

В.В. Романов, К.С. Мальский, А.Н. Дронов
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАПИСЕЙ
МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ
КОЛЕБАНИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ
ВЛИЯНИЯ МАССОВЫХ
ВЗРЫВОВ НА СОСТОЯНИЕ
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

Статья посвящена методике записи, обработки и интерпретации микросейсмических колебаний на примере изучения состояния бортов карьера Мурунтау (Узбекистан). Был проведен анализ самих акселерограмм микросейсм, их спектров Фурье, спектрального отношения Накамуры, годографов ускорения. В результате установлены частоты с наиболее высоким приращением интенсивности землетрясений, нелинейные и релаксационные эффекты в горном массиве выработки.

Ключевые слова: горные выработки, метод Накамуры, микросейсм, сейсмология.

Введение

Поверхность горных выработок непрерывно испытывает слабые микросейсмические колебания (от греческого «микро» + «сеймос» — «микро-землетрясение»), имеющие естественное и искусственное происхождение. Массив горных пород часто подвергается воздействию слабых землетрясений, а в сейсмоактивных регионах вероятны и более сильные землетрясения [6]. Кроме того, вклад в общий фон микросейсмических колебаний вносит акустическая эмиссия, при помощи которой высвобождается энергия напряженно-деформированных блоков земной коры различных рангов [2].

К техногенным источникам микросейсм относятся горные удары, возникающие в угольных шахтах, массовые взрывы, движение вагонеток, движение автомобильного карьерного транспорта, горнопроходческие работы, шум систем шахтной вентиляции и многие другие [2, 8].

Микросейсм представляют собой ценный источник информации как о физико-механических свойствах разрабатываемого горного массива в целом, так и структуре его отдельных

участков. Повышенный уровень микросейсмических колебаний в точках измерения свидетельствует как о потенциальной уязвимости фрагмента горного массива, так и о скором возникновении горных ударов и иных техногенных катастроф [3].

В предлагаемой работе рассматриваются характеристики микросейсмических колебаний, измеренные на бортах золоторудного карьера Мурунтау (Узбекистан) при проведении массовых взрывов.

Методика измерений

Смещение частиц под действием микросейсмического колебания представляет векторную величину, определяемую тремя компонентами – вертикальной V и двумя ортогональными горизонтальными компонентами – H_x и H_y . Непосредственному измерению поддаются две производные векторные величины – виброскорость и виброускорение. Для измерения скорости колебаний используются велосиметры, а для ускорения – акселерометры.

Для измерения рассмотренных далее микросейсм примененся четырехканальный регистратор сейсмических сигналов

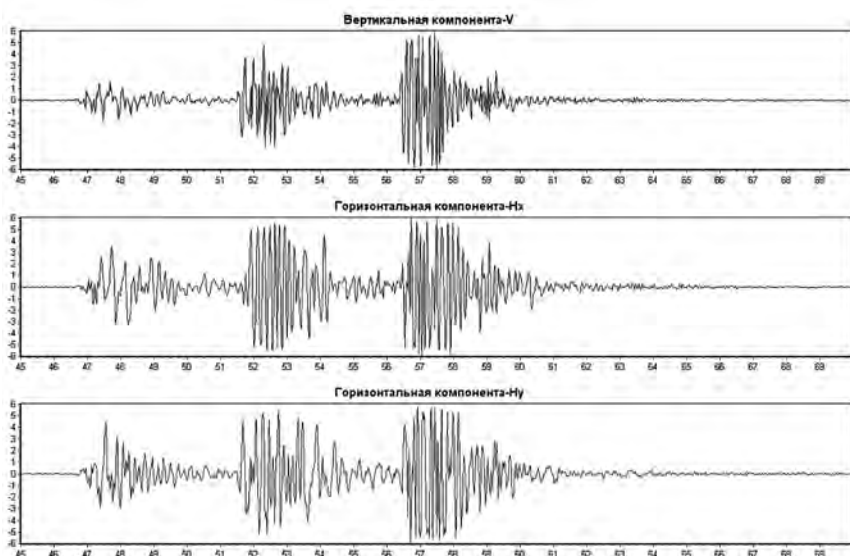


Рис. 1. Запись микросейсмических колебаний, произведенная регистратором Дельта Геон на борту карьера Мурунтау. Выделяется три группы импульсов, отмечающие приход упругих волн от массовых взрывов

«Дельта-03М» с автоматической цифровой записью колебаний. В качестве датчика был выбран трехкомпонентный акселерометр «А0531», обеспечивающий одновременный прием вертикальной и двух горизонтальных компонент полного вектора виброускорения. В режим записи регистратор переходил незадолго до проведения массовых взрывов в основании карьера, что позволило оценить отклик пород карьера на интенсивное техногенное воздействие. Регистратор устанавливался как на бортах карьера [9]. Запись велась 246 секунду. Пример зарегистрированной записи можно увидеть на рис. 1.

Полученные записи были проанализированы, рассчитаны и построены амплитудные спектры Фурье и спектры по методу Накамуры [4]. Записи сейсмических колебаний были использованы для построения годографа виброускорения.

Полученные результаты

Следует отметить, что в полном векторе ускорения преобладают горизонтальные компоненты. При анализе формы импульсов на записанных трассах была установлена их сложная,

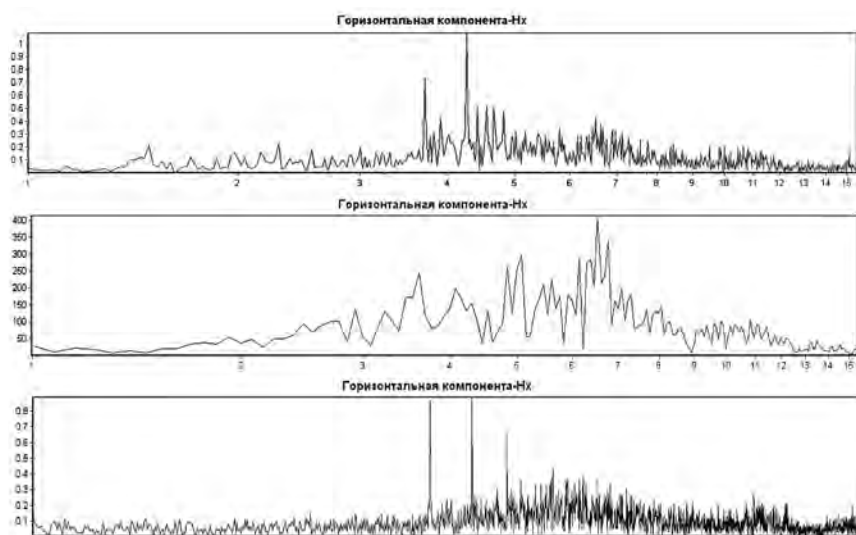


Рис. 2. Спектры горизонтальной компоненты полного вектора ускорения. Сверху вниз: спектр до прихода волн от массовых взрывов, во время сильных колебаний упомянутых волн и после существенного затухания техногенных колебаний. По горизонтальной оси в логарифмическом масштабе — частота гармоник, по вертикали — спектральные амплитуды в линейном масштабе

многофазовая форма и преобладающая частота 3–4 Гц. Время первого вступления, определяемое по записям достаточно точно, у более медленных поперечных волн примерно на 0,05 с больше, чем у продольных, которые доминируют на трассе вертикальной компоненты. Полагая, что отношение скорости продольной и поперечной волны равно 1,7, а высота карьера – 450 м, находим эффективную скорость поперечных волн разрабатываемого горного массива – 3100 м/с [5].

Далее были получены и проанализированы спектры акселерограммы по компонентам (рис. 2).

Спектры микросейсм до и после прихода упругих волн от массовых взрывов, в принципе оказались похожими. Микросейсмические колебания доминировали в частотном диапазоне 3–9 Гц с двумя устойчивыми пиками на частотах 3,7 и 4,3 Гц. В момент прихода интенсивных волн характер спектра резко изменился. Спектральные амплитуды возросли на два порядка, узкие пики исчезли, в целом спектр приобрел более простую и гладкую форму, став более широкополосным. Значение преобладающей частоты возросло с 3–4 Гц до 6,7 Гц.

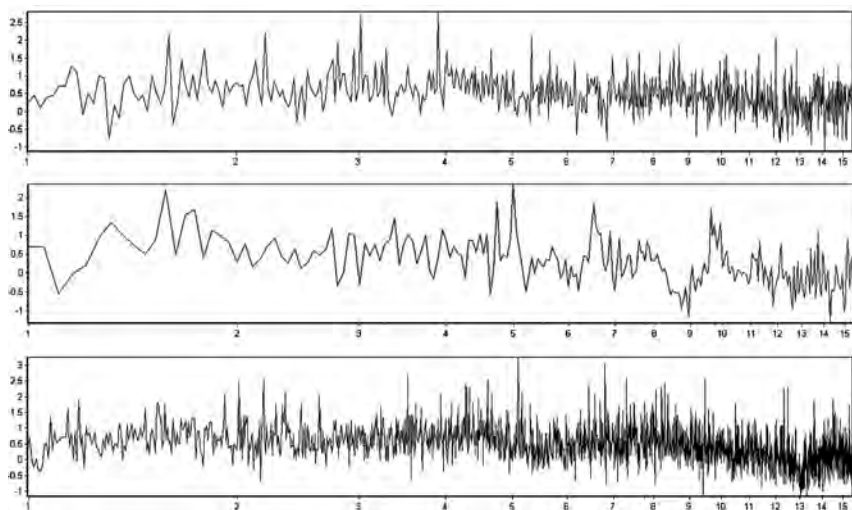


Рис. 3. Спектры Накамуры

Сверху вниз: спектр до прихода волн от массовых взрывов, во время сильных колебаний упомянутых волн и после существенного затухания техногенных колебаний. По горизонтальной оси в логарифмическом масштабе – частота гармоник, по вертикали – приращение в линейном масштабе

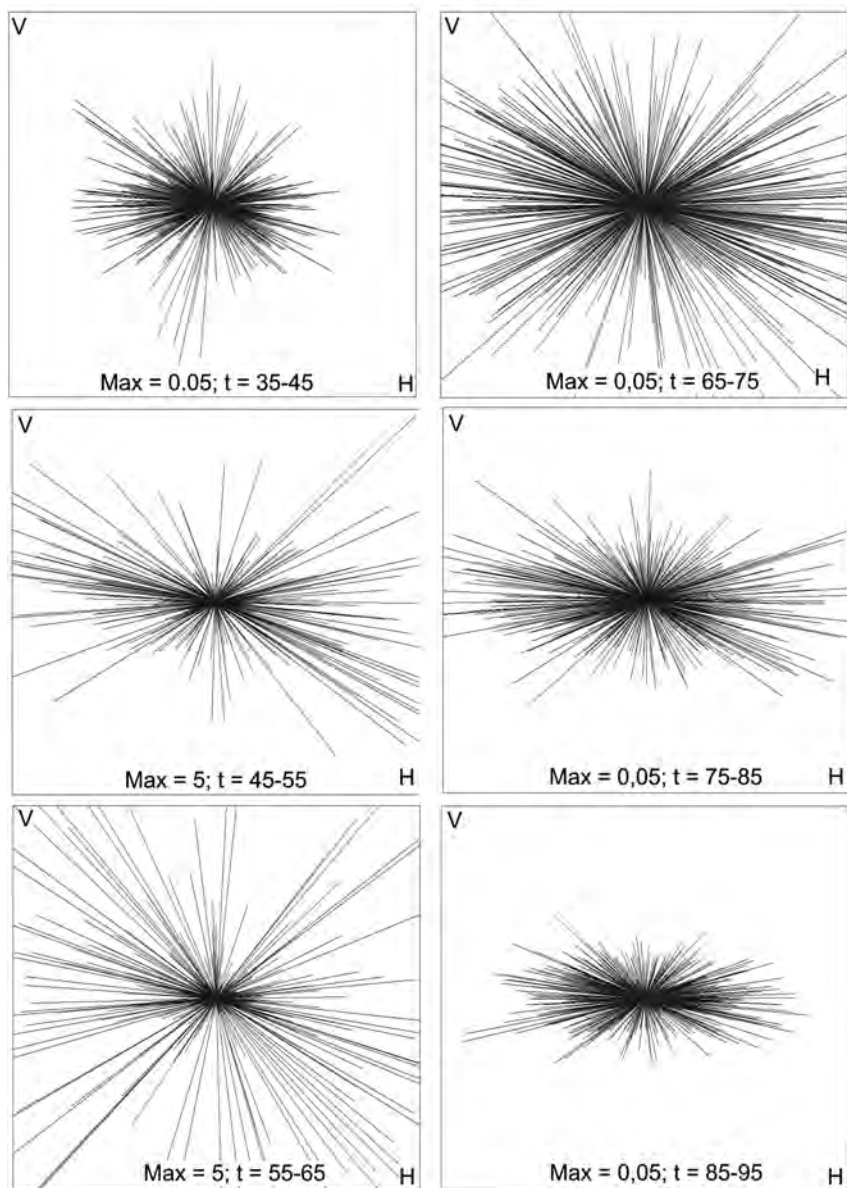


Рис. 4. Годографы ускорения в различные моменты времени и в разном линейном масштабе. Max – максимальное значение по обеим осям, t (с) – «временное окно» для оценки годографа, V – вертикальная компонента, H – горизонтальная компонента

По значениям спектров компонент были вычислены спектры по методу Накамуры [1]. Этот метод позволил оценить наиболее уязвимые для горного массива в точке установки датчика частоты и локальное увеличение интенсивности предполагаемых землетрясений в привычных единицах измерения — баллах. Спектры Накамуры приведены на рис. 3.

Анализ величины спектрального отношения H/V Накамуры позволяет утверждать, что борта карьера наиболее уязвимы к колебаниям землетрясений и техногенным воздействиями на частотном диапазоне 3–5 Гц, приращение интенсивности (балльности) достигает 2–3 [7]. Особо отметим тот факт, что после взрывов фундаментальная частота Накамуры, с наибольшим значением спектрального отношения, увеличилась с 3–4 Гц до 5,1 Гц и далее уже не упала до прежних значений. Это еще раз доказывает, что геологическая среда по-разному реагирует на слабые и сильные колебания и «восстанавливается» не сразу после затухания упругой волны значительной амплитуды.

В довершении были построены годографы виброускорения в некоторые характерные интервалы времени. В целом, годограф виброускорения имеет вытянутую в горизонтальном направлении форму, в момент прихода упругих волн как бы стягивается в точку, затем восстанавливает первоначальную форму (рис. 4). Восстановление годографа происходит значительно медленнее, чем его первоначальное изменение, оно длится десятки секунд после прекращения колебаний основной волны. Кроме того, воздействие массовых взрывов изменило направление плоскости поляризации микросейсмических колебаний.

Выводы

1. Измерение микросейсмических колебаний — эффективный метод оценки сейсмоустойчивости горных выработок с широкими возможностями качественного и количественного анализа полученных данных.

2. При интерпретации записей микросейсмических колебаний рекомендуется комплексный анализ трасс, спектров Фурье и Накамуры, годографов измеряемых величин.

3. Найдена средняя скорость поперечных волн в породах карьера Мурунтау.

4. Определены частоты повышенной сейсмоопасности для бортов карьера.

5. Установлены признаки нелинейности горного массива при прохождении упругих волн от массовых взрывов и эффекты протяженной релаксации пород после взрывного воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аносов Г. И., Дробиз М. В., Коновалова О. А., Сотников Д. С., Чугачевич В. Я.* Оценка сейсмической устойчивости учебного корпуса № 3 Российского государственного университета им. И. Канта с применением методики Накамура // Вестник Камчатской региональной организации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. – 2010. – № 15. – С. 223–231.
2. *Жуков Е. М.* Сейсмические технологии – направление минимизации рисков аварий и экономических потерь на угледобывающих предприятиях // Уголь. – 2013. – № 1 (1042). – С. 77–79.
3. *Заалишвили В. Б., Мельков Д. А.* Учет сейсмических воздействий при оценке геомеханической устойчивости подземных сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2014. – № 3. – С. 42–46.
4. *Орлов Р. А.* Опыт использования микросейсмического шума для решения геологических задач в условиях платформы (на примере Воронежского кристаллического массива // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2011. – № 1. – С. 184–192.
5. *Романов В. В., Мальский К. С.* Анализ возможностей изучения гидрогеологического режима карьеров и подземных горных выработок инженерной сейсморазведкой // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 6. – С. 74–78.
6. *Романов В. В., Мальский К. С., Боровой Е. А.* Определение устойчивости бортов карьеров при инженерно-геологических изысканиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 7. – С. 77–81.
7. *Торгоев И. А., Жанчаров Ж. У., Айдаралиев Б., Оморов Б., Черикчиев К.* Геофизический мониторинг плотины Камбаратинской ГЭС-2 // Вестник КГУСТА. – 2012. – № 3 (37). – С. 262–268.
8. *Мальский К. С.* Обоснование целесообразности отработки прибортовых запасов карьеров // Маркшейдерия и недропользование – 2010. – № 3. – С. 7–8.
9. *Клочков Н. Н., Мальский К. С.* Контроль параметров колебаний обнаженных поверхностей подземных горных выработок расположенных в прибортовом массиве карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 57. – С. 510–515. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Романов Виктор Валерьевич*¹ – кандидат технических наук, доцент, e-mail: roman_off@mail.ru,

*Мальский Кирилл Сергеевич*¹ – доцент, e-mail: sabbat@mail.ru,

Дронов Андрей Николаевич – старший преподаватель, Российский университет дружбы народов, e-mail: veutel@mail.ru,

¹ Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе.

V.V. Romanov, K.S. Mal'skiy, A.N. Dronov
**APPLICATION OF SEISMIC VIBRATION
RECORDS IN STUDIES OF MASS
BLASTING EFFECT ON EXCAVATIONS
IN MINES**

The article is devoted to the method of recording, processing and interpretation of micro-seismic oscillations on the example of the study of the state boards Muruntau (Uzbekistan). themselves accelerograms MS analysis was carried out, their Fourier spectra, spectral ratio Nakamura, hodographs acceleration. As a result, set the frequency with the highest increment of the intensity of earthquakes, nonlinear effects and relaxation in the mountain massifs making.

Key words : mining, Nakamura method, microseisms, seismology.

AUTHORS

*Romanov V.V.*¹, Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor, e-mail: roman_off@mail.ru,
*Mal'skiy K.S.*¹, Assistant Professor, e-mail: sabbat@mail.ru,
Dronov A.N., Senior Lecturer, e-mail: veutel@mail.ru,
Peoples' Friendship University of Russia, 113093, Moscow, Russia,
¹ Russian State Geological Prospecting University
named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI-RSGPU),
117997, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Anosov G. I., Drobiz M. V., Konovalova O. A., Sotnikov D. S., Chugaevich V. Ya. *Vestnik Kamchatskoy regional'noy organizatsii Uchebno-nauchnyy tsentr. Seriya: Nauki o Zemle.* 2010, no 15, pp. 223–231.
2. Zhukov E. M. *Ugol'*. 2013, no 1 (1042), pp. 77–79.
3. Zaalishvili V. B., Mel'kov D. A. *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy.* 2014, no 3, pp. 42–46.
4. Orlov R. A. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya.* 2011, no 1, pp. 184–192.
5. Romanov V. V., Mal'skiy K. S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'.* 2015, no 6, pp. 74–78.
6. Romanov V. V., Mal'skiy K. S., Borovoy E. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'.* 2015, no 7, pp. 77–81.
7. Torgoev I. A., Zhancharov Zh. U., Aydaraliev B., Omorov B., Cherikchiev K. *Vestnik KGUSTA.* 2012, no 3 (37), pp. 262–268.
8. Mal'skiy K. S. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie.* 2010, no 3, pp. 7–8.
9. Klochkov N. N., Mal'skiy K. S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'.* 2015, no S7, pp. 510–515.

