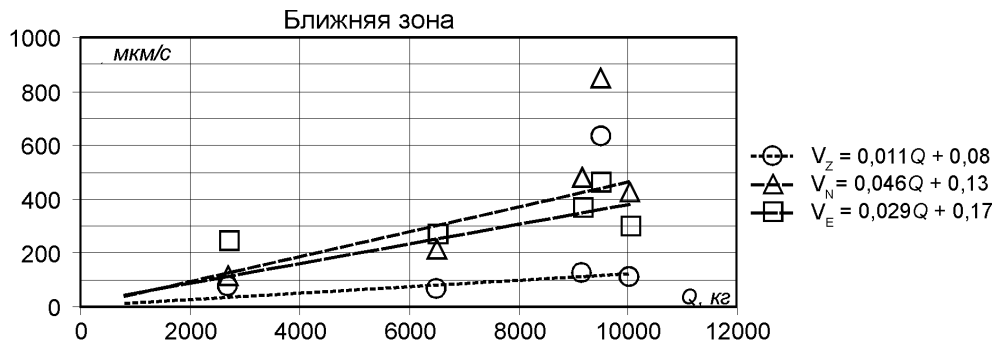


Рис. 4. Зависимость интенсивности компонент скорости движения частиц грунта от мощности взрыва в пункте наблюдения Т1

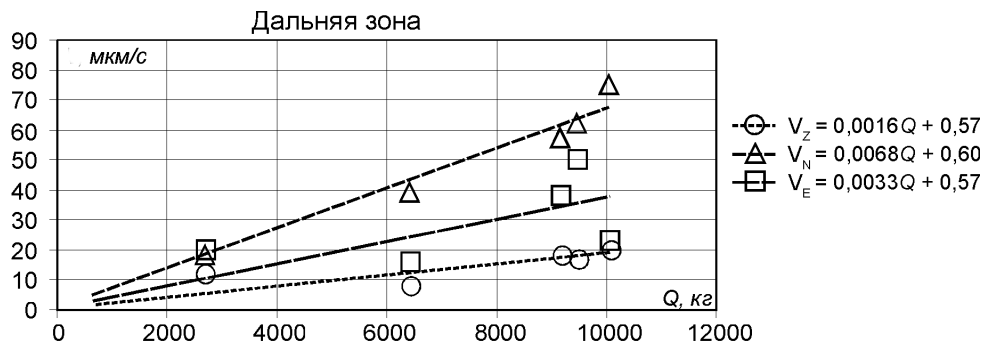


Рис. 5. Зависимость интенсивности компонент скорости движения частиц грунта от мощности взрыва в пункте наблюдения Т2

Зависимость суммарной скорости движения частиц грунта от мощности взрыва для ближней точки наблюдений к эпицентру взрывов можно записать в виде:

$$|V| = 0,045Q + 0,2, \quad (1)$$

где  $|V|$  – скорость в мкм/с,  $Q$  – мощность взрыва в кг.

Суммарная скорость движения частиц грунта при увеличении заряда на 1 т в районе пункта наблюдения Т1 увеличится на 104 мкм/с. Основная часть увеличения скорости происходит за счет горизонтальных составляющих [10].

В пункте наблюдения Т2 интенсивность волнового поля в целом существенно ниже (порядка 8–10 раз) (таблица). Вместе с тем основные закономерности сохраняются. Зависимость интенсивности составляющих скорости движения частиц грунта хорошо аппроксимируется также линейными зависимостями. На рис. 5 даны уравнения регрессии. Как и на пункте наблюдения Т1, наиболее интенсивны горизонтальные составляющие (таблица).

По имеющимся данным, можно отметить также, что интенсивность горизонтальных составляющих волнового поля в значительной степени определяется направлением подрыва блоков горной породы. Это фиксируется как для ближнего пункта наблюдений Т1, так и удаленного пункта наблюдений Т2.

Таким образом, на основе имеющихся данных можно сделать выводы:

– для всех взрывов характерным является возбуждение сейсмических волн, поляризованных в горизонтальной плоскости. Вертикальная составляющая имеет небольшой вес в значениях суммарной скорости движения частиц грунта;

– как суммарная скорость движения частиц грунта, так и ее составляющие обнаруживают линейную зависимость интенсивности от мощности взрыва. При этом горизонтальные составляющие обнаруживают значимую зависимость, интенсивность вертикальной составляющей от мощности взрыва практически не зависит.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке аналитической ведомственной целевой программы Минобрнауки РФ, проект 2.1.1/4637 и гранта РФФИ 08-05-00487-а.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Садовский М. А. Простейшие приемы определения сейсмической безопасности / М. А. Садовский. – М. : ИГД ММ СССР, 1946. – 28 с.
2. Адушкин В. В. Геомеханика крупномасштабных взрывов. / В. В. Адушкин, А. А. Спивак. – М. : Недра, 1993. – 319 с.
3. Ипатов Ю. И. К исследованию зависимости сейсмического воздействия взрыва на окружающую среду от природных и техногенных факторов / Ю. И. Ипатов // Геофизика и математика. – Пермь : ГИ УрО РАН, 2001. – С. 355–358.
4. Адушкин В. В. Геоэкологические последствия массовых химических взрывов на карьерах / В. В. Адушкин, А. А. Спивак, С. П. Соловьев, Л. М. Перник, С. Б. Кишкина // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – № 6, 2000. – С. 363–554.
5. Костюченко В. Н. Статистика повреждений зданий при взрывных работах и вопросы сейсмической безопасности / В. Н. Костюченко // Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. – № 1, 1985. – С. 67–73.
6. Медведев С. В. Сейсмический эффект взрывов на руднике / С. В. Медведев, Г. А. Лямзина // Вопросы инженерной сейсмологии. – Вып. 6 (Труды ИФЗ АН СССР. – № 21 (188)). – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – С. 73–102.
7. Миронов П. С. Взрывы и сейсmobезопасность сооружений. – М. : Недра, 1973. – 168 с.
8. Сафронич И. Н. Некоторые особенности записей местных сейсмических событий / И. Н. Сафронич, С. П. Пивоваров // Мат. Междун. конф. Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов. – Воронеж, 2001. – С. 172–175.
9. Пивоваров С. П. Некоторые особенности записей маломощных взрывов и слабых землетрясений на Воронежском кристаллическом массиве / С. П. Пивоваров, И. Н. Сафронич // Мат. Второй Межд. сейсмологической школы. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. – Обнинск, 2007. – С. 180–183.
10. Пивоваров С. П. Сейсмический эффект массовых взрывов небольшой мощности на территории Воронежского кристаллического массива / С. П. Пивоваров, И. Н. Сафронич, Е. М. Репина // Мат. Междун. конф. Месторождения природного и техногенного сырья: геология, геохимия, геохимические и геофизические методы поиска, экологическая геология. – Воронеж, 2008. – С. 330–334.

*Л. И. Надежка, С. П. Пивоваров, И. Н. Сафронич, М. А. Ефременко, Р. С. Пивоваров*

*Лаборатория глубинного строения, геодинамики  
и сейсмического мониторинга им. проф. А. П. Таркова,  
Воронежский государственный университет*

*Л. И. Надежка, кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующая лабораторией*

*Тел. 8 (4732) 55-78-28*

*И. Н. Сафронич, младший научный сотрудник*

*Тел. 8 (4732) 55-78-28*

*Р. С. Пивоваров, инженер*

*Тел. 8 (4732) 55-78-28*

*Лаборатория сейсмического мониторинга  
Воронежского кристаллического массива, Геофизическая служба  
Российской академии наук*

*С. П. Пивоваров, младший научный сотрудник*

*Тел. 8 (4732) 55-78-44*

*М. А. Ефременко, младший научный сотрудник*

*Тел. 8 (4732) 55-78-44*

*Tarkov Laboratory of deep structure, geodynamic  
and seismic monitoring, Voronezh State University*

*L. I. Nadezhka, the candidate of geology-mineral  
sciences, head of a laboratory*

*Tel. 8 (4732) 55-78-28*

*I. N. Safronich, research worker*

*Tel. 8 (4732) 55-78-28*

*R. S. Pivovarov, inginie*

*Tel. 8 (4732) 55-78-28*

*Laboratory of Seismic Monitoring Voronezh  
Cristalline Massiff, Geophysic Service of Russian  
Academy Sciens*

*S. P. Pivovarov, research worker*

*Tel. 8 (4732) 55-78-44*

*M. A. Efremenko, research worker*

*Tel. 8 (4732) 55-78-44*