



**ОБСЛЕДОВАНИЕ СКАЛЬНОГО МАССИВА НА ПРЕДМЕТ УСТОЙЧИВОСТИ
В ЦЕЛЯХ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ**

С. Н. Жариков, С. С. Таранжин, В. А. Кутуев

*Институт горного дела УрО РАН, E-mail: slavik1988@mail.ru,
ул. Мамина-Сибиряка 58, г. Екатеринбург 620075, Россия*

Проведена оценка влияния сейсмических колебаний на горный массив от взрывных работ в Биянковском щебеночном карьере и от проходящих железнодорожных составов. Начало работы связано с аварией, произошедшей летом 2017 г., в результате которой произошел сход двух вагонов. Исследована трещиноватая структура горного массива, выполнена оценка устойчивости отдельностей скального массива в границах Ашинской дистанции пути. Установлено, что зафиксированные сейсмические колебания на скально-обвальных участках оказались менее опасны для нарушения устойчивости горных пород, чем геологические особенности скального массива, которые явились причиной вывалов горной массы. Даны рекомендации для предотвращения обрушения отдельностей скального массива на железнодорожные пути.

Взрывные работы, структура скального массива, направления залегания систем трещин, массив горных пород, сейсмическое воздействие взрыва, сейсмоустойчивость горных пород

**SURVEY OF HARD ROCK MASS FOR THE PURPOSE OF SUSTAINABILITY
IN ORDER TO ELIMINATE THE ACCIDENT CONSEQUENCES**

S. N. Zharikov, S. S. Taranzhin, and V. A. Kutuev

*Institute of Mining, Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
E-mail: slavik1988@mail.ru, ul. Mamina-Sibiryaka 58, Yekaterinburg 620075, Russia*

The impact of seismic vibrations from blasting in the Biyankovsky gravel pit and from passing trains on the rock mass has been estimated. The beginning of work is associated with an accident that occurred in summer of 2017, as a result of which two carriages derailed. The fractured structure of the rock mass was studied, and sustainability of hard rock mass jointings within the Ashinsk track maintenance section was estimated. It was established that recorded seismic vibrations in rockfall areas were less dangerous for disturbing the rock stability than the geological features of hard rock mass, which caused inrush. Recommendations are given to prevent jointings of hard rock mass from falling onto railroad tracks.

Blasting, hard rock mass structure, direction of crack system occurrence, rock mass, seismic effect of blasting, seismic resistance of rocks

Неподалеку от города Аша, на перегоне Миньяр–Биянка, 19 июля 2017 г. произошел сход двух хвостовых вагонов грузового железнодорожного состава, состоящего из 74 вагонов. Из-за восстановительных работ были отменены электрички и задержаны поезда дальнего следования. Причина аварии — обрушение отдельности скального массива на железнодорожный путь со склона горы, примыкающей к южному борту Биянковского щебеночного карьера.

После осмотра места аварии и ознакомления с технической документацией однозначная причина схода отдельности скального массива не была установлена ввиду влияния большого количества различных природных и техногенных факторов. Раскрытие трещин со стороны склона, обильный водоприток в июне–июле 2017 г., межблочные подвижки в результате взрывов в течение более 50 лет и вибрации при прохождении по участку пути подвижного состава могли оказать комплексное влияние на развитие этого события.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выявления опасных участков возможного обрушения и предотвращения катастрофических событий потребовалось изучение склонов гор в границах Ашинской дистанции пути. В задачи исследовательской работы входило следующее:

- Изучение трещинной структуры горного массива в границах склонов гор, примыкающих к железной дороге и карьеру Биянковского щебеночного завода перегона Биянка – Симская и средней ширине откоса 250 м;
- Инструментальные замеры фактических скоростей колебаний на скально-обвальных участках, прилегающих к Биянковскому карьеру:
 - замеры сейсмических колебаний от прохождения поездов;
 - замеры сейсмических колебаний от массовых взрывов;
- Проведение оценки устойчивости отдельностей скального массива на откосе железной дороги перегона Биянка – Симская в районе, прилегающему к Биянковскому карьеру.

В границах Куйбышевской дирекции инфраструктуры на учете неустойчивого земляного полотна формы ПУ-9 по разделу “Обвалы” числится 45 участков на протяжении 18.775 км. Наиболее уязвимы участки Ашинской дистанции пути, где наблюдаются периодические камнепады. По степени опасности участки относятся к “опасным”. Камнеулавливающие устройства во многом предупреждают падение камней на железную дорогу, однако не способны удерживать оползневые явления значительной скальной массы по объемам аналогичным обрушению 19.07.2017 г. (1751 км станции Биянка). Горный массив откоса 1751 км перегона Биянка – Симская сложен в основном известняками (таблица) с включениями других пород.

Физико-механические свойства известняков

Свойство горной породы	Среднее значение	Предельные значения
Коэффициент крепости f	6.6	1.6 – 14.3
Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$, МПа	99.0	6.0 – 260.0
Предел прочности на растяжение σ_p , МПа	11.0	2.0 – 38.0
Сцепление C , МПа	30.0	7.0 – 64.0
Пористость P , %	9.6	0.4 – 37.4
Модуль Юнга E , ГПа	61.0	18.0 – 93.0
Модуль сдвига G , ГПа	26.0	7.0 – 31.0
Коэффициент Пуассона μ	0.26	0.13 – 0.45
Плотность ρ , г/см ³	2.64	2.1 – 2.99
Скорость продольных волн c_p , км/с	4.63	1.3 – 6.9
Скорость поперечных волн c_s , км/с	3.01	2.22 – 3.08

Устойчивое состояние массива откоса в первую очередь зависит от его трещинной структура и межблочных подвижек, обусловленных наличием в трещинах воды и заполнителей пустот. Существенное влияние на межблочные подвижки оказывают также сейсмические колебания, что в некоторых случаях может являться спусковым механизмом для геодинамических

проявлений. Для снижения вероятности сходов горной массы на железнодорожные пути необходимы комплексные исследования, включающие изучение трещиноватости массива и сейсмического воздействия взрывов в карьере ООО «Биянковский щебеночный завод», а также колебаний от проходящих поездов. Методика оценки сейсмического воздействия на массив от проходящих поездов и взрывных работ основана на регистрации механических колебаний грунта с помощью сейсмоприемников (преобразующих механические колебания в электрические сигналы) и записью на сейсморегистратор [1–5]. Скорость сейсмических колебаний грунта измерялась с помощью сейсморегистратора типа «Уран» в лаборатории разрушения горных пород института горного дела УрО РАН.

Для изучения сейсмического воздействия на массив горных пород от проходящих железнодорожных составов с целью получения достаточного объема информации дополнительные замеры проводились на расстоянии до 150 м, разбивая его на два участка по 60–70 м. Исследованию подлежал склон горы (откос), на котором устанавливались сейсморегистраторы «Уран» в две линии из двух точек перпендикулярно полотну железной дороги (общая схема показана на рис. 1а). Замеры от взрывов в карьере осуществлялись по тому же принципу, что и в первом случае, только уже по двум приборам у исследуемого склона горы (откоса) с расстояниями в линии между двумя приборами от 50 до 100 м (рис. 1б).



Рис. 1. Общая схема расстановки приборов для замеров воздействия на массив горных пород: а — от проходящих железнодорожных составов; б — от технологических взрывов на Биянковском карьере

Для выполнения комплекса исследований использовалась методика, разработанная в ИГД УрО РАН [6–9]. Сейсмические колебания от взрывов в карьере Биянковского щебеночного завода измерялись 25.10.2017 г. и 03.11.2017 г. Допустимая скорость сейсмических колебаний определялась, согласно подходу [10], применяемому в мировой практике [11–16]. Для доломитизированных известняков откоса 1751 км перегона Биянка–Симская она составила 0.2 м/с. Во время массовых взрывов в Биянковском карьере на расстоянии 240 м от взрываемого блока до границы карьера получены следующие значения скоростей:

- на 5 м по склону от границы карьера — 0.0144 м/с;
- на 37 м по склону от границы карьера — 0.0116 м/с;
- на границе карьера возле верхних опор сетки от камнепадов — 0.0085 м/с;
- на 40 м по склону от границы карьера на западной стороне склона — 0.006 м/с;
- на 50 м по склону от границы карьера на восточной стороне склона — 0.0015 м/с.

Все измеренные величины оказались существенно меньше допустимого значения (0.2 м/с).

Соответственно при правильной организации взрывных работ технологические взрывы в карьере не приводят к критическим сейсмическим колебаниям и не нарушают устойчивость горного массива склона горы.

Замеры сейсмических колебаний при прохождении железнодорожных составов проведены 25.10.2017 г., место замеров показано на рис. 2.



Рис. 2. Ситуационная схема с расположением сейсморегистраторов MiniMatePlus и "Уран" на нижнем участке склона (откоса) для регистрации сейсмических колебаний от проходящих железнодорожных составов на базах измерений 140, 70, 45, 25 и 20 м от железнодорожных полотна

Во время прохождения железнодорожных составов 25 октября 2017 г. с 12 ч 30 мин до 16 ч 06 мин на 1751 км перегона Биянка – Симская максимальная результирующая скорость сейсмических колебаний грунта на нижнем участке откоса на расстоянии 25 м от железнодорожных путей вверх по склону составила 0.002 м/с на западной стороне склона и на расстоянии 20 м на восточной стороне — 0.0007 м/с.

Зарегистрированные за время прохождения железнодорожных составов максимальные величины скорости сейсмических колебаний грунта на нижнем участке склона оказались меньше допустимых. Проходящие железнодорожные составы негативно не воздействуют на скальный массив нижнего участка склона и не вызывают нарушения массива горных пород, приводящей к камнепадам и оползням.

Проведена оценка устойчивости скальных обнажений. Железная дорога проходит вдоль крутого (до 45°) скального склона, сложенного известняками различной степени нарушения. Для анализа возможности вывалов фирмой ООО "Гин Гео" осуществлялись массовые замеры элементов залегания трещиноватости на шести участках, расположенных вдоль железной дороги (рис. 3). Общее количество замеров трещин составило 615 шт. Азимуты склона на участках измерений равны: для участков № 1 и № 2 — 115°, № 3 — 105°, № 4 и № 5 — 130°, № 6 — 53°.

В ходе обследования обнажений массива выделено несколько типов блочности: Глыбовый — многогранники неправильной формы с размерами от первых сантиметров до 10–20 м; Плитчатый — пластовая отдельность, образованная четко выраженной пологой системой трещин, параллельной напластованию, размер блоков относительно небольшой от 0.02–0.03 до 0.15–0.20 м и Столбчатый — вытянутые многогранники, образованные тремя равнозначными системами трещин. Размер блоков от 0.15–0.20 м до нескольких метров.

В целом в массиве прослеживается закономерность расположения типов блочности. В нижней части обнажений — плитчатый тип, в верхних — глыбовый, реже столбчатый. Наиболее опасен столбчатый вид блочности (размеры блоков достигают первых метров), который наблюдался в районе участков № 1, 2, 4 и 5. В этих же районах встречаются блоки глыбового типа размерами до 20 м, которые также являются опасными, если имеют вытянутую в вертикальном направлении форму и образованы теми же системами трещин, что и столбчатые.

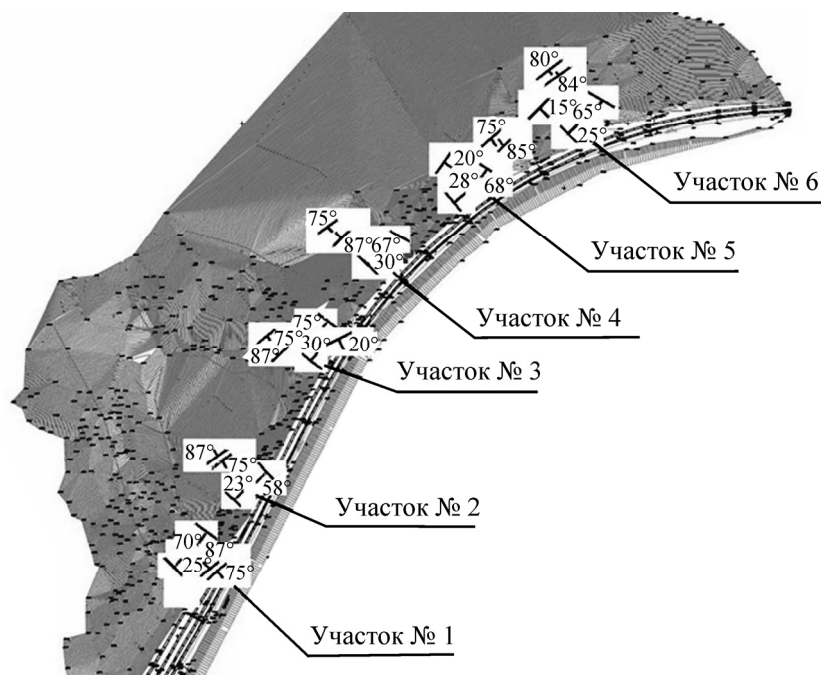


Рис. 3. Ориентировка основных систем трещин относительно склона

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Вынесение элементов залегания основных систем трещин на план обследуемого района (рис. 3) позволило сделать следующие выводы:

1. Ориентация основных систем трещин на всех участках близка, т. е. опасность камнепадов будет определяться взаимной ориентировкой трещин и поверхности склона.

2. Ориентация трещиноватости на участках № 1 и № 2 в целом не благоприятствует образованию крупных вывалов: субвертикальные трещины ориентированы под углом $25\text{--}27^\circ$ к линии склона, что затрудняет опрокидывание блоков и образование вывалов. Две оставшиеся системы трещин практически перпендикулярны склону. При этом пологий угол падения (в среднем 25°) трещин одной из систем не дает возможности для перемещения блоков. Небольшие вывалы могут формироваться за счет вариации ориентировки трещин в основном в период интенсивных дождей или снеготаяния.

3. Условия участка № 3 аналогичны условиям участков № 1 и № 2 за исключением пологопадающей в сторону долины системы трещин. Величины углов падения трещин ($7\text{--}25^\circ$) определяют возможность небольших подвижек блоков только при поступлении воды. Подвижки эти могут накапливаться во времени, но без внешних воздействий (взрывные работы, интенсивное физическое выветривание и проч.) участок не является опасным по образованию крупных вывалов.

4. Участок № 4 должен быть отнесен к опасным по образованию вывалов: системы субвертикальных трещин практически параллельны склону (угол между простиранием трещин и склоном составляет порядка 3°), т. е. формирование крупных вывалов за счет опрокидывания блоков, подрезанных встречно падающими трещинами с углами падения 30 и 67° , достаточно вероятно.

5. Участки № 5 и № 6 аналогичны участку № 4 по степени опасности: угол между склоном и плоскостями субвертикальных трещин несколько увеличился (до $6\text{--}5^\circ$), но одновременно четко проявилась система трещин с пологим ($15\text{--}20^\circ$) углом падения в сторону склона. При этом простирание этих трещин практически параллельно склону в отличие от участка № 3, где этот угол составляет порядка 18° .

6. По степени опасности участки могут быть разделены следующим образом (по степени убывания опасности): № 4, № 6, № 5, № 3, № 2 и № 1.

ВЫВОДЫ

При проведении инструментальных замеров фактических скоростей колебаний на скально-обвальных участках, прилегающих к Биянковскому карьеру, влияние сеймики не подтвердилось. Зафиксированные сейсмические колебания от прохождения железнодорожных составов на нижнем участке склона незначительны, относятся к высокочастотным и не оказывают негативного влияния на скальный массив. Таким образом, причиной вывалов горной массы на железнодорожные пути, являются геологические особенности скального массива.

В качестве мероприятий по предотвращению выкатывания обломков на железнодорожные пути были рекомендованы различные варианты:

— строительство камнеулавливающих барьеров (с успехом применялись в 1970-х гг. на железорудных карьерах и в 2000-х гг. — на карьерах ПО “Жезказганцветмет”);

— анкерное крепление откосов с последующей затяжкой тросовой завесой (опыт карьеров АК “АЛРОСА”);

— террасирование опасных участков склона;

— сброс нависающей скальной массы с применением направленного взрыва;

— горно-капитальные и заоткосные работы на склоне горы с нарезанием уступов для улавливания камнепада взамен камнеулавливающих барьеров.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИГД УрО РАН О. В. Зотееву, П. В. Меньшикову и А. С. Флягину за ценные советы при работе над статьей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Bersenev G. P., Senin L. N., and Menshikov P. V.** Blasting in cramped conditions, *Vzryvnoe delo*, 2007, no. 97/54, pp. 56–66. [**Берсенеv Г. П., Сенин Л. Н., Меньшиков П. В.** Взрывные работы в стесненных условиях // *Взрывное дело*. — 2007. — № 97/54. — С. 56–66.]
2. **Menshikov P. V.** Impact of the shock air wave on buildings and structures on the Earth's surface, *Vzryvnoe delo*, 2007, no 97/54, pp. 77–82. [**Меньшиков П. В.** Воздействие ударной воздушной волны на здания и сооружения на земной поверхности // *Взрывное дело*. — 2007. — № 97/54. — С. 77–82.]
3. **Bogatsky V. F. and Pergament V. Kh.** Seismic safety during blasting, Moscow, Nedra, 1978. (in Russian) [**Богацкий В. Ф., Пергамент В. Х.** Сейсмическая безопасность при взрывных работах. — М.: Недра, 1978. — 128 с.]
4. **Bogatsky V. F. and Fridman A. G.** Protection of engineering structures and the environment from the harmful effects of industrial explosions, Moscow, Nedra, 1982. (in Russian) [**Богацкий В. Ф., Фридман А. Г.** Охрана инженерных сооружений и окружающей среды от вредного действия промышленных взрывов. — М.: Недра, 1982. — 162 с.]
5. **Fadeev A. B.** Crushing and seismic effect of the explosion at the pits, Moscow, Nedra, 1972, 435 pp. (in Russian) [**Фадеев А. Б.** Дробящее и сейсмическое действие взрыва на карьерах. — М.: Недра, 1972. — 435 с.]
6. **Zharikov S. N. and Kutuev V. A.** Study of the seismic action of the explosion in the quarry for the introduction of special technology of slope works, Deep structure, geodynamics, thermal field of the Earth, interpretation of geophysical fields, materials of the all-Russian conf. with international participation, Yekaterinburg, Institute of Geophysics of UrO RAS, 2017, pp. 179–183. (in Russian) [**Жариков С. Н., Кутуев В. А.** Изучение сейсмического действия взрыва в карьере для внедрения специальной технологии заоткосных работ // *Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: материалы Всерос. конф. с Междунар. участием*. — Екатеринбург: Изд. Институт геофизики УрО РАН, 2017. — С. 179–183.]

7. **Methods** of providing seismic technology of blasting, Sverdlovsk, IGD MCHM SSSR, 1984, 12 pp. (in Russian) [**Методика** обеспечения сейсмобезопасной технологии ведения взрывных работ. — Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1984. — 12 с.]
8. **Zharikov S. N. and Shemenev V. G.** On the impact of blasting on the stability of the sides of the pits, *Izv. vuzov. Gornyi zhurnal*, 2013, no. 2, pp. 80–83. [**Жариков С. Н., Шеменев В. Г.** О влиянии взрывных работ на устойчивость бортов карьеров // Изв. вузов. Горн. журн. — 2013. — № 2. — С. 80–83.]
9. **Bondarenko I. F., Zharikov S. N., Zyryanov I. V., and Shemenev V. G.** Drilling and blasting works at kimberlite quarries of Yakutia. Yekaterinburg: IGD UrO RAN, 2017, 172 pp. (in Russian) [**Бондаренко И. Ф., Жариков С. Н., Зырянов И. В., Шеменев В. Г.** Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2017. — 172 с.]
10. **Mosinets V. N.** Crushing and seismic effect of explosion in rocks, Moscow, Nedra, 1976, 271 pp. (in Russian) [**Мосинец В. Н.** Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. — М.: Недра, 1976. — 271 с.]
11. **Kumar R., Choudhury D., and Bhargava K.** Determination of blast-induced ground vibration equations for rocks using mechanical and geological properties, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2016, vol. 8, no. 3, pp. 341–349. doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.10.009.
12. **Keshavarz A., Fazeli A., and Sadeghi S.** Seismic bearing capacity of strip footings on rock masses using the Hoek-Brown failure criterion, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 2016, vol. 8, pp. 170–177.
13. **Gui Y. L., Zhao Z. Y., Jayasinghe L. B., Zhou H. Y., Goh A. T.C., and Tao M.** Blast wave induced spatial variation of ground vibration considering field geological conditions, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2018, vol. 101, pp. 63–68, doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.11.016.
14. **Snelling P., Godin L., McKinnon S.** The role of geologic structure and stress in triggering remote seismicity in Creighton Mine, Sudbury, Canada, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2013, vol. 58, pp. 166–179. doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.10.005.
15. **Li J. C., Li N. N., Chai S. B., and Li H. B.** Analytical study of ground motion caused by seismic wave propagation across faulted rock masses, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 2017, vol. 42, no. 1, pp. 95–109, doi.org/10.1002/nag.2716.
16. **Tripathy G. R., Shirke R. R., and Kudale M. D.** Safety of engineered structures against blast vibrations: A case study, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 2016, vol. 8, pp. 248–255.