

УДК 622.235.535.2

Жариков Сергей Николаевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: 333vista@mail.ru

Зотеев Олег Вадимович

доктор технических наук,
профессор, ведущий научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: zoteev.o@mail.ru

Кутуев Вячеслав Александрович

младший научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: slavik1988@mail.ru

Таранжин Семён Сергеевич

стажер-исследователь,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: semen-vip@ya.ru

Меньшиков Павел Владимирович

младший научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: menshikovpv@mail.ru

Флягин Александр Сергеевич

младший научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: flyagingdr@mail.ru

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА ГОРНЫЙ МАССИВ ВЕРХНЕГО И НИЖНЕГО УЧАСТКОВ СКЛОНА 1751 КМ ПЕРЕГОНА БИЯНКА-СИМСКАЯ**Аннотация:*

В статье представлены результаты исследовательской работы по оценке влияния сейсмических колебаний от взрывных работ в Биянковском щебеночном карьере и от проходящих ж.д. составов на горный массив. Исследована трещиноватая структура горного массива, произведена оценка устойчивости отдельных скальных массивов в границах склонов гор, примыкающих к железной дороге и карьере Биянковского щебеночного завода перегона Биянка – Симская. Произведен вынос элементов залегания основных систем трещин на план обследуемого района. Начало работы связано с аварией, произошедшей летом 2017 г., в результате которой произошел сход двух вагонов. В материалах статьи описана методика оценки сейсмического воздействия на массив от взрывных работ и проходящих поездов. Мероприятия проводились для предотвращения выкатывания обломков горной массы на ж.д. пути. При проведении инструментальных замеров фактических скоростей колебаний на скально-обвальных участках зафиксированные сейсмические колебания оказались меньше опасных значений, способствующих нарушению устойчивости горных пород. Причиной вывалов горной массы на ж.д. пути явились геологические особенности скального массива. Для предотвращения выкатывания обломков на ж.д. пути даны рекомендации.

Ключевые слова: взрывные работы, структура скального массива, направления залегания систем трещин, массив горных пород, сейсмическое воздействие взрыва, сейсмоустойчивость горных пород

DOI: 10.25635/2313-1586.2018.02.057

Zharikov Sergey N.

Candidate of Technical sciences, senior researcher,
The Institute of Mining UB RAS,
620075, Ekaterinburg, 58 Mamin-Sibiryak st.
e-mail: 333vista@mail.ru

Zoteev Oleg V.

Doctor of Technical sciences, professor,
Leading scientific employee,
The Institute of Mining UB RAS,
e-mail: zoteev.o@mail.ru

Kutuev Vyacheslav A.

Junior researcher,
The Institute of Mining UB RAS
e-mail: slavik1988@mail.ru

Taranzhin Semyon S.

Intern researcher,
The Institute of Mining UB RAS,
e-mail: semen-vip@ya.ru

Menshikov Pavel V.

Junior researcher,
The Institute of Mining UB RAS
e-mail: menshikovpv@mail.ru

Flyagin Alexander S.

Junior researcher,
The Institute of Mining UB RAS,
e-mail: flyagingdr@mail.ru

ESTIMATION OF SEISMIC VIBRATIONS INFLUENCE ON ROCK MASS ON THE UPPER AND LOWER PARTS OF THE 1751 KM SLOPE IN BIYANKA-SIMSKAYA TRANSHUMANCE*Abstract:*

The article presents the results of the research work on the estimation of the effects of seismic vibrations from blasting operations on the rock massif in the Biyanovsky crushed stone quarry and from the passing railway trains. The fractured structure of the mountain massif has been studied, the stability of the rock massifs in the boundaries of the mountain slopes adjoining the railway and the career of the Biyanovsky gravel plant at the Biyanka-Simskaya transhumance has been estimated. The transfer of the elements of occurrence of the main systems of cracks in the plan of the surveyed area was made. The beginning of work is connected with the accident that occurred in the summer of 2017, a result of it two wagons were derailed. A technique for estimating the seismic effect from blasting operations and from passing trains on the massif has been described. These measures were taken to prevent the removal of rock fragments on the railway tracks. When carrying out instrumental measurements of the actual velocities of oscillations in rock-fall areas, it was established that the recorded seismic oscillations were to be insignificant and did not have a harmful effect on the rock massif stability. The cause for the rock mass falling on the railway tracks were the geological features of the rock massif. Recommendations are given to prevent the falling of rock fragments on the railway tracks.

Key words: explosive works, rock mass structure, fracture direction structure, rock massif, seismic effect of explosion, seismic resistance of rock mass

* Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-00293-18-00, темы № 0405-2018-0015, № 0405-2018-000 проект № 18-5-5-10, а также при дополнительном привлечении хозяйственных средств

Введение

19 июля 2017 г. неподалеку от города Аша, на перегоне Миньяр – Биянка, произошёл сход двух хвостовых вагонов грузового ж.д. состава, состоящего из 74 вагонов. Из-за восстановительных работ были отменены электрички и задержаны поезда дальнего следования. Причиной происшествия стал сход отдельности скального массива на ж.д. путь со склона горы, примыкающей к южному борту Биянковского щебеночного карьера (1751 км станции Биянка). На совещание 24.07.2017 в г. Аша Челябинской области от ИГД УрО РАН были направлены сотрудники института – В.Г. Шеменёв и С.Н. Жариков.

По результатам осмотра места аварии и технической документации однозначная причина схода горной породы не была установлена ввиду влияния большого количества различных природных и техногенных факторов, имеющих вероятностный характер. 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 оказали комплексное влияние на развитие катастрофического события.

Материалы и методы исследования

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

- Исследование трещинной структуры горного массива в границах склонов гор, примыкающих к железной дороге и карьере Биянковского щебеночного завода перегона Биянка – Симская при средней ширине откоса 250 м;
- Инструментальные замеры фактических скоростей колебаний на скально-обвальных участках, прилегающих к Биянковскому карьере:
 - 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, прилегающем 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 уязвимыми являются 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 удержать оползневые явления значительной скальной массы по объемам, аналогичным обрушению 19.07.2017 (1751 км станции Биянка). Горный массив склона (откоса) 1751 км перегона Биянка – Симская сложен в основном известняками (табл. 1) с включениями других пород.

На устойчивое состояние массива склона (откоса) в первую очередь влияет его трещинная структура и межблочные подвижки, обусловленные наличием в трещинах воды и заполнителей пустот. Существенное влияние на межблочные подвижки также оказывают сейсмические колебания, что в некоторых случаях может являться спусковым механизмом для геодинамических проявлений.

Для снижения вероятности сходов горной массы на ж.д. 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 записи на сейсморегистратор [1 – 5].

Таблица 1

Физико-механические свойства известняков

Свойства 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_r , МПа	11,0	2,0 – 38,0
Сцепление, C , МПа	30,0	7,0 – 64,0
Пористость, Π , %	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

Измерение скорости сейсмических колебаний грунта производилось с использованием сейсморегистратора типа УРАН. Методика используется в работе лаборатории разрушения горных пород Института горного дела УрО РАН.

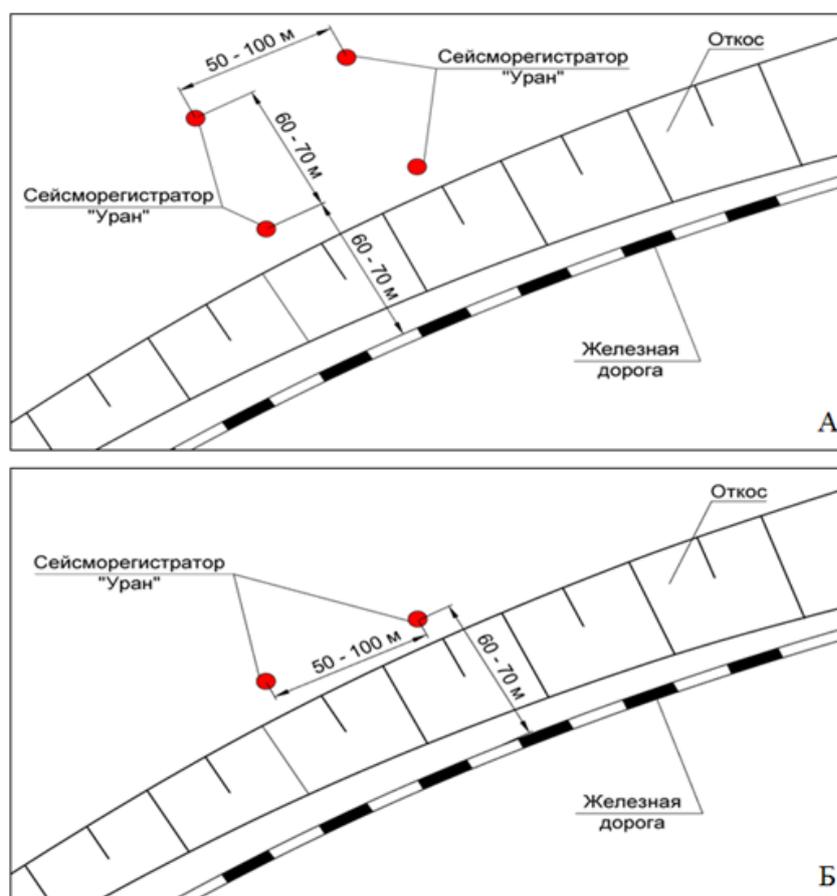


Рис. 1 – Замеры сейсмического воздействия на массив горных пород:
 А – от проходящих ж.д. составов; Б – от технологических взрывов на Биянковском карьере

Для детального изучения сейсмического воздействия на массив горных пород от проходящих ж.д. составов с целью получения достаточного объема информации дополнительные замеры проводились на расстоянии до 150 м, разбивая массив на два участка, по 60 – 70 м. Исследованию подлежал склон горы (откос), на котором устанавливались сейсморегистраторы УРАН в две линии из 2-х точек перпендикулярно полотну железной дороги, как показано на рис. 1А. Замеры от взрывов в карьере проводились по тому же принципу, как и в первом случае, только уже по два прибора у исследуемого склона горы (откоса), с расстояниями в линии между двумя приборами от 50 до 100 м (рис. 1Б). Для выполнения комплекса исследований использовалась методика, разработанная ИГД УрО РАН (№ 88-16359-118-2011), основные положения которой представлены в печатных изданиях [6 – 11]. Измерения сейсмических колебаний от взрывов в карьере Биянковского щебеночного завода производились 25.10.2017 и 03.11.2017. Место проведения замеров показано на рис. 2 и 3.

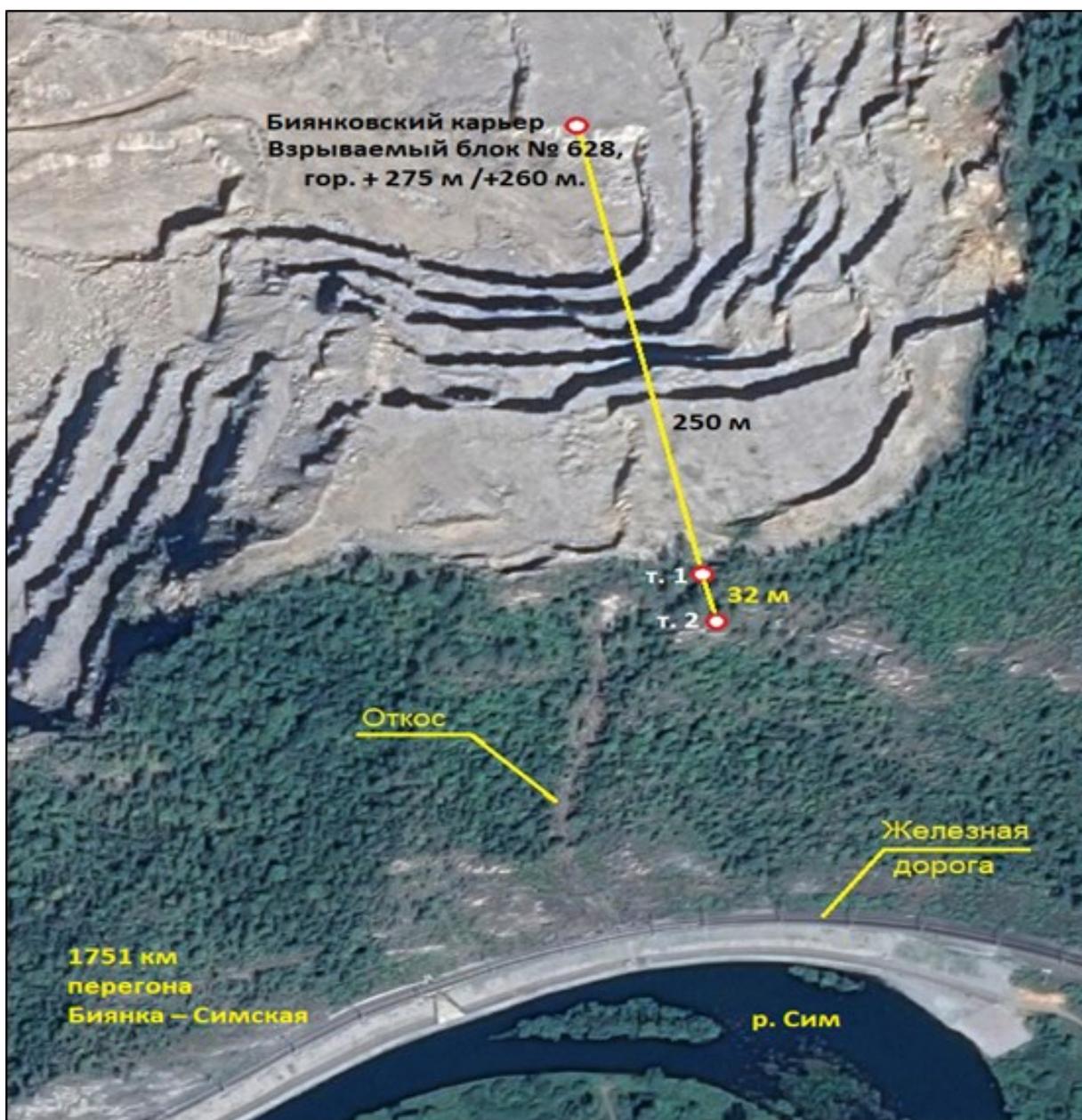


Рис. 2 – Ситуационная схема с расположением взрывающего блока № 628, гор. + 275 м /+260 м и сейсморегистраторов MiniMatePlus (т. 1) и УРАН (т. 2) на верхнем участке склона (откоса) 1751 км перегона Биянка – Симская (25.10.2017)

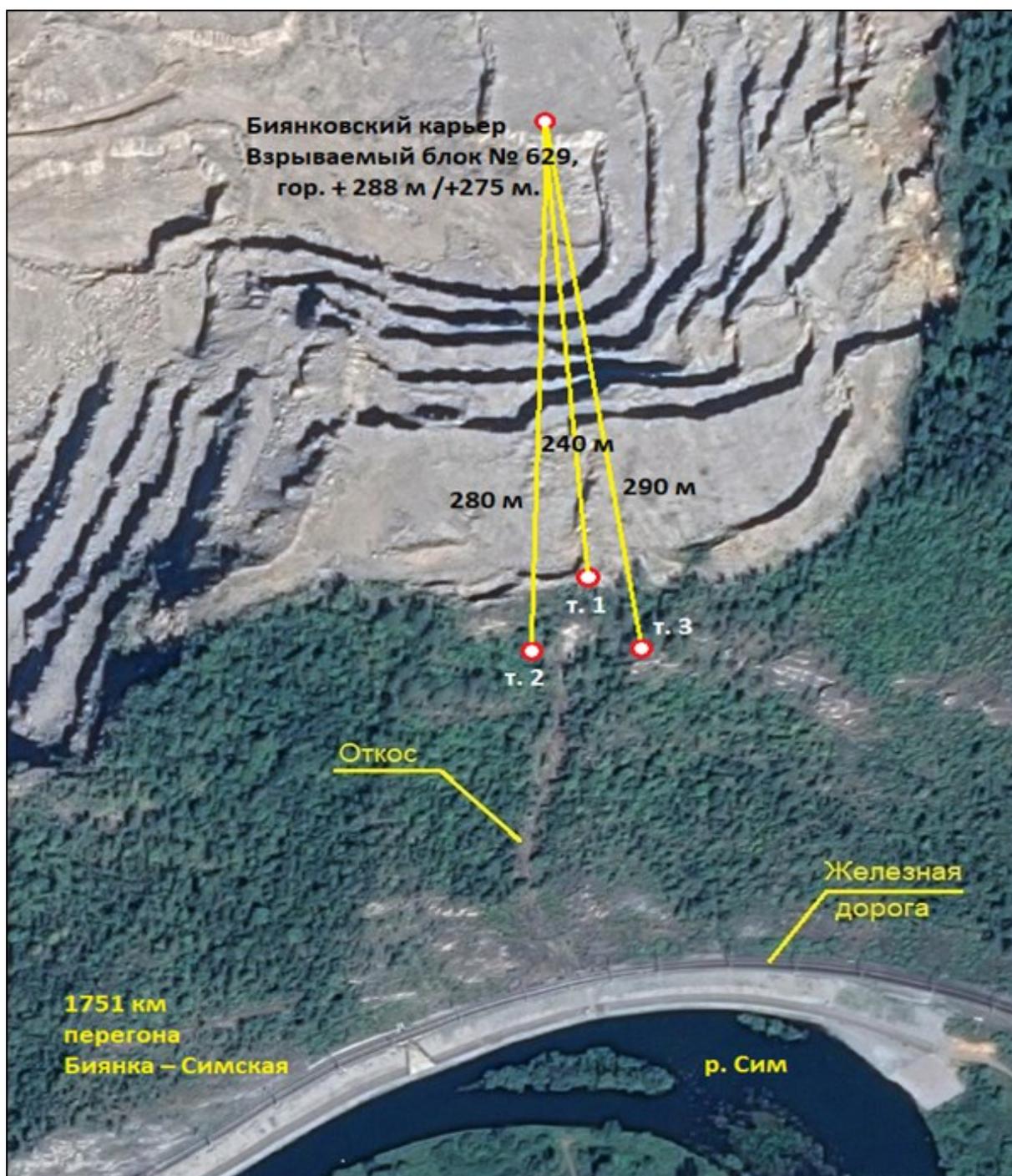


Рис. 3 – Ситуационная схема с расположением взрываемого блока № 629, гор. +288 м /+275 м и сейсморегистраторов УРАН (т. 1 - 3) на верхнем участке склона (откоса) 1751 км перегона Биянка – Симская (03.11.2017)

Допустимая скорость сейсмических колебаний определена согласно [12], и для доломитизированных известняков горного массива склона (откоса) 1751 км перегона Биянка – Симская составляет 20 см/с.

Во время проведения массовых взрывов на Биянковском карьере максимальная результирующая скорость сейсмических колебаний грунта на верхнем участке склона (откоса) 1751 км перегона Биянка – Симская составила:

25.10.2017

- на 5 м по склону от границы карьера (т. 1) – 1,44 см/с;
- на 37 м по склону от границы карьера (т. 2) – 1,16 см/с.

03.11.2017

- возле верхних опор сетки от камнепадов (т. 1) – 0,85 см/с;
- на 40 м по склону от границы карьера на западной стороне склона (т. 2) – 0,60 см/с;
- на 50 м по склону от границы карьера на восточной стороне склона (т. 3) – 0,15 см/с.

При обоих взрывах были зафиксированы скорости сейсмических колебаний меньше, чем допустимое значение. 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 ж.д. составов проведены 25.10.2017. Место проведения замеров показано на рис. 4.

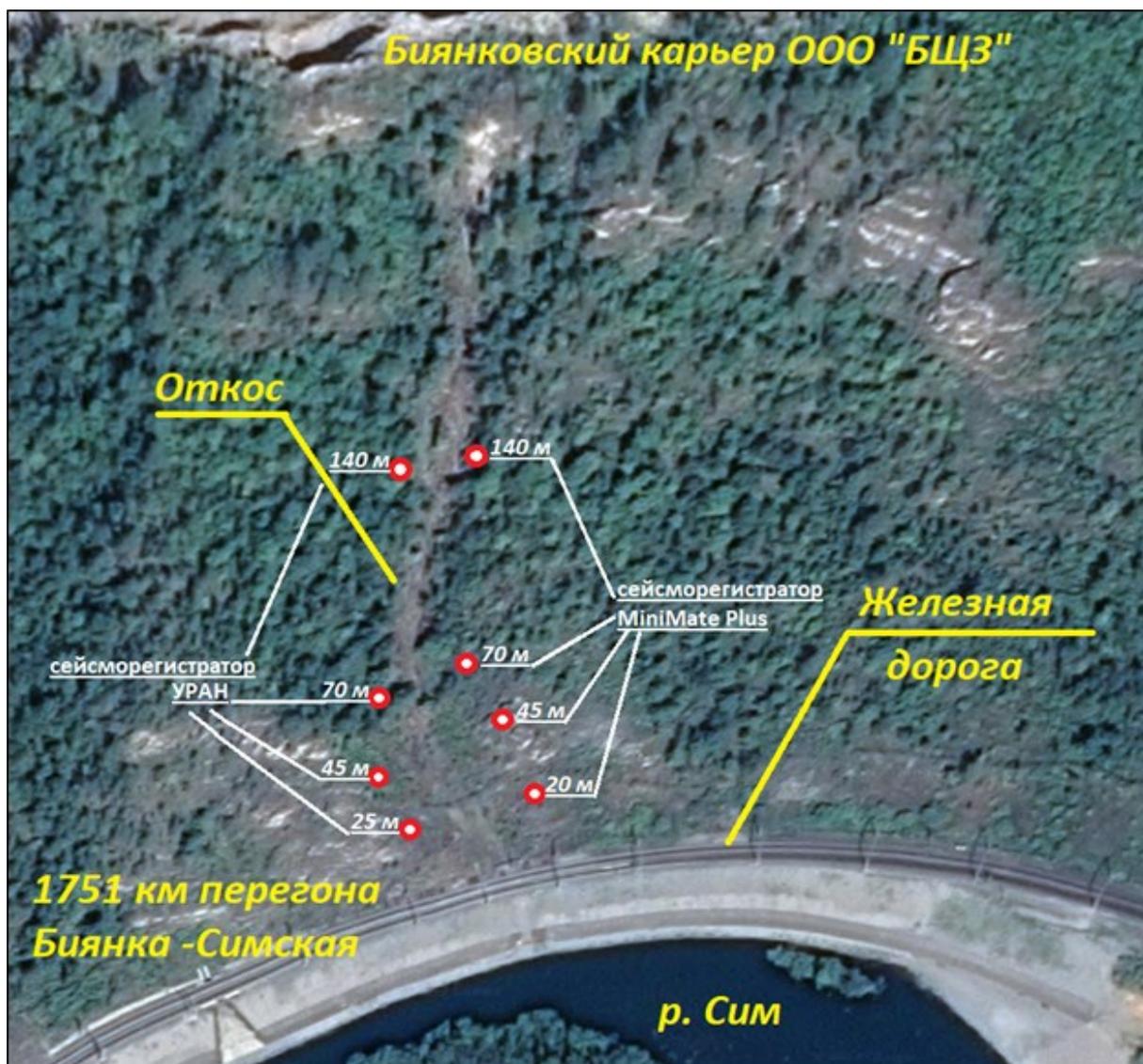


Рис. 4 – Ситуационная схема с расположением сейсморегистраторов MiniMatePlus и УРАН на нижнем участке склона (откоса) 1751 км перегона Биянка – Симская для регистрации сейсмических колебаний от проходящих ж.д. составов на базах измерений 140, 70, 45, 25 и 20 м от ж.д. полотна

Во время прохождения ж.д. 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 склона (откоса) на расстоянии 25 м

от ж.д. путей вверх по склону составила 0,2 см/с на западной стороне склона и на расстоянии 20 м на восточной стороне склона – 0,07 см/с.

Зарегистрированные за время прохождения ж.д. составов максимальные величины скорости сейсмических колебаний грунта на нижнем участке склона (откоса) 1751 км перегона Биянка – Симская меньше допустимой. Проходящие ж.д. составы возле склона (откоса) на 1751 км перегона Биянка – Симская не оказывают негативного воздействия на скальный массив нижнего участка склона и не вызывают нарушения массива горных пород, приводящей к камнепадам и оползням.

В ходе исследовательской работы была проведена оценка устойчивости скальных обнажений. Железная дорога проходит вдоль крутого (до 45°) скального склона, сложенного известняками различной степени нарушения. Для оценки возможности вывалов фирмой ООО «Гин Гео» были произведены массовые замеры элементов залегания трещиноватости на шести участках, расположенных вдоль железной дороги (рис. 5). Общее количество замеров трещин составило 615 штук. Азимуты склона на участках измерений равны: для участков № 1 и № 2 – 115°, для участка № 3 – 105°, для участков № 4 и № 5 – 130°, для участка № 6 – 153°.

В ходе обследования обнажений массива было выделено несколько типов блочности:

Глыбовый – многогранники неправильной формы с размерами от 1 см до 10 – 20 м.

Плитчатый – пластовая отдельность, образованная четко выраженной пологой системой трещин, параллельной напластованию. Размер блоков относительно небольшой – от 2 – 3 см до 15 – 20 см.

Столбчатый – вытянутые многогранники, образованные 3-мя равнозначными системами трещин. Размер блоков от 15 – 20 см до нескольких метров.

В целом в массиве прослеживается закономерность расположения типов блочности. В нижней части обнажений – плитчатый тип, в верхних частях – глыбовый, реже столбчатый. Наиболее опасным является столбчатый вид блочности, 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.

Результаты исследования и их обсуждение

Вынос элементов залегания основных систем трещин на план обследуемого района (см. рис. 5) позволил сделать следующие выводы:

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

2. Ориентировка трещиноватости на участках № 1 и № 2 в целом не благоприятствует образованию крупных вывалов: субвертикальные трещины ориентированы под углом 25 – 27° 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 (от 7° до 25°) определяют возможность небольших подвижек блоков только при поступлении воды. Подвижки эти могут накапливаться во времени. Но в целом 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 $6 - 15^\circ$), но одновременно четко проявилась система трещин с пологим ($15 - 20^\circ$) 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.

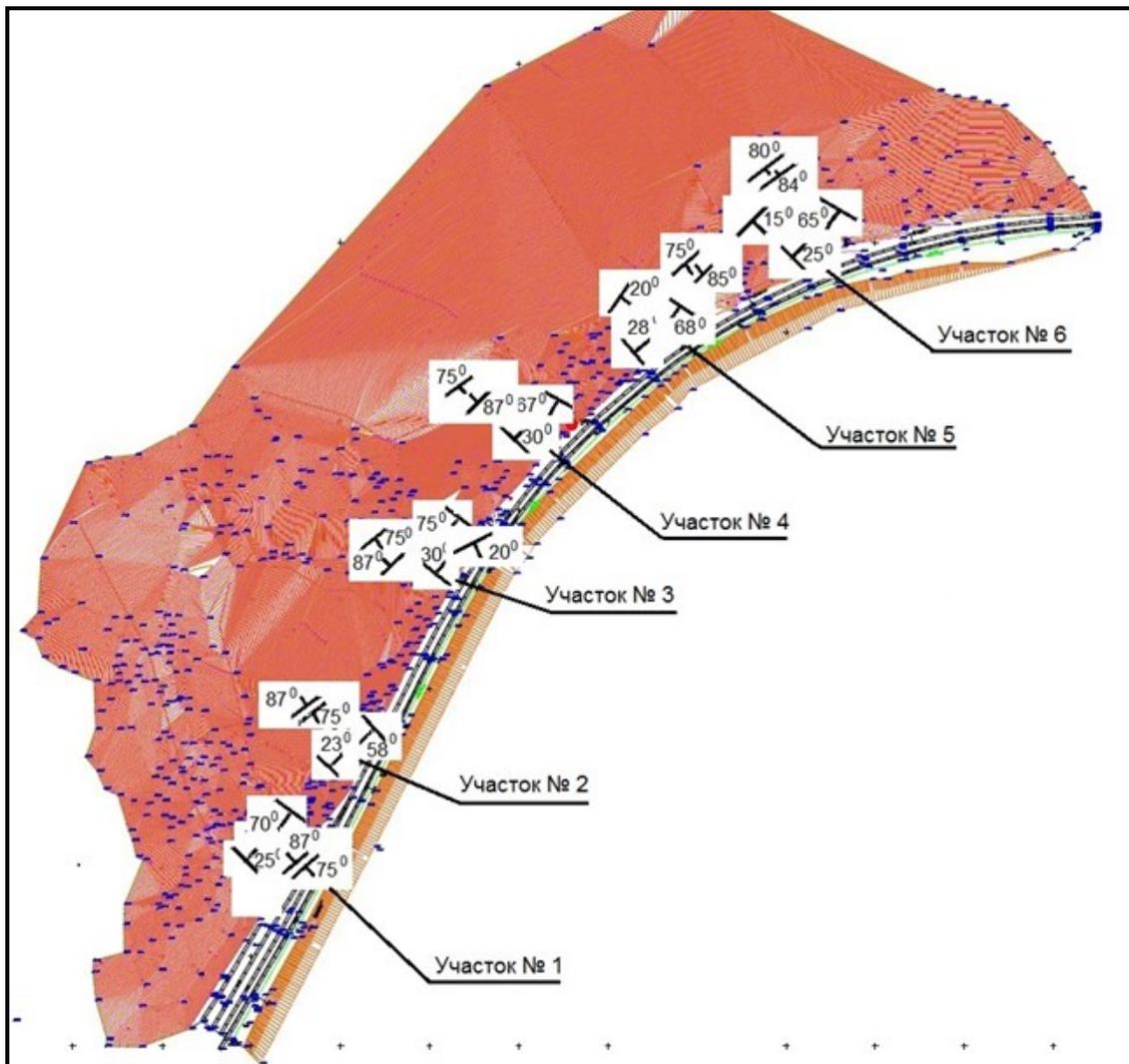


Рис. 5 – Ориентировка основных систем трещин относительно склона

Выводы

При проведении инструментальных замеров фактических скоростей колебаний на скально-обвальных участках, прилегающих к Биянковскому карьеру, влияние сейсмики не подтвердилось. Зафиксированные сейсмические колебания от прохождения ж.д. составов на нижнем участке склона являются незначительными, относятся к высокочастотным и не оказывают негативного влияния на скальный массив. Таким образом,

причиной вывалов горной массы на ж.д. пути являются геологические особенности скального массива.

В качестве мероприятий по предотвращению выкатывания обломков на ж.д. пути были рекомендованы различные варианты:

- строительство камнеулавливающих барьеров (с успехом применялись в 70-х годах на железорудных карьерах и в 2000-х 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.

Литература

1. Берсенеv Г.П. Взрывные работы в стесненных условиях / Г.П. Берсенеv, Л.Н. Сенин, П.В. Меньшиков // Взрывное дело. – 2007. – № 97/54. – С. 56 - 66.
2. Меньшиков П.В. Воздействие ударной воздушной волны на здания и сооружения на земной поверхности / П.В. Меньшиков // Взрывное дело. – 2007. – № 97/54. – С. 77 - 82.
3. Богацкий В.Ф. Сейсмическая безопасность при взрывных работах / В.Ф. Богацкий, В.Х. Пергамент. – М.: Недра, 1978. – 128 с.
4. Богацкий В.Ф. Охрана инженерных сооружений и окружающей среды от вредного действия промышленных взрывов / В.Ф. Богацкий, А.Г. Фридман. – М.: Недра, 1982. – 162 с.
5. Фадеев А.Б. Дробящее и сейсмическое действие взрыва на карьерах / А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1972. – 435 с.
6. Жариков С.Н. Изучение сейсмического действия взрыва в карьере для внедрения специальной технологии заоткосных работ / С.Н. Жариков, В.А. Кутуев // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: Материалы всероссийской конф. с междунар. участием / Институт геофизики УрО РАН. – Екатеринбург, 2017. – С. 179 - 183.
7. Методика обеспечения сейсmobезопасной технологии ведения взрывных работ. – Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1984. – 12 с.
8. Жариков С.Н. О влиянии взрывных работ на устойчивость бортов карьеров / С.Н. Жариков, В.Г. Шеменев // Известия вузов. Горный журнал. – 2013. – № 2. – С. 80 – 83.
9. Жариков С.Н. О влиянии взрывных работ на напряженное состояние горного массива и геодинамические явления / С.Н. Жариков, В.Г. Шеменев // Известия вузов. Горный журнал. – 2013. – № 3. – С. 90 - 97.
10. Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии / И.Ф. Бондаренко, С.Н. Жариков, И.В. Зырянов, В.Г. Шеменев. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2017. – 172 с.
11. Шеменев В.Г. О состоянии научных исследований в области разрушения горных пород в Институте горного дела УрО РАН / В.Г. Шеменев, С.Н. Жариков // Проблемы недропользования. – 2016. – № 4 (11). – С. 30 - 40. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.030
12. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах / В.Н. Мосинец. – М.: Недра, 1976. – 271 с.