

УДК 550.34

Омурбек к. К., Омуралиев М., Омуралиева А.

*Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан***СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КУМТОР» НА «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ» КАРЬЕР, ОТВАЛЫ,
ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ, ЛЕДНИКИ И ОЗ. ПЕТРОВА**

Аннотация. Изложены результаты исследования сейсмических воздействий на природные и техногенные объекты (карьер «Центральный», Горнорудный комбинат, жилмассив, отвалы, хвостохранилище, трубопроводы, дороги, ледники, озеро Петрова и др.) в пределах месторождения «Кумтор» при постоянном увеличении площади добычи. В качестве параметров сейсмических воздействий рассмотрены последовательность повторных взрывов, их скорости V_s (км/сек), сейсмическая сила F (Дж), кумулятивная подвижка массивов горных пород $D_{\text{кум}}$ (мк), средняя подвижка в массиве горных пород D (см), угловая частота спектра поперечных волн f_0 (Гц), период сейсмических волн $T=1/f_0$ (сек), спектральная плотность Ω_0 (мк/сек), параметр $\Omega_0 \cdot f_0^2$ (мк/сек²) в пределах «Центрального» карьера, жесткость горных пород μ (дин/см²).

Результаты могут быть использованы для оценки динамики сейсмического воздействия и сейсмического риска объектов горнорудного комбината вследствие повторных промышленных взрывов.

Ключевые слова: промышленный взрыв, объект горнорудного комбината, сейсмическое воздействие взрывов, скорость поперечных S- волн, сейсмическая сила промышленных взрывов, кумулятивная подвижка массивов горных пород, угловая частота, средняя подвижка, спектральная плотность, жёсткость.

**«КУМТОРДУН» ӨНӨР-ЖАЙ ЖАРДЫРУУЛАРЫНЫН «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ»
КАРЬЕРИНЕ, ТӨГҮНДҮЛӨРГӨ, КАЛДЫК САКТООЧУ ЖАЙГА, МӨҢГҮЛӨРГӨ
ЖАНА ПЕТРОВ КӨЛҮНӨ ТИЙГИЗГЕН СЕЙСМИКАЛЫК ТААСИРИ**

Кыскача мазмуну. «Кумтор» кенинин өндүрүш аянты тынымсыз чоңойуу менен анын чегиндеги табигый жана техногендик объекттерге («Центральный» карьер, тоо-кен комбинаты, турак жайы конушу, төгүндүлөр, калдык сактоочу жай, түтүк өткөргүчтөр, жолдор, мөңгүлөрү, Петров көлү ж. б.) болгон сейсмикалык таасирлерди изилдөөнүн жыйынтыктары баяндалган. Сейсмикалык таасирлердин параметрлери катары кайталанган жардыруулардын ырааттуулугу, алардын ылдамдыгы V_s (км/сек), сейсмикалык күчү F (Дж), тоо тектердин кумулятивдик жылышуусу $D_{\text{кум}}$ (мк.), алардын орточо жылышуусу D (см), туурасынан кеткен толкундардын спектринин бурчтук жыштыгы f_0 (Гц) жана периоду $T=1/f_0$ (сек), спектралык тыгыздыгы Ω_0 (мк/сек), «Центральный» карьер чегиндеги $\Omega_0 \cdot f_0^2$ параметри (мк/сек²), тоо тектеринин катуулугу μ (дин/см²).

Изилдөөнүн натыйжалары кайталанган өнөр жай жардырууларынын натыйжасында тоо-кен комбинатынын объекттеринин сейсмикалык таасиринин жана сейсмикалык коркунучтун динамикасын баалоо үчүн колдонулушу мүмкүн.

Негизги сөздөр: өнөр жай жардыруусу, тоо-кен комбинатынын объектиси, жардыруулардын сейсмикалык таасири, туурасынан кеткен S толкундарынын ылдамдыгы, өнөр жай жардырууларынын сейсмикалык күчү, тоо-кен массивдеринин кумулятивдик жылышуусу, бурчтук жыштыгы, орточо жылышуу, спектрдик тыгыздыгы, катуулугу.

SEISMIC IMPACT OF THE «KUMTOR» INDUSTRIAL EXPLOSIONS ON THE «CENTRAL» QUARRY, DUMPS, TAILING POND, GLACIERS AND LAKE PETROV

Abstract. The results of studies of seismic impacts on natural and man-made objects («Central» Quarry, Mining complex, residential area, dumps, tailing pond, pipelines, roads, glaciers, Petrov Lake, etc.) within the «Kumtor» deposit with a constant increase of the mining area are presented. As parameters of seismic impacts, the sequence of repeated explosions, S-wave velocity (V_s , km/sec), seismic force F (J), cumulative displacement D_{cum} (mk) and average displacement D (cm) of rocks, angular frequency of the transverse waves spectrum f_0 (Hz), period of seismic waves $T=1/f_0$ (sec), spectral density Ω_0 (mk/sec), maximum acceleration of transverse waves $\Omega_0 \cdot f_0^2$ (mk/sec²) within the «Central» Quarry, rock rigidity μ (din/cm²) are considered

The results can be used to assess the dynamics of seismic impact and seismic risk of mining facilities due to repeated industrial explosions.

Keywords: industrial explosion, mining facility, seismic impact of explosions, transverse S wave velocity, seismic force of industrial explosions, cumulative displacement of rocks, angular frequency, average displacement, spectral density, rigidity.

Введение

Сейсмическое воздействие [1-3] повторных промышленных взрывов является одной из наиболее важных проблем при постоянном увеличении площади добычи и разработки полезных ископаемых открытым взрывным способом. Приближение фронта горных работ к особо охраняемым объектам и повышение требований к устойчивости ранее возведённых зданий и сооружений, а также бортов разреза, вопрос о сейсмическом воздействии стоит весьма остро. Это делает необходимым проведение анализа сейсмических волн от карьерных взрывов, а также уточнение зональности сейсмического воздействия при выборе параметров взрывной технологии для конкретных условий. Известен негативный эффект сейсмического воздействия взрывов на биообъекты, на здания и конструкции. Внезапные колебания почвы или сотрясения вызывают у людей дискомфорт даже при относительно слабых амплитудах сейсмических волн. Следует отметить, что динамика сейсмических воздействий изменяется во времени и пространстве. Для сохранения природной среды, здоровья людей, целостности охраняемых объектов необходимо целенаправленное, комплексное изучение процессов, связанных с техногенным воздействием открытых горных работ на окружающую среду и человека [1].

Имеется опыт изучения сейсмических волн ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне [4-7], а также крупномасштабного Камбаратинского взрыва [8, 9], регистрируемых, в частности, сетью сейсмических станций Кыргызстана. При изучении Агалатасских взрывов (на южном склоне Киндыктасского хребта), повторно произведённых через сутки и более, анализировалось изменение амплитуд продольных и поперечных волн (A_p , A_s , A_s/A_p) по направлениям к сейсмическим станциям Ананьево, Боом, Карагай-Булак, Ала-Арча и другие [10, 11]. Исследованы сейсмические волны повторных промышленных взрывов на месторождении «Кумтор» [12-16].

Уникальное золоторудное месторождение «Кумтор», расположенное на северном склоне хребта Акшыйрак и уже более 25 лет разрабатывается открытым взрывным способом. Соответственно, накапливается большой материал карьерных взрывов Кумторского месторождения Тянь-Шаня. Сейсмические волны от взрывов регистрируются четырьмя ближайшими цифровыми сейсмическими станциями: «Пржевальск» (PRZ), «Каджи-Сай» (KDJ), «Ананьево» (ANVS) и «Тарагай» (TARG).

Методика и фактический материал

По данным цифровых сейсмических станций сетей KNET (Kyrgyzstan Telemetered Network) Научной станции РАН и KRNET (Kyrgyz Republic Digital Network) Института сейсмологии НАН КР [8, 17], а также станции «Тарагай» (TARG) ЦАИИЗ (Центрально-Азиатского Института прикладных исследований Земли), в Центре обработки данных Института сейсмологии НАН КР (ЦД ИС НАН КР) определяются основные параметры сейсмических волн. Способ определения основных параметров в ЦД ИС НАН КР подробно описан в предыдущих работах [12-16, 18].

Исходным материалом в работе служат бюллетени взрывов Института сейсмологии НАН КР, составленные Центром данных по материалам цифровых сейсмических станций сетей KNET, KRNET, а также станций Казахстана и Китая, и станции «Тарагай» (TARG) Центрально-Азиатского института прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ) на основе методик обработки Мировых сейсмологических центров.

Район исследования находится на территории золоторудного месторождения Кумтор с центром карьера $lat = 41.85^\circ$, $lon = 78.20^\circ$ и приграничные районы. В связи с тем, что в нашем распоряжении не было сведений от производителей взрывов и из-за отсутствия локальной сети мониторинга на самом карьере, координаты, время и энергия взрывов определялись с определённой точностью на основе данных сети сейсмических станций в окружении месторождения «Кумтор». Для проведения исследования выбраны только взрывы в квадрате $lat = 41.79^\circ - 41.87^\circ$, $lon = 78.17^\circ - 78.28^\circ$ (в пределах основного карьера «Центральный») за 2023 г. Сейсмическая энергия взрывов за 2023 г. колебалась от $2.4 \cdot 10^4$ Дж до $1.9 \cdot 10^6$ Дж, $K_R = 4.4 - 6.3$. В непосредственном окружении месторождения Кумтор находились цифровые станции: «Тарагай» (TARG) на юго-западе, «Каджи-Сай» (KDJ) на северо-западе, «Ананьево» (ANVS) на севере, «Пржевальск» (PRZ) на северо-востоке. В пределах этих станций горные массивы сложены в основном гранитоидами, метаморфическими породами. В связи с этим можно сказать, что скоростные модели участков земной коры в пределах рассматриваемых станций были близкими.

Объектами сейсмических воздействий в пределах месторождения «Кумтор» являются: карьер «Центральный», отвалы, ледники Акшыйрак, Горнорудный комбинат, жилмассив, хвостохранилище, озера Петрова, трубопроводы, дороги и др. (рисунок 1).

В результате обработки записей цифровых станций за 2023 г. в ЦД ИС НАН КР и проведённого анализа по дискриминации землетрясений и взрывов получены бюллетени взрывов на месторождении «Кумтор», на основе которых составлялись годографы и определялись скорости (V_p , V_s , км/сек) сейсмических Р- и S - волн, одновременно выделялись максимальные амплитуды (A , см) колебаний и соответствующие периоды (T , сек) на каждой станции. Промежутки времени между повторными промышленными взрывами в пределах карьера «Центральный» составляли минимум 5 секунд (максимум 96 суток), в среднем 655698 секунд (8 суток). Соответственно вибрация горных массивов от повторных взрывов имела частоту 0.18 гц и $1,5E - 06$ гц.

На рисунке 2 в качестве примера приведён график изменения скорости поперечных V_s волн от 3.3 до 3.8 км/сек по данным сети (четырёх) цифровых сейсмических станций за 2023 г. Здесь отмечается иерархия сейсмических циклов, например, третьего, второго и первого порядка. Среднее значение скорости поперечных волн составляет – 3.5 км/сек, максимальное значение – 3.8 км/сек, минимальное значение – 3.3 км/сек. Следует отметить, что на основании изучения изменения во времени и в пространстве скоростей сейсмических волн V_p , V_s , V_p/V_s промышленных взрывов отмечено [12-16], что их соотношения выражают проявления на участках земной коры флюидного режима, частичного плавления и проявления высоких давлений. Выражением флюидного режима, частичного плавления, вероятно являются термокарсты в мерзлых грунтах в районе (на востоке) хвостохранилища, в пределах дамбы (плотины) озера Петрова, «воронки» таянья ледников и массивов отвалов,

аномальные таяния льдов и снежинок в участках зон разломов (например, Кумторского разлома) на стенках карьеров.



Рисунок 1. Объекты рудника, наиболее подверженные сейсмическому воздействию промышленных взрывов [19].

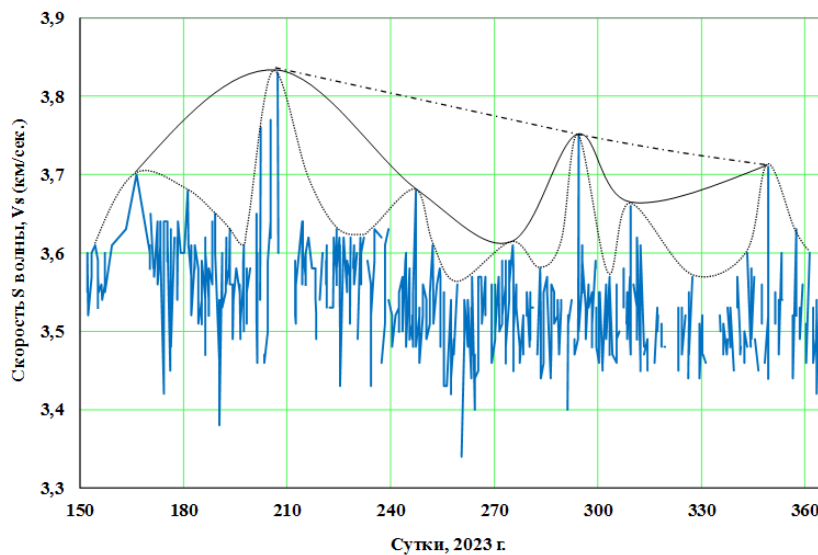


Рисунок 2. График изменения скорости поперечных V_s (км/сек.) волн по данным цифровых сейсмических станций за 2023 г. Сейсмические циклы третьего порядка обозначен точечной линией, циклы второго порядка - сплошной линией, циклы первого порядка – пунктирной линией с точками.

Сейсмическая сила F (н) является важной характеристикой сейсмического воздействия промышленных взрывов в пределах месторождения «Кумтор» за 2023 г. (рисунок 3). Среднее значение сейсмической силы взрывов на эпицентральной расстоянии 100 м составило в среднем 1491 н, максимальное значение – 77624 н, минимальное значение - около 1 н.

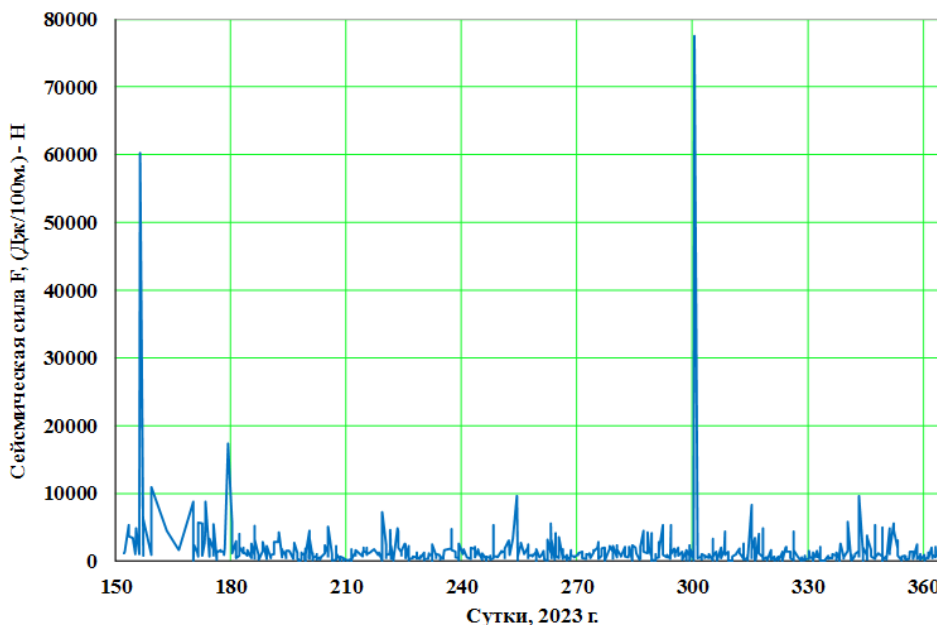


Рисунок 3. График изменения сейсмической силы F (н) промышленных взрывов на эпицентральной расстоянии 100 м за 2023 г.

На рисунке 4 показана кумулятивная подвижка массивов горных пород при взрывах в пределах карьера «Центральный» за 2023 г. График кумулятивной сейсмической энергии имел линейный тренд:

$$D_{\text{кум}} = (14.139t - 2157.8), \quad (1)$$

где $D_{\text{кум}}$ - кумулятивная подвижка массивов горных пород (мк), t - сутки 2023 г. Как видно из графика с 01.06.2023 г. по 08.06. 2023 г. отмечались активные подвижки массивов горных пород.

На рисунке 5 приведён график последовательности средних подвижек в массиве горных пород D (мк) при промышленных взрывах на «Центральном» карьере за 2023 г. Максимальное значение подвижек составило 37 мк, среднее значение подвижек – 4 мк, минимальное значение – 0.1 мк.

Важным параметром сейсмического воздействия является угловая частота f_0 (Гц), определяемая по спектрам поперечных сейсмических волн промышленных взрывов. Она представляет собой резонансную частоту. На рисунке 6 приведена последовательность угловых частот поперечных волн. Максимальное значение угловых – резонансных частот составило 9.5 Гц, среднее значение подвижек – 5.9 Гц, минимальное значение – 4.3 Гц.

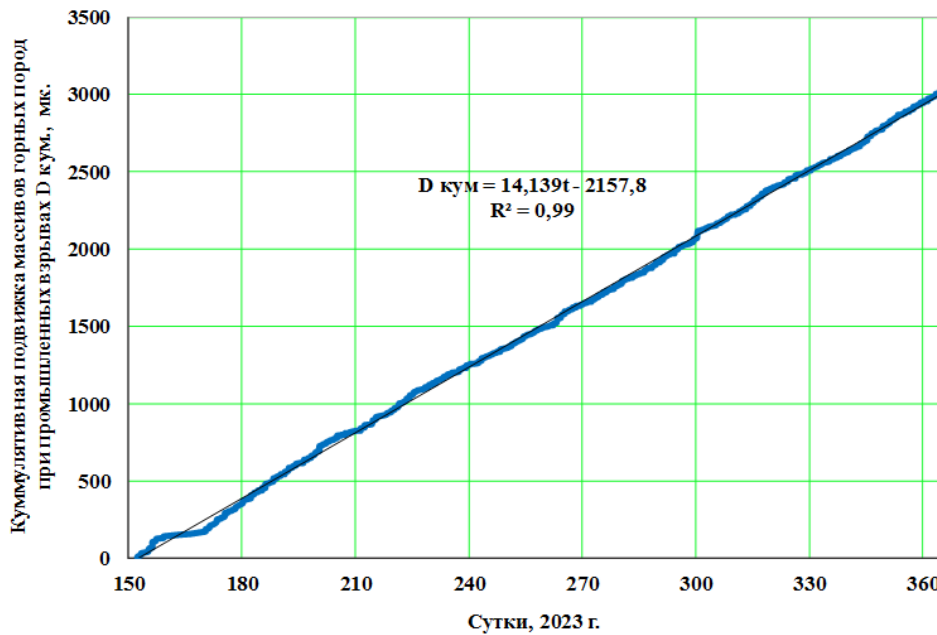


Рисунок 4. Кумулятивная подвижка массивов горных пород при взрывах в пределах карьера «Центральный» за 2023 г.

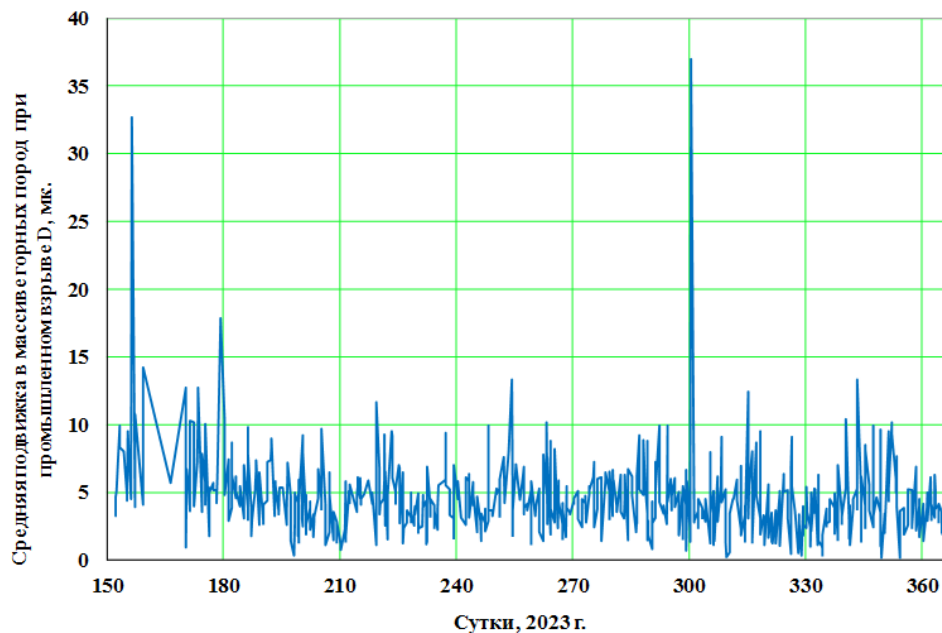


Рисунок 5. График последовательности средних подвижек в массиве горных пород D (мк) при промышленных взрывах за 2023 г.

На рисунке 7 показан график спектральной плотности Ω_0 (мк/сек) поперечных волн повторных промышленных взрывов на Центральном карьере за 2023 г. Следует отметить, что спектральная плотность Ω_0 (мк/сек) представляет собой скорость смещения. Максимальное значение Ω_0 составило около 0.0001 мк/сек.

На рисунке 8 приведён график изменения максимального ускорения (мк/сек²) колебаний поперечных волн повторных промышленных взрывов. Максимальное значение его составляло 0.01 мк/сек².

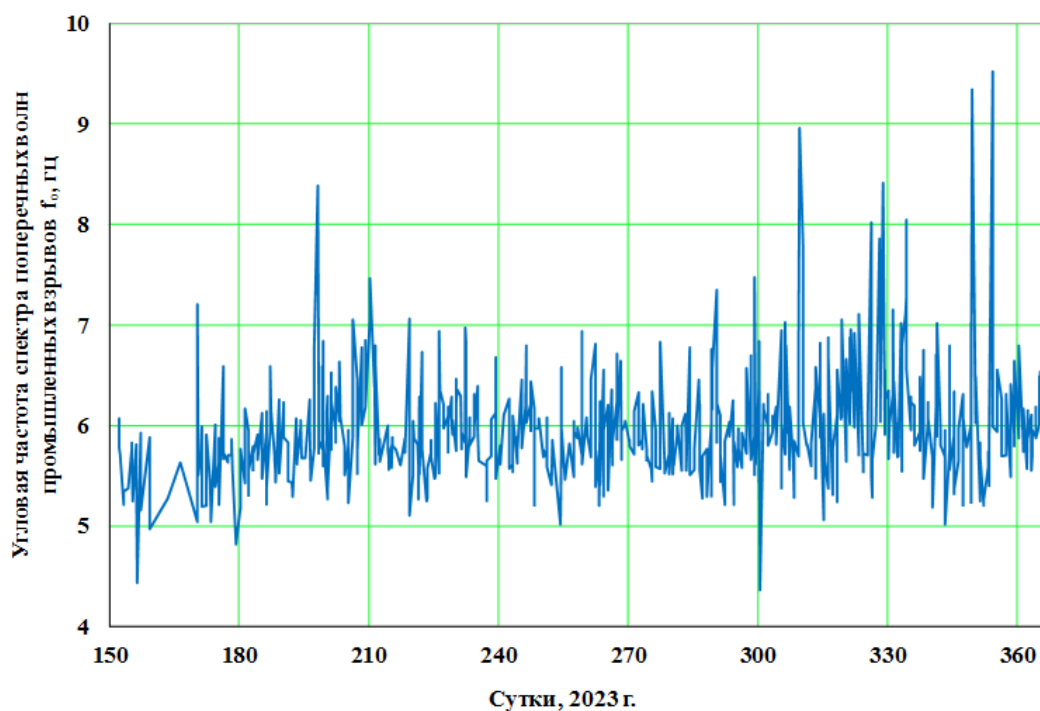


Рисунок 6. График угловой частоты спектра f_0 (Гц) поперечных волн промышленных взрывов за 2023 г.

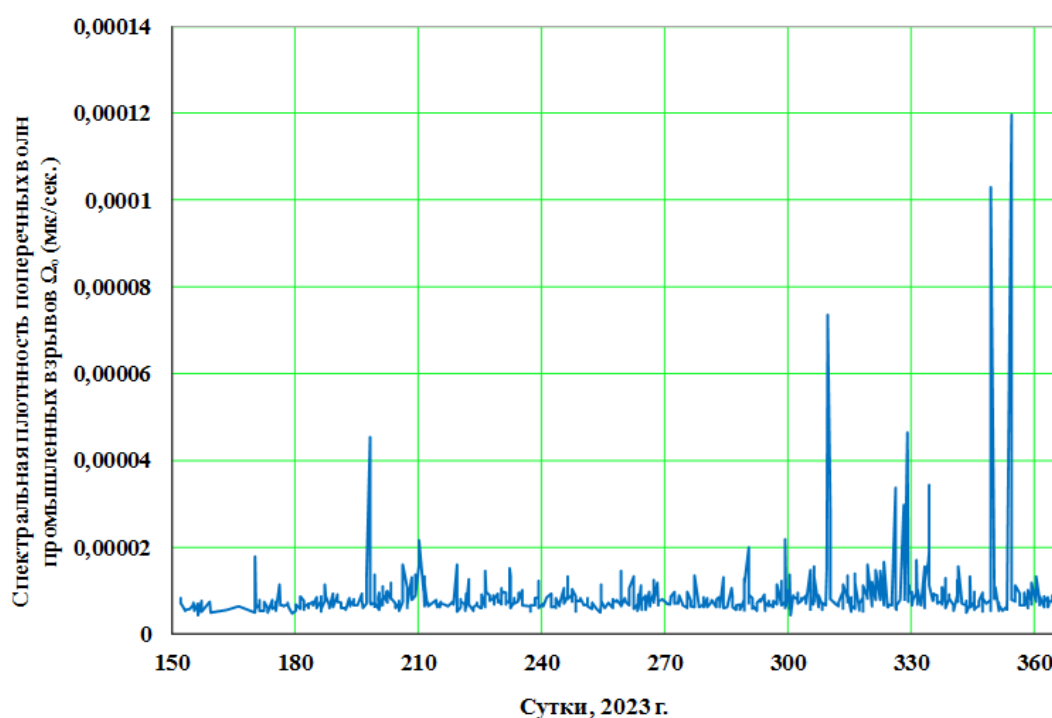


Рисунок 7. График спектральной плотности Ω_0 (мк/сек.) поперечных волн промышленных взрывов 2023 г.

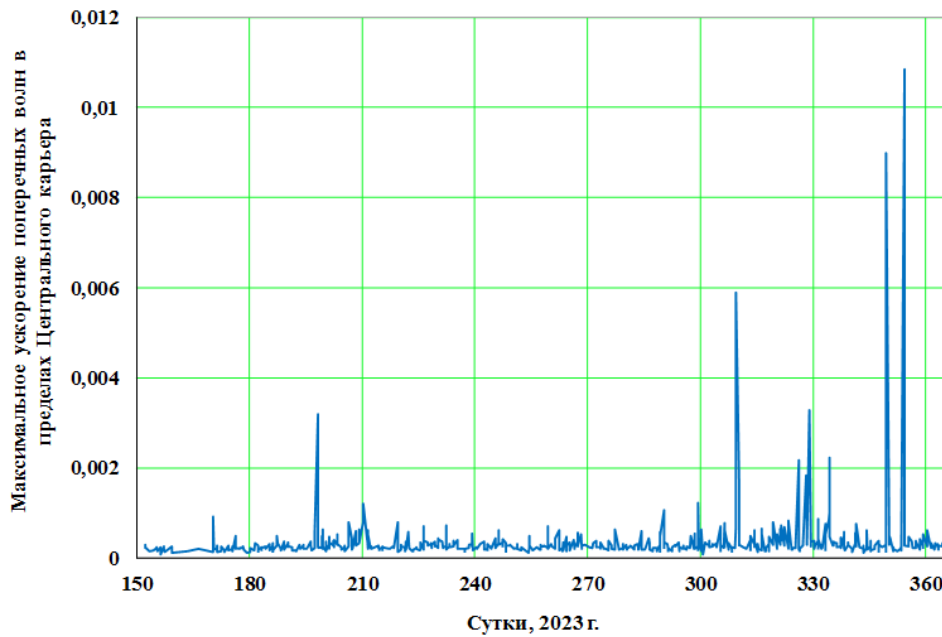


Рисунок 8. График максимального ускорения колебаний $\Omega_0 * f_0^2$ (мк/сек²) поперечных волн промышленных взрывов за 2023 г.

На основании данных скорости поперечных волн взрывов и плотности горных пород в пределах «Кумтора» оценена жёсткость среды земной коры. График вариации значений жёсткости приведён на рисунке 9, на котором выделяется иерархия сейсмических циклов. Значение жёсткости изменяется в пределах $(3.3-4.4) \times 10^{11}$ дин/см². Среднее значение равно $\mu = 3.7 \times 10^{11}$ дин/см².

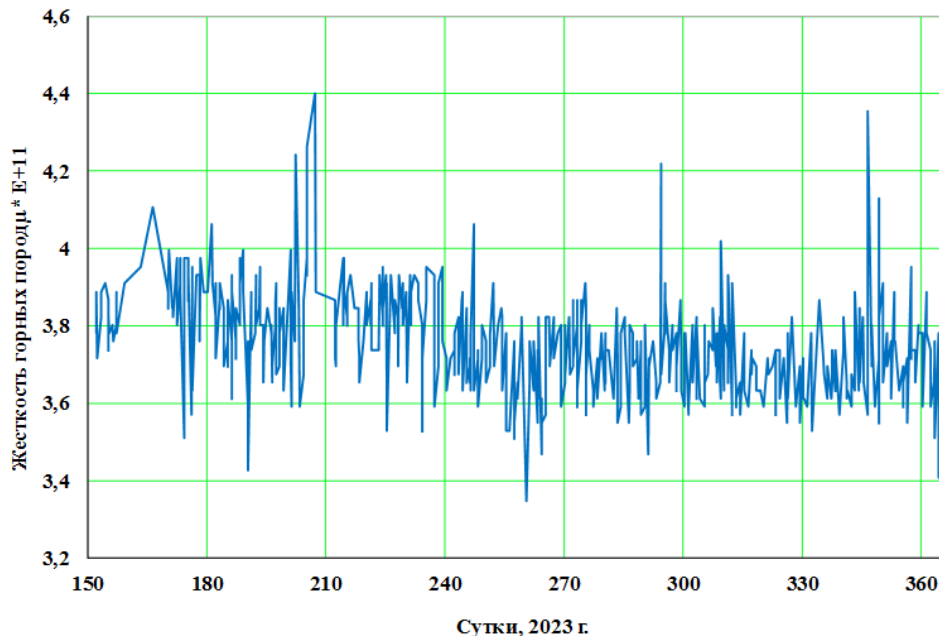


Рисунок 9. График жёсткости - модуля сдвига μ (дин/см.²) горных пород промышленных взрывов за 2023 г.

Разломы, сдвиги и сланцеватость являются структурами, предопределяющими устойчивость бортов карьера. Рудовмещающий Кумторский активный разлом северо-восточного простирания, юго-восточного простирания, взбросо-надвигового типа выражен

мощной (несколько десятки метров) зоной дробления, будинажа, смятия, лимонитизация и обводнения.

Следует отметить, что размер «Центрального» карьера по ходу разработки месторождения расширяется. Так, глубина, высота стенки его увеличились от десятки метров в начале разработки (1996 г.) до более 500 м в настоящее время. Карьер, как сооружение, имеет собственный период T_0 колебания и резонансную частоту ω_0 . Эти параметры изменялись с увеличением высоты L карьера. Приближённая собственная резонансная частота этого сооружения может быть определена на основе формулы механики (маятника):

$$\omega_0 = 1/2\pi(g/L)^{1/2}$$

где g - ускорение свободного падения ($9,8\text{м/с}^2$) для поверхности Земли, L - высота карьера (м). Приближенная собственная частота карьера $\omega_0 = 0.15$ Гц при $L=10$ м, $\omega_0 = 0.05$ Гц при $L=100$ м, $\omega_0 = 0.02$ Гц при $L=500$ м. Соответственно, можно сказать, что собственная частота карьера вероятно уменьшалась с увеличением высоты карьера.

На рисунке 10 приведено соотношение собственной частоты сооружения ω_0 и частоты внешнего воздействия ω_A при различных коэффициентах затухания σ . Как отмечено выше частотами внешних воздействий могут быть частоты повторных промышленных взрывов, угловые частоты сейсмических волн этих взрывов и т.д. Максимальный резонанс происходит при $\sigma = 0$, $\omega_A / \omega_0 = 1$.

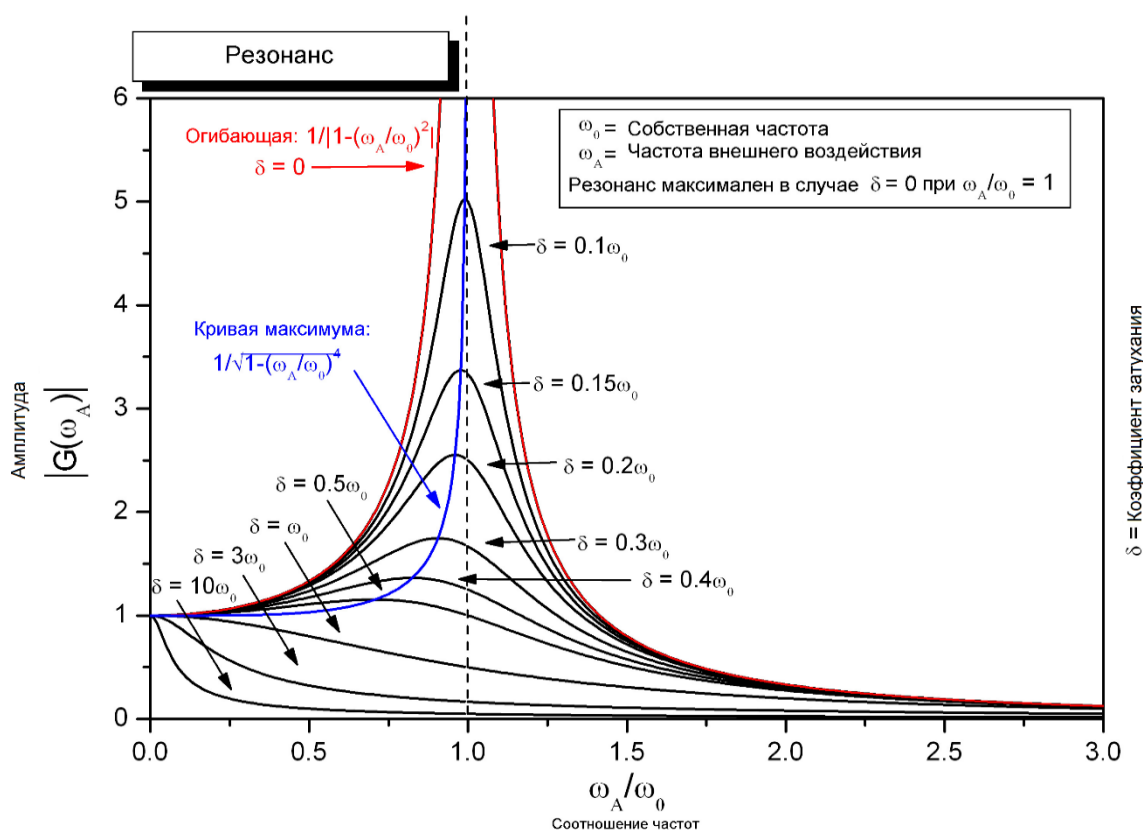


Рисунок 10. Соотношение собственной частоты сооружения ω_0 и частоты внешнего воздействия ω_A при различных коэффициентах затухания σ [20].

Заключение

1. Проводился анализ промышленных взрывов «Кумторского» месторождения на основании данных цифровых станций: «Каджи-Сай» (KDJ), «Ананьево» (ANVS), «Пржевальск» (PRZ), «Тарагай» (TARG). Для проведения исследования выбраны

только взрывы в квадрате $lat = 41.79 - 41.87^\circ N$, $lon = 78.17 - 78.28^\circ E$ в пределах «Центрального» карьера. Сейсмическая энергия взрывов колебалась от $2.4 \cdot 10^4$ Дж до $1.9 \cdot 10^6$ Дж. Взрывы имели частоты повторения минимум 0.18 Гц и в среднем $1.5E-06$ Гц. На участке земной коры проявилась своеобразная вибрация и происходили динамическая сегментация и секторизация в иерархии блоков, особенно в зоне активного Кумторского разлома

2. Среднее значение скорости поперечных V_s волн взрывов составило – 3.5 км/сек, максимальное значение – 3.8 км/сек, минимальное значение – 3.3 км/сек. Величина силы сейсмического воздействия взрывов на массивы горных пород в пределах карьера изменялась от около 1 н до 77624 н, среднее значение - 1491 н. График кумулятивной подвижки массивов горных пород при взрывах в пределах карьера «Центральный» за 2023 г. показал, что с 01.06.2023 г. по 08.06.2023 г. отмечались активные подвижки массивов горных пород. Величина её достигла 125.73 мк 06.06.2023 г., с 19.07.2023 г. по 24.07.2023 г. и 14.08.2023 г.
3. Исследованы вероятные сейсмические воздействия на природные и техногенные объекты (карьер «Центральный», Горнорудный комбинат, жил массив, отвалы, хвостохранилище, трубопроводы, дороги, ледники Акшыйрак, озеро Петрова и др.) в пределах месторождения «Кумтор» при постепенном увеличении площади добычи с помощью повторных промышленных взрывов за 2023 г. В качестве параметров сейсмических воздействий рассмотрены результаты слежения последовательности повторных взрывов, скорости V_s (км/сек), сейсмической силы F (н), кумулятивной подвижки массивов горных пород $D_{\text{кум}}$ (мк), средней подвижки в массиве горных пород D (см), угловой частоты спектра сейсмических волн f_0 (Гц) - резонансной частоты очага землетрясения, периода сейсмических волн $T=1/f_0$ (сек), спектральной плотности Ω_0 (мк/сек), максимального ускорения поперечных волн $\Omega_0 \cdot f_0^2$ (мк/сек²), жёсткости горных пород μ (дин/см.²) в пределах месторождения «Кумтор».
4. Изучено соотношение собственной резонансной частоты сооружения ω_0 и резонансной частоты внешнего воздействия ω_A при различных коэффициентах затухания σ - резонансный эффект.
5. Отмечено, что результаты исследований могут быть использованы для нового направления сейсмологии оценки динамики сейсмической уязвимости и сейсмического риска объектов горнорудного комбината, расположенных в зоне влияния взрывных работ, при постоянном увеличении площади добычи и количества промышленных взрывов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гриб Н.Н., Гриб Г.В., Сясько А.А., Качаев А.В., Сейсмическое воздействие массовых взрывов на природно-технические объекты // Журнал Безопасность в техносфере. - 2015. -№2. -С.33-39. DOI: <https://znanium.ru/read?id=116627&pagenum=34>
2. Садовский М. А., Костюченко В. Н. О сейсмическом действии подземных взрывов// Доклады АН СССР. -1974. -Т.25, № 25.
3. Козырев С. А. Сейсмической действие подземных массовых взрывов на поверхностные сооружения. //Вестник МГТУ -1998. -Том 1, №3. -С.123-126
4. Адушкин В. В., Ан В. А., Каазик П.Б., Овчинников В.М. О динамических процессах во внутренних геосферах Земли по временам пробега сейсмических волн //Докл. РАН. - 2001. т.381. №6. -С.822-824.
5. Гамбурцева Н. Г., Люкэ Е.И., Николаевский В.Н. и др. Периодические вариации параметров сейсмических волн при просвечивании литосферы мощными взрывами //ДАН СССР. -1982. -т.266. -С.1349-1353.

6. Гамбурцева Н. Г. Временная изменчивость скоростных свойств среды по данным Семипалатинских ядерных взрывов. Кн. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек: Илим. 2006. С.94-104.
7. Омуралиев М., Омуралиева А. Явление скачкообразного изменения строения литосферы во время и после крупномасштабного взрыва. Кыргызпатент. 2011. №1616.
8. Абдрахматов К.Е., Берёзина А.В. Развитие сейсмического мониторинга в Кыргызстане // Вестник НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан. -2010. -Выпуск 3. -С.17-22.
9. Куликов В. И., Эткин М. Б., Камчыбеков М.П. Сейсмические действия Камбаратинского взрыва, динамические процессы в геосфере // Сборник научных трудов ИДТ РАН. М. ГЕОС. -2013. -Вып 4. -С. 126–137.
10. Меджитова З. А. Временные вариации параметров сейсмических волн от промышленных взрывов. Кн. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек: Илим. -2006. -С.81-87.
11. Омуралиев М. Гармонический анализ параметров сейсмических волн от промышленных взрывов. Кн. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек: Илим. -2006. -С.88- 94.
12. Омуралиева А., Омуралиев М. Кумторские взрывы и изменение состояния среды земной коры и верхней мантии в реальное время //Известия ВУЗов. -2012. -№ 6. -С. 70–77.
13. Омуралиев М., Омуралиева А., Омурбек кызы К. Изменение состояния среды земной коры в реальное время вблизи Кумторских взрывов //Вестник Института сейсмологии Национальной академии наук КР. -2016. -№ 7. -С.76–86. URL: <http://www.journal.seismo.kg/index.php/arkhiv/zhurnal-2016-1-7>.
14. Омурбек кызы Канышай, Омуралиев М. Анализ бюллетеней промышленных взрывов на месторождении «Кумтор», Кыргызстан //Российский сейсмологический журнал. - 2020. -Т2. №3. -С.83-99. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.08>
15. Омурбек кызы Канышай, Омуралиева А., Омуралиев М. Мониторинг сейсмических волн взрывов на месторождении Кумтор за 2019 г. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2020. -№1(15). -С.33-49.
16. Омурбек кызы К., Омуралиев М., Омуралиева А., Абдрахматов К.Е. Изучение ежедневных промышленных взрывов на месторождении «Кумтор» в 2020–2021 гг. //Российский сейсмологический журнал. –2024. –Т.6, №1. –С.29–41. – DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2024.1.02>. – EDN: KHPЕIL
17. Абдрахматов К.Е., Берёзина А.В., Першина Е. В., Мозолева Е. Л. Система сейсмического мониторинга территории Кыргызстана //Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2014. – № 4. – С. 14–21.
18. Берёзина А.В., Соколова Н. П., Першина Е. В., Никитенко Т. В. Распознавание подземных ядерных взрывов и землетрясений для района полигона Лобнор по данным сети KNET //Вестник НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан. -2020. -Выпуск 3. -С.60-64.
19. Торгоев И. Оползневые процессы и риски на территории Кыргызстана. Бишкек: ОсОО Oreta Group. -2023. -548 С.
20. <http://zrv.ivo.unn.ru/pages/vtp/1/1-4-kolebatelnyj-kontur.htm>

Рецензент: чл.-корр. НАН КР, д. г.-м. н., проф. Абдрахматов К.Е.