

УДК 622.235

DOI: 10.25635/2313-1586.2018.02.006

**Аленичев Игорь Алексеевич**

кандидат технических наук,  
научный сотрудник,  
Горный Институт КНЦ РАН,  
184209 Апатиты, ул. Ферсмана, 24  
e-mail: [igor-alenichev@ya.ru](mailto:igor-alenichev@ya.ru).

**Alenichev Igor A.**

Candidate of Technical Sciences,  
Research Worker,  
Mining Institute of KSC RAS,  
184209, Apatity, Fersman st., 24  
e-mail: [igor-alenichev@ya.ru](mailto:igor-alenichev@ya.ru)

**К ВОПРОСУ РАЙОНИРОВАНИЯ  
КАРЬЕРНОГО ПОЛЯ  
ПО КОЭФФИЦИЕНТУ СЕЙСМИЧНОСТИ****ON THE QUESTION OF THE OPEN PIT  
AREA ZONING DEPENDING  
ON THE SEISMICITY COEFFICIENT***Аннотация:*

Выполнен цикл сейсмонаблюдений для мониторинга устойчивости бортов карьера при производстве взрывных работ. Показана возможность районирования карьерного поля по коэффициенту сейсмичности для выявления наиболее сейсмочувствительных участков в карьере, вблизи которых производство взрывных работ следует выполнять с особой осторожностью. Получены зависимости скорости смещения в различных зонах карьера.

*Ключевые слова:* горные породы, коэффициент сейсмичности, массовый взрыв, сейсмическое действие взрыва, динамическое воздействие, реакция массива, районирование

*Abstract:*

A serie of seismic observations to monitor the stability of the open pit walls during blasting operations have been performed. Possibility of zoning of the minefield through the seismicity coefficient has been shown to identify the most seismic-sensitive areas in the open pit near which blasting operations should be carried out with the special caution. Dependence of the displacement velocity in various zones of the open pit have been obtained.

*Key words:* rocks, seismic coefficient, large-scale blast, seismic effect of blasting, dynamic impact, reaction of the rock mass, zoning.

*Введение, теория вопроса*

Ключевым фактором, существенно влияющим на устойчивость породных уступов, безусловно, является систематическое производство массовых взрывов на карьере. Регулярное динамическое нагружение массива может стать причиной обрушений локальных участков борта карьера [1 – 3], если значение максимально зафиксированной скорости смещения превысит допустимый предел для данного рассматриваемого участка борта. В свою очередь, скорость смещения для различных участков карьерного пространства может изменяться в достаточно широких пределах. Происходит это в основном из-за разной реакции породного массива на динамическую нагрузку, вызванную массовым взрывом. В качестве оценки скорости смещения классически применяется зависимость М.А. Садовского [4], которая устанавливает связь между величиной скорости смещения грунта ( $v$ ), массой взрываемого заряда ( $Q$ ) и расстоянием ( $r$ ), на котором данное значение скорости было зафиксировано или его планируется определить. Также эмпирическим путем определяются коэффициент сейсмичности ( $k$ ) и показатель степени затухания ( $n$ ):

$$v = k \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{r} \right)^n, \text{ см/с.}$$

Нормированным показателем степени затухания для скальных горных пород считается значение 1,5. Сложнее с определением коэффициента сейсмичности, который для разных типов пород (со своими характерными физико-механическими и динамическими характеристиками) и технологией производства взрывных работ (мгновенное или короткозамедленное взрывание), согласно [5 – 8], может изменяться от 100 до 600. Причем прослеживается следующая тенденция: чем ниже значение коэффициента, тем прочнее

и монолитнее горные породы, слагающие рассматриваемый участок карьера, и, наоборот, чем больше коэффициент, тем хуже грунтовые условия, т.е. горные породы на данном участке более трещиноватые. Таким образом, имея достаточное количество данных по скоростям смещения на разных участках карьера, можно провести оценку реакции массива на динамические воздействия при производстве массовых взрывов и определить участки, на которых производство взрывных работ следует выполнять с особой осторожностью.

### 1. Материалы и методы исследования

В ходе замеров сейсмического действия массовых взрывов в карьерном пространстве рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК» с 2016 по 2017 г. был получен большой массив данных скоростей смещения (порядка 300 записей) для различных участков борта карьера (рис. 1) с соответствующими расстояниями и массой взрывчатого вещества, приходящейся на максимальную ступень замедления [9 – 10]. На рис. 2 представлена зависимость, полученная при аппроксимации всех зафиксированных скоростей смещения от приведенного расстояния.

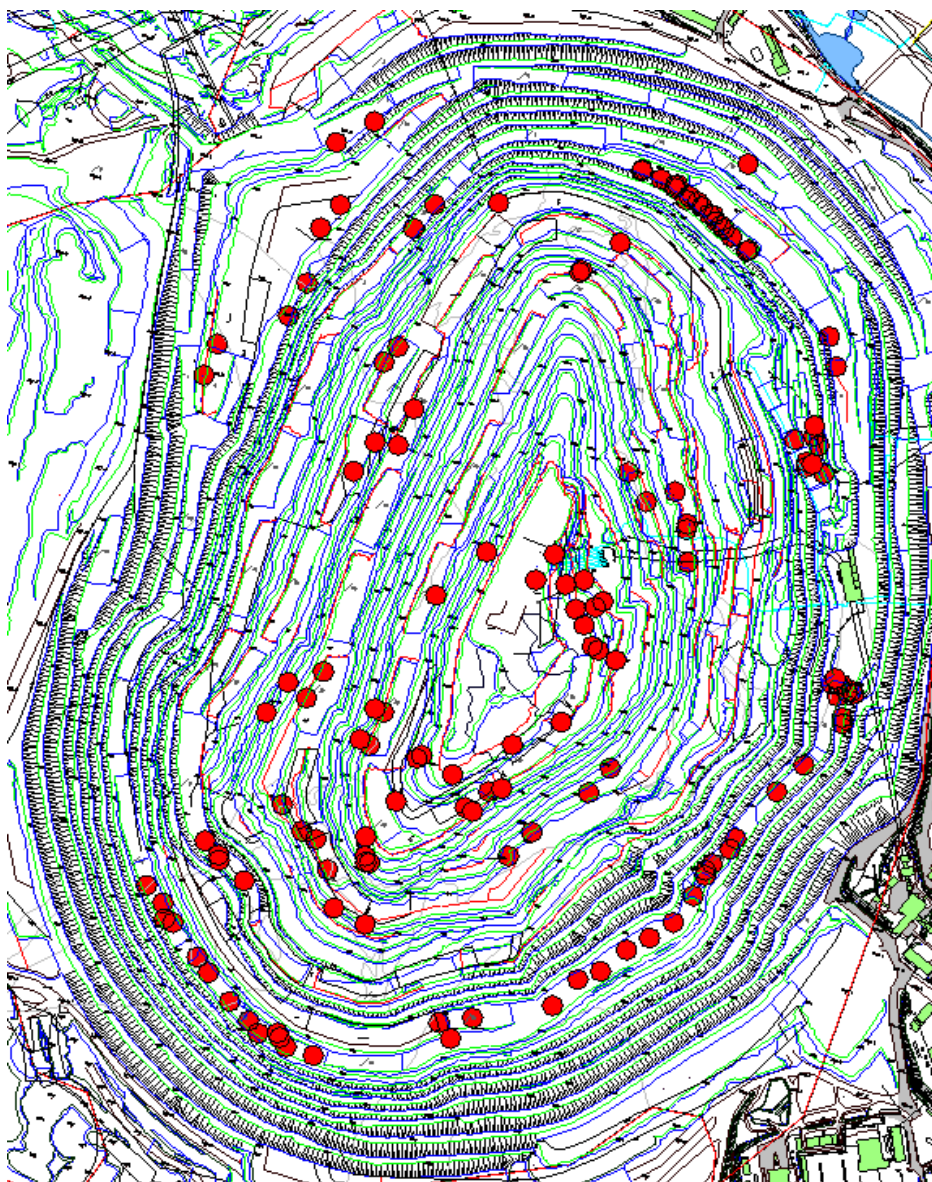


Рис. 1 – Расположение точек регистрации в карьерном пространстве с 2016 по 2017 г.

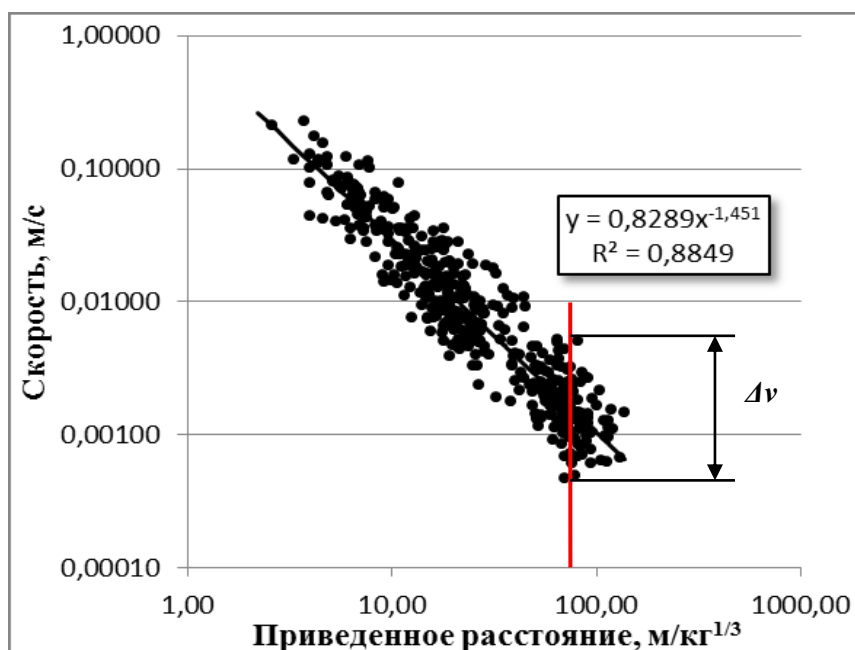


Рис. 2 – Сопоставление полученных значений скоростей смещения для массовых взрывов с 2016 по 2017 г.

Приведя зависимость к общеизвестному виду, получим:

$$v = 0,829 \left( \frac{\sqrt[3]{Q_{\text{ст(max)}}}}{r} \right)^{1,451} \quad (1)$$

Из формулы следует, что показатель степени затухания составляет 1,451, что практически соответствует значению 1,5 для скальных горных пород. Средний коэффициент сейсмичности составляет примерно 83 (если считать в см/с), но если рассмотреть на примере одного конкретного приведенного расстояния (см. рис. 2), то скорость может отличаться на порядок, а следовательно, и коэффициент сейсмичности. Этот факт и является следствием того, что различные участки поля карьера могут по-разному реагировать на динамические воздействия, находясь при этом на одинаковом приведенном расстоянии от производимого взрыва. Следовательно, и коэффициент сейсмичности будет меняться от участка к участку.

Рассмотрим распределение коэффициента сейсмичности в карьерном пространстве при нормированном показателе степени затухания 1,5. Для этих целей были построены «томограммы» распределения исследуемого коэффициента в карьерном пространстве исходя из четырех условий:

- 1)  $k \leq 1$  (рис. 3а);
- 2)  $k$  в пределах 1÷2 (рис. 3б);
- 3)  $k$  в пределах 2÷5,0 (рис. 3в);
- 4)  $k$  за весь период измерений (рис. 3г).

## 2. Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим рис. 3а, где  $k \leq 1$ . Отмечаем, что практически все поле карьера занято областью с коэффициентом сейсмичности от 0,65 до 1. Низкий коэффициент сейсмичности характерен для тех мест, где присутствуют в основном крепкие, близкие к монолитным породы с категорией по трещиноватости V/IV. Для данной области характерно расположение в нижней и средней частях карьера. На рис. 3б представлено распределение  $k$  в пределах 1÷2. Здесь выделяются области – северо-восточная, юго-восточная, две области на западе и одна на дне карьера. Такие области следует относить к IV/III категории.



На рис. 3в показано распределение  $k$  в пределах  $2 \div 5,0$ . Как видно из «томограммы», распределение  $k$  смещается к границам карьера в те места, где горные породы более дезинтегрированы и представлены в основном породами с категорией по трещиноватости III/II. На рис. 3г представлено распределение  $k$  за весь период измерений с 2016 по 2017 г. Здесь выделяются четыре основные зоны в карьере: северная, восточная, юго-восточная и юго-западная.

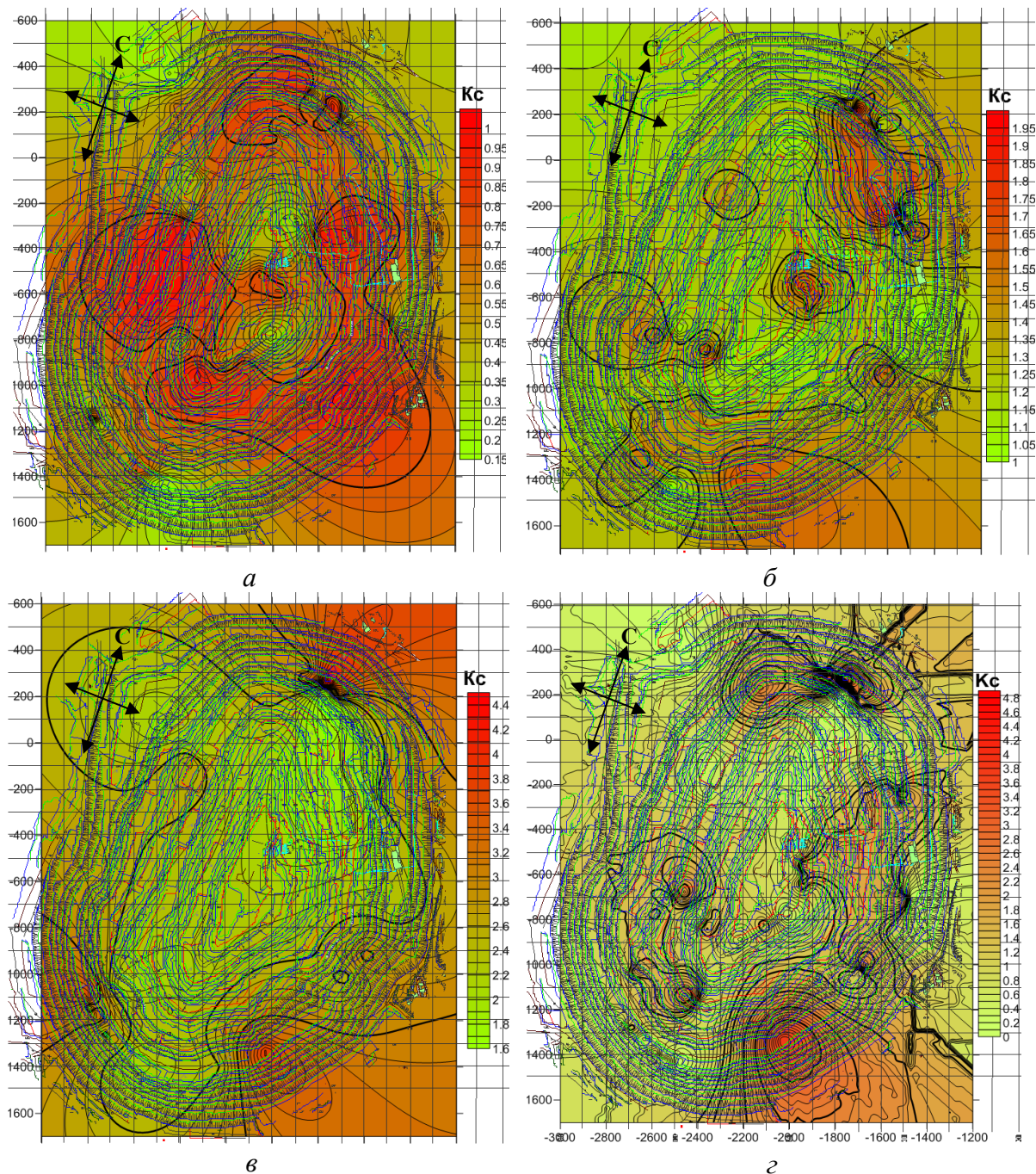


Рис. 3 – Распределение  $k$  в карьерном пространстве при нормированном  $n = 1,5$ :  
 $a$  -  $k \leq 1$ ;  $b$  -  $k$  в пределах  $1 \div 2$ ;  
 $v$  -  $k$  в пределах  $2 \div 5,0$ ;  $z$  -  $k$  за весь период (2016 – 2017 гг.)

Построив зависимости для каждого предела  $k$ , получим изменение скорости смещения в различных зонах карьера (рис. 4). За весь период измерений (рис. 3г) зависимость описывается уравнением (1).

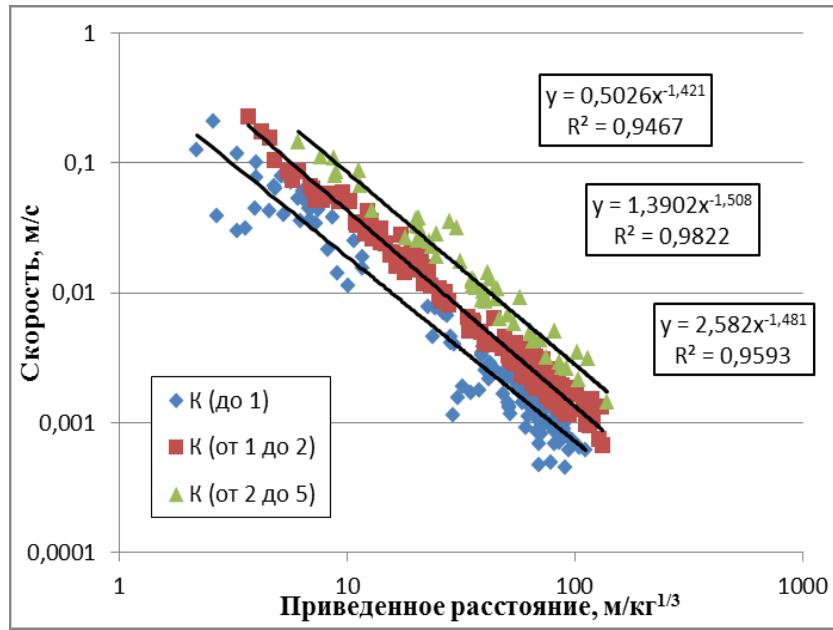


Рис. 4 – Зависимости изменения скорости смещения в различных зонах карьера

Полученные области распределения коэффициента сейсмичности описываются следующими зависимостями:

$$k \text{ (до 1): } v = 0,5026 \left( \frac{\sqrt[3]{Q_{ст(max)}}}{r} \right)^{1,421}; \quad (2)$$

$$k \text{ (от 1 до 2): } v = 1,39 \left( \frac{\sqrt[3]{Q_{ст(max)}}}{r} \right)^{1,508}; \quad (3)$$

$$k \text{ (от 2 до 5); } v = 2,582 \left( \frac{\sqrt[3]{Q_{ст(max)}}}{r} \right)^{1,481}. \quad (4)$$

Логично задаться вопросом, какую зависимость принимать за основу при расчете скоростей смещения для конкретного участка карьера: либо обобщенную (1) с коэффициентом достоверности аппроксимации 0,88, либо зависимостями для различных зон (2), (3), (4), у которых коэффициенты аппроксимации близки к 1,0.

Анализируя полученные зависимости, отмечаем, что коэффициент сейсмичности в основании формулы (1) получается заниженным относительно (2), (3), (4). Объясняется это тем, что при построении учитывались значения скоростей как нижних, так и верхних горизонтов карьера. Поэтому коэффициент сейсмичности усредняется преимущественно в меньшую сторону. Использование в расчетах заниженного коэффициента приведет к увеличению массы заряда в ступени замедления, а с ним и сейсмического действия взрыва на неблагоприятных участках карьера, что недопустимо. Поэтому для расчетов следует принимать зависимости (2), (3), (4), которые описывают распределение  $k$  по горизонтам, а значение самого параметра  $k$  следует выбирать наибольшее из рассматриваемого участка.

#### Заключение

1. На примере карьерного поля рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК» проведено районирование по коэффициенту сейсмичности, который указывает на изменяющиеся со временем грунтовые условия в карьере.

2. Определено, что чем ниже значение коэффициента, тем прочнее и монолитнее горные породы, слагающие рассматриваемый участок карьера и наоборот, чем больше коэффициент, тем хуже грунтовые условия, т.е. горные породы на данном участке более трещиноватые.

3. Получены зависимости для различных участков карьерного поля, с помощью которых можно производить оперативную корректировку параметров БВР и с достаточной точностью рассчитывать радиус сейсмоопасной зоны при массовом взрыве.

4. При планировании БВР следует выбирать большее значение коэффициента сейсмичности, т. к. заведомо заниженное значение коэффициента может привести к увеличению количества взрывчатого вещества на ступень замедления, что скажется на усилении сейсмического действия массового взрыва.

### Литература

1. Фокин В.А. Методические аспекты анализа технологической информации при производстве буровзрывных работ в условиях карьеров / В.А. Фокин. – Апатиты: КНЦ РАН, 2015. – 133 с.

2. Особенности сейсмического действия зарядов контурных скважин в технологии заоткоски уступов карьера / В.А. Фокин, И.В. Мелик-Гайказов, М.Б. Тогунов, Ю.А. Шитов // Горный журнал. – 2011. – № 10. – С. 50 – 53.

3. Камянский В.Н. Исследование приконтурного массива при производстве взрывных работ на карьерах / В.Н. Камянский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 17. – С. 228 – 234.

4. Садовский М.А. Простейшие приемы определения сейсмической опасности при взрывах / М.А. Садовский. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского АН СССР, 1946. – 29 с.

5. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах / В.Н. Мосинец. – М.: Недра, 1976. – 271 с.

6. Белин В.А. Методические основы прогнозирования сейсмического действия массовых взрывов / В.А. Белин, А.Н. Холодилов, А.П. Господариков // Горный журнал. – 2017. – № 2. – С. 66 – 68.

7. Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии / И.Ф. Бондаренко, С.Н. Жариков, И.В. Зырянов, В.Г. Шеменёв. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2017. – 172 с.

8. Nateghi R. Prediction of ground vibration level induced by blasting at different rock units // [International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences](#), 2011. – Vol. 48. Issue 6. – P. 899 - 908.

9. Сейсмическое действие массовых взрывов на бортах карьера рудника «Железный» / С.А. Козырев, И.А. Аленичев, Е.А. Усачев, А.В. Соколов // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2017. – № 14. – С. 288 - 291.

10. Особенности сейсмического воздействия взрыва отрезной щели на законтурный массив и методы его снижения в условиях карьера рудника «Железный» Ковдорского ГОКа / С.А. Козырев, И.А. Аленичев, В.Н. Камянский, А.В. Соколов // Взрывное дело. - 2017. – № 118/75. – С. 225 – 235.