

УДК 551.324

**К. Омурбек кызы, Омуралиева А., Омуралиев М.**  
*Институт сейсмологии НАН КР,  
г. Бишкек, Кыргызстан*

### **МОНИТОРИНГ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ВЗРЫВОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ КУМТОР ЗА 2019 Г.**

**Аннотация.** Изучены скорости сейсмических продольных и поперечных волн сейсмических волн карьерных взрывов на локальном участке – на Центральном карьере Кумторского месторождения за 2019 г. по точным данным цифровых сейсмических станций, их отношение ( $V_P$ ,  $V_S$ ,  $V_P/V_S$ ), а также их вариации во времени. Отмечены проявления флюидов, частичного плавления, относительно высоких давлений в земной коре на участках Тянь-Шаня, а также то, что в земной коре глубина проникновения сейсмических волн взрывов изменяется во времени. Оценены вероятные величины сейсмического воздействия на массивы горных пород в пределах карьера при последовательности взрывов.

**Ключевые слова:** карьерные взрывы, продольные и поперечные волны, скорость сейсмических волн, цикл вариаций параметров сейсмических волн, иерархия циклов, флюиды, частичное плавление, высокие давление, глубина проникновения лучей сейсмических волн взрывов.

### **КУМТОР КЕНДЕГИ 2019-ЖЫЛДАГЫ ЖАРДЫРУУЛАРДАН УЛАМ ЧЫККАН СЕЙСМИКАЛЫК ТОЛКУНДАРДЫН МОНИТОРИНГИ**

**Кыскача мазмуну.** Санариптик сейсмикалык станциялардын так беримдеринин негизинде 2019-жылдагы Кумтөрдөгү Борбордук карьердеги жардыруулардын (жер титирөөлөрдү алып таштап) сейсмикалык толкундарынын мониторинг иштери жүргүзүлгөн. Сейсмикалык узунунан кеткен жана туурасынан кеткен толкундардын ылдамдыгы, алардын катышы ( $V_P$ ,  $V_S$ ,  $V_P/V_S$ ), алардын убакыт боюнча вариациясы изилденген. Тянь-Шаньдын жер кыртышында флюиддердин, жарым-жартылай эрүүнүн, салыштырмалуу жогорку басымдын көрүнүштөрү, ошондой эле жардыруулардан чыккан сейсмикалык толкундардын кирүү тереңдиги убакыт менен өзгөрүлгөндүгү белгиленген. Карьер чегиндеги тоо кен массивдерге болгон удаа жардырууларда пайда болгон сейсмикалык таасирдин ыктымал чондугу бааланган.

**Негизги сөздөр:** карьердеги жардыруулар, узунунан кеткен жана туурасынан кеткен толкундар, сейсмикалык толкундардын ылдамдыгы, сейсмикалык толкундардын параметрлеринин вариациясынын цикли, циклдердин иерархиясы, флюиддер, жарым-жартылай эрүү, жогорку басым, жардыруулардан чыккан сейсмикалык толкундардын нурларынын кирүү тереңдиги.

### **SEISMIC WAVES' MONITORING FROM EXPLOSIONS AT THE KUMTOR GOLD DEPOSIT IN 2019**

**Abstract.** Velocities of seismic longitudinal and transverse waves from quarry explosions at the local site - at the Central Quarry of the Kumtor gold deposit in 2019 according to the accurate data from digital seismic stations, their ratio ( $V_P$ ,  $V_S$ ,  $V_P/V_S$ ), their variations in time were studied. Manifestations of fluids, partial melting, relatively high pressures in the crust of the Tien Shan are noted, as well as the fact that the penetration depth of seismic waves from explosions vary in time in the crust. Probable values of seismic impact on rock masses within the quarry during a sequence of explosions are estimated.

**Keywords:** quarry explosions, longitudinal and transverse waves, seismic wave velocity, cycle of seismic wave parameters' variations, hierarchy of cycle, fluids, partial melting, high pressure, penetration depth of seismic wave rays from explosions.

## Введение

Уникальное золоторудное месторождение Кумтор расположено на северо-западном склоне хребта Ак-Шыйрак Центрального Тянь-Шаня, поднятый до высоты 5200 м и покрытый ледниками, и многолетними мёрзлыми породами толщиной до 250-400 м (рисунок 1). Здесь золоторудное проявление было обнаружено в 1978 г. сотрудниками Управления геологии Киргизской ССР и до 1992 г. произведены геологоразведочные работы. В рудной зоне, протяжённостью более 12 км, по степени золоторудной минерализации выделяются участки: Центральный, Юго-Западный, Сары-Тор, Северо-Восточный, Акбель, Муздусу и Борду [1]. Данная зона характеризуется наличием нескольких крупных надвиговых зон разломов, простирающихся в северо-восточном направлении и имеющих юго-восточное падение под меняющимися углами. Рудное тело преимущественно состоит из метасоматитов вендского возраста (поздний протерозой или ранний палеозой). Из данной системы зон разломов особо выделяется Кумторский разлом, ограничивающий рудную зону с севера. Мощность зоны этого разлома достигает нескольких сотен метров. По этому разлому известняки и филлиты кембро-ордовикского возраста, надвинуты на красноцветные породы третичного периода, что может свидетельствовать об активности Кумторского разлома.



Рисунок 1. Космоснимок северо-западного склона хр. Ак-Шыйрак и карьеров Кумторского месторождения: Центральный, Сары-Тор, а также ледника Давыдова южнее Центрального карьера.

С 1996 г. компанией «Центerra Голд Инк» преимущественно на Центральном участке ведутся разработки месторождения открытым способом. Взрывы проводятся на карьере, в основном, короткозамедленным способом. Это привело к накоплению большого материала по сейсмическим волнам карьерных взрывов Кумторского месторождения Тянь-Шаня.

Целью данной работы является мониторинг сейсмических волн взрывов Центрального карьера Кумторского месторождения по данным сети близких цифровых сейсмических станций и оценка вероятных величин воздействия сейсмических волн взрывов на горные массивы карьера. Анализ особенностей изменения скорости сейсмических продольных и поперечных волн ( $V_P$ ,  $V_S$ ,  $V_P/V_S$ ) карьерных взрывов в связи с геодинамическими процессами активной области горообразования Тянь-Шаня является актуальным.

### 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, а также станции «Тарагай» (TARG) ЦАИИЗ (Центрально-Азиатского Института прикладных исследований Земли), в Центре обработки данных Института сейсмологии НАН КР (ИС НАН КР) определяются основные параметры сейсмических волн. Параметры продольной волны изучались по записям Z-вертикальной компоненты (канала), а параметры поперечной волны - по записям одной из компонент, которая лучше отражалась в записи. Кроме того, оценивались: 1 - значения rms-среднеквадратическое отклонение времени пробега наблюдаемых и вычисленных (погрешность), 2 - se-стандартное отклонение от времени вступления, 3 - d-класс точности определения эпицентра, 4 - she – 68%-ый доверительный интервал в определении положения эпицентра, 5 - глубины событий по заложенным скоростным моделям (depth) и по методикам, заложенным в программе Huroellipse (hz), 6 - sez- 68 %-ный доверительный интервал в определении глубины и т.д.

По параметрам сейсмических волн дифференцировались (разделялись) Центром обработки данных ИС НАН КР землетрясения и взрывы. В связи с тем, что в нашем распоряжении не было сведений от взрывников и из-за отсутствия локальной сети мониторинга на самом карьере, координаты, время и энергия взрывов определялись с определённой точностью на основе сети сейсмических станций в окружении месторождения «Кумтор». Для проведения исследования выбраны только взрывы в квадрате  $\varphi=41.79^\circ-41.87^\circ$ ,  $\lambda=78.17^\circ-78.28^\circ$  (в пределах основного карьера «Центральный») за январь-ноябрь 2019 г. При этом класс точности определения эпицентра взрывов  $d=1$ , среднеквадратическое отклонение времени пробега  $rms = 0.1$ , стандартное отклонение от времени вступления  $se = 0.1$ , 68%-ный доверительный интервал в определении положения глубины проникновения лучей  $sez=0.3-2.0$

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 (рисунок 2). 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. Значения энергии взрывов находятся в пределах от  $10^4$  до  $10^7$  Дж, что соответствует энергетическим классам  $K = 4.0 - 7.0$  (рисунок 3).

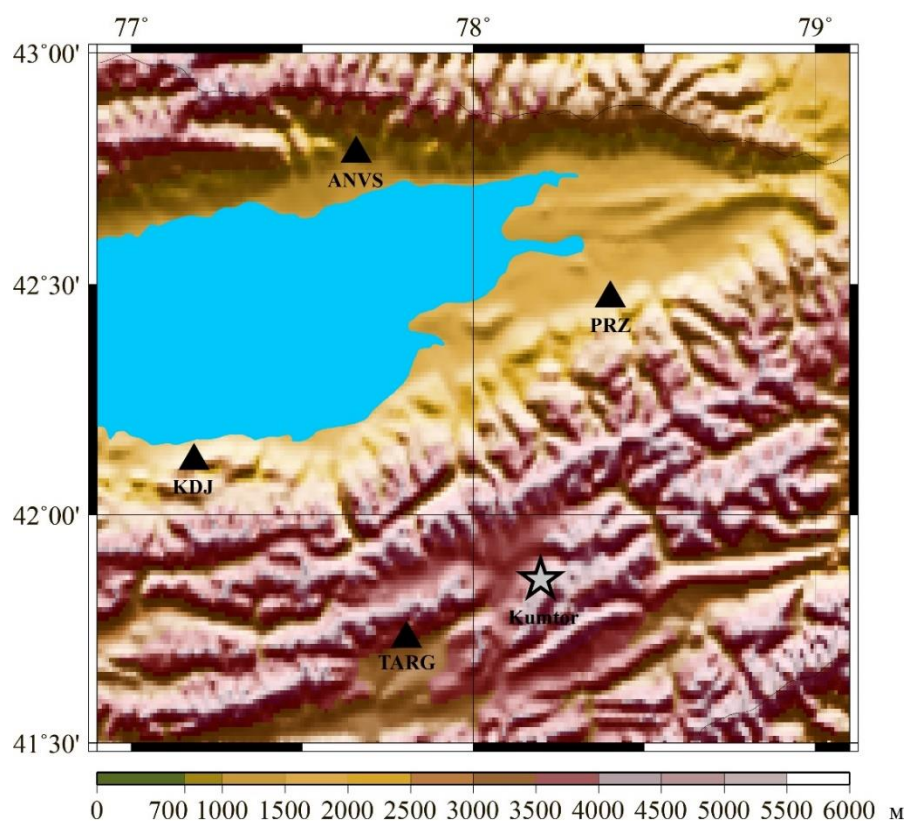


Рисунок 2. Схема расположения цифровых сейсмических станций, обозначенных треугольниками: KDJ - «Каджисай», PRZ - «Пржевальск», ANVS - «Ананьево» сети KRNET (ИС НАН КР) и TARG - «Тарагай» (ЦАИИЗ) и карьера «Центральный» Кумтора (звёздочка).

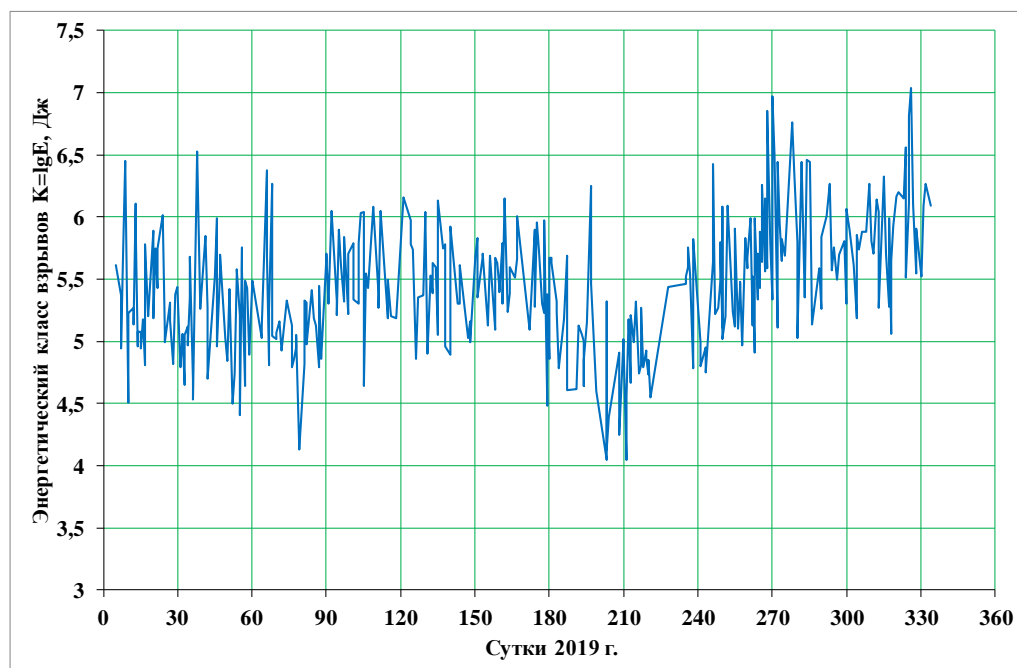


Рисунок 3. Последовательность энергетических классов взрывов в пределах карьера «Центральный» за январь-ноябрь 2019 г.



На рисунке 4 показана суммарная сейсмическая энергия, высвобожденная при взрывах в пределах карьера «Центральный» за январь-ноябрь 2019 г. Величина её в ноябре 2019 г. достигла  $2 \cdot 10^8$  Дж. График кумулятивной сейсмической энергии имел линейный тренд:

$$E_k = (0.0487t - 0.94571), \quad (1)$$

где  $E_k$  - кумулятивная сейсмическая энергия (Дж),  $t$  - сутки 2019 г., коэффициент 0.0487 имеет единицу измерения Дж/с. Как видно из графика с конца июня отмечался резкий подъём кумулятивной сейсмической энергии взрывов.

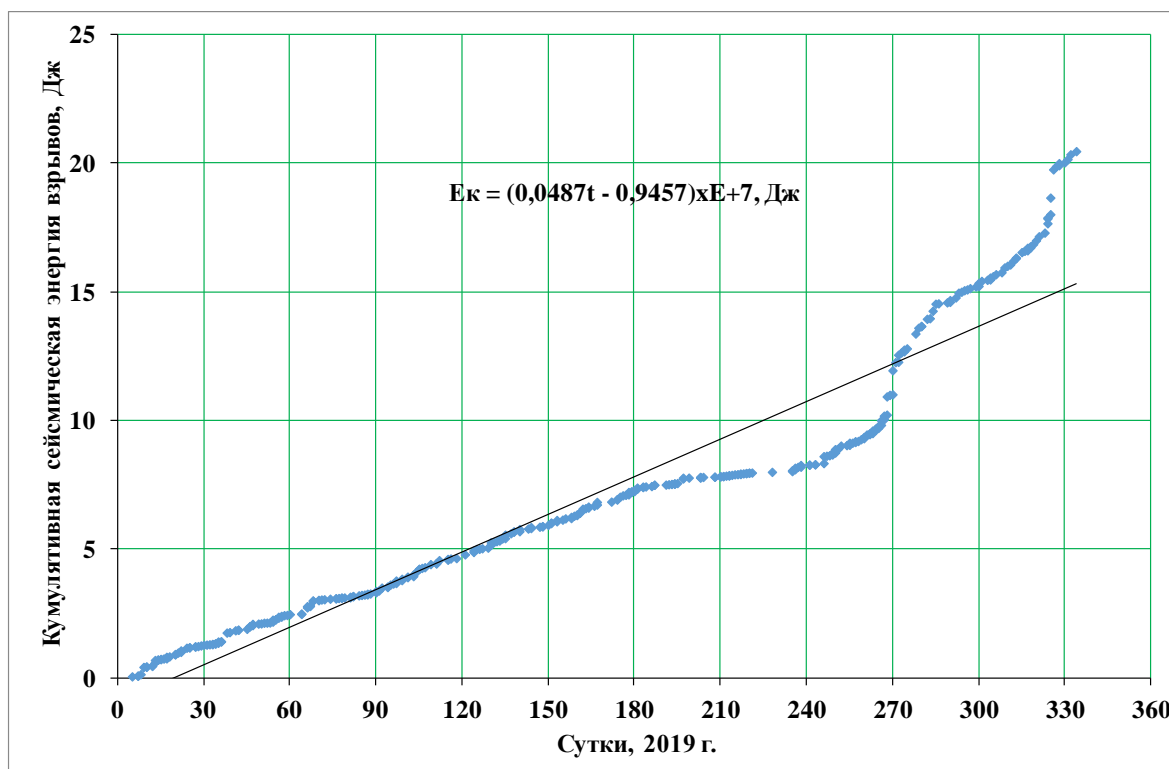


Рисунок 4. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при взрывах в пределах карьера «Центральный» за январь-ноябрь 2019 г.

Для оценки воздействия взрывов на объекты комбината «Кумтор» важно определить величины пикового ускорения сейсмических волн этих взрывов. На основе данных сейсмических энергий и методики Канамори [2] можно определить соотношение сейсмической энергии и моментной магнитуды:

$$M_w = 0.6667 \lg E - 3.166, \quad (2)$$

где  $M_w$  - моментная магнитуда,  $E$  - сейсмическая энергия (в Дж). Используя широко известную в мировой практике формулу [3], [4], определены величины пикового ускорения PGA:

$$\log_{10}[PGA] = 4.185 - 0.112M + (-2.963 + 0.29M) \log_{10}(R_{jb}^2 + 7.593^2)^{1/2} + 0.099S_s + 0.02S_A - 0.034F_N + 0.104F_R \quad (3)$$

где PGA - горизонтальная составляющая сейсмических ускорений в  $\text{см/сек}^2$ ,  $M$  - моментная магнитуда  $M_w + 0.14$  (с неопределённостью 0.14),  $R_{jb}$  - ближайшее расстояние от проекции плоскости разрыва на поверхности (от эпицентра),  $S$  -

коэффициент, учитывающий тип грунта -  $S_A=1$  для скального грунта и  $S_S =1$  для мягкого грунта и F- коэффициент, учитывающий тип разлома  $F_N=0$  для сбросов и  $F_R= 1$  для взбросов.

Последовательность значений пикового ускорения (PGA) взрывов в пределах карьера «Центральный» Кумторского комбината приведена на рисунке 5. Значения PGA изменялись от  $31 \text{ см/с}^2$  до  $61 \text{ см/с}^2$ .

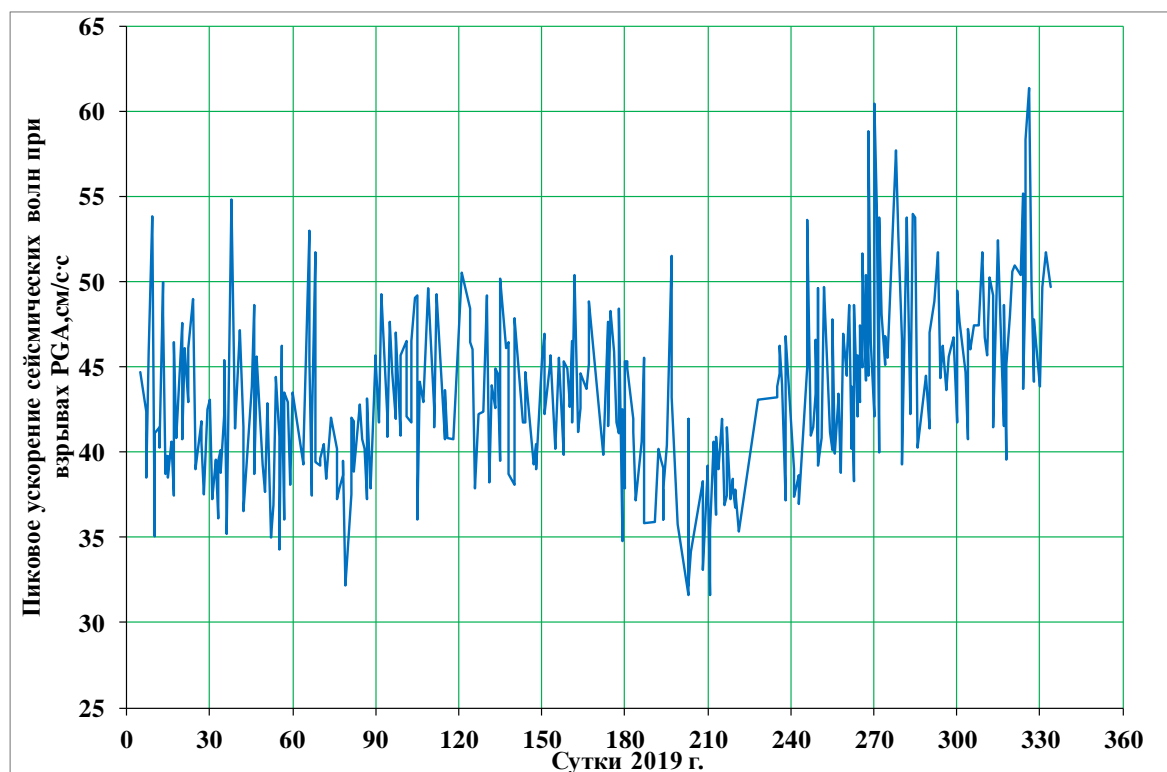


Рисунок 5. Изменение значений пикового ускорения (PGA) взрывов в пределах карьера «Центральный» Кумторского комбината.

На рисунке 6 показано кумулятивное ускорение сейсмических волн взрывов в пределах карьера «Центральный» за январь-ноябрь 2019 г. Величина ускорения в конце ноября 2019 г. достигла  $149.6 \text{ см/с}^2$ . График кумулятивного ускорения имел линейный тренд:

$$\text{КумPGA}=0.4333x - 1.137, \quad (4)$$

где КумPGA- кумулятивное ускорение взрывов ( $\text{см/с}^2$ ), x- сутки 2019 г., коэффициент 0.4333 представляет собой среднюю скорость накопления ускорения.

Можно отметить, что произведение ускорения (PGA,  $\text{см/с}^2$ ) на массу (m) одного кубического метра породы представляет собой параметр сейсмического воздействия - своеобразную силу:

$$F=\text{PGA} \cdot m, \quad (5)$$

где F- сила сейсмического воздействия (в н - ньютон), PGA- пиковое ускорение ( $\text{см/с}^2$ ),  $m=2800 \text{ кг}$  один кубический метр массива пород с  $\rho=2.8 \text{ г/см}^3$ .

Изменение силы сейсмического воздействия взрывов приведено на рисунке 7. Значения силы сейсмического воздействия изменялись от 885 н до 1718 н. В

массивах горных пород, вероятно, происходил процесс своеобразной вибрации, отмечались динамическая консолидация блоков и группирование систем разрывов.

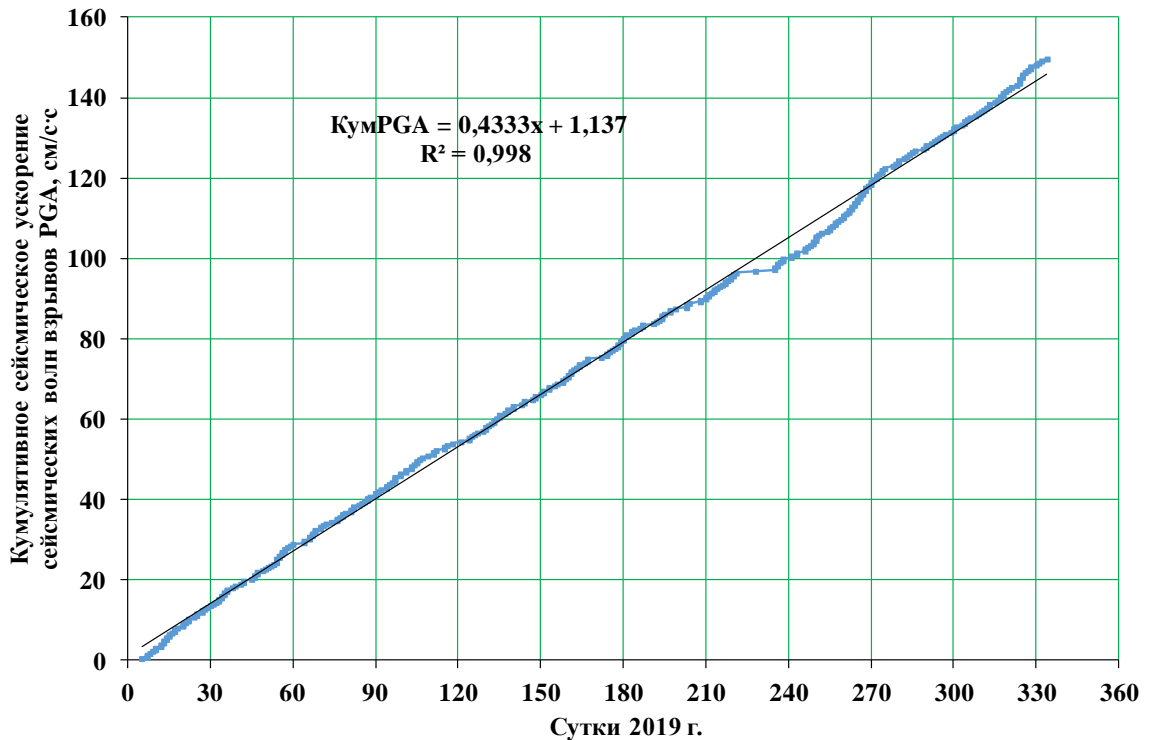


Рисунок 6. Кумулятивное сейсмическое ускорение сейсмических волн взрывов за январь-ноябрь 2019 г.

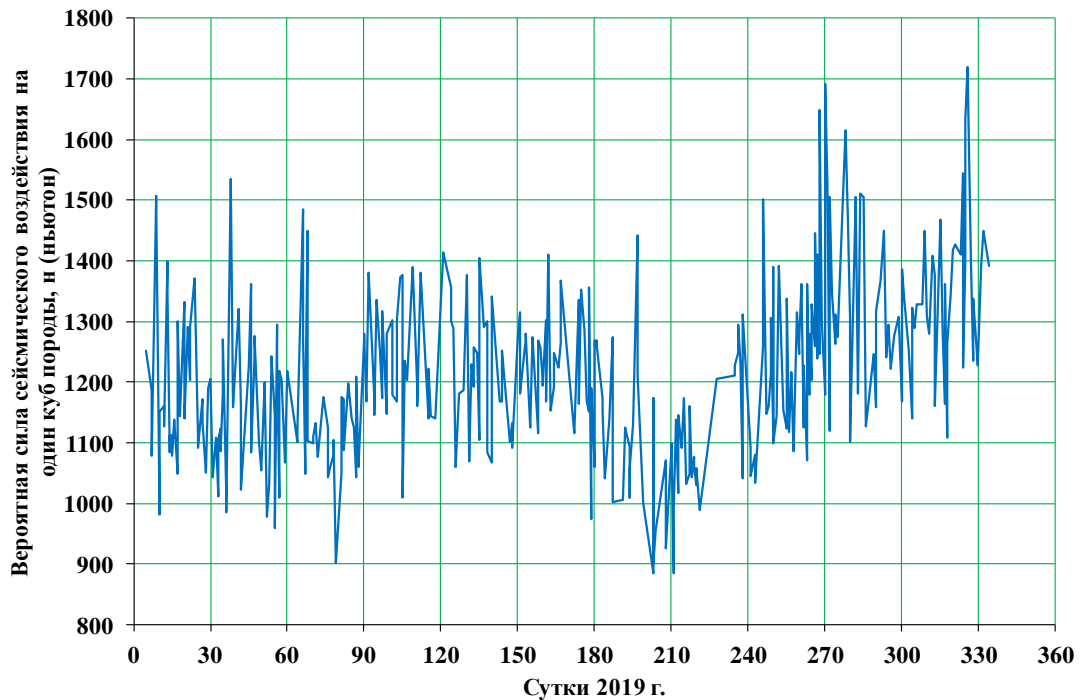


Рисунок 7. Изменение сейсмического воздействия взрывов на массивы горных пород в пределах карьера «Центральный» Кумторского комбината за январь-ноябрь 2019 г.

Следует отметить, что глубина проникновения сейсмических лучей взрывов изменяется во времени. Так, в октябре 2019 г. глубина проникновения лучей (глубина событий по данным ИС НАН КР) находилась в пределах 11-30 км (рисунок 8).

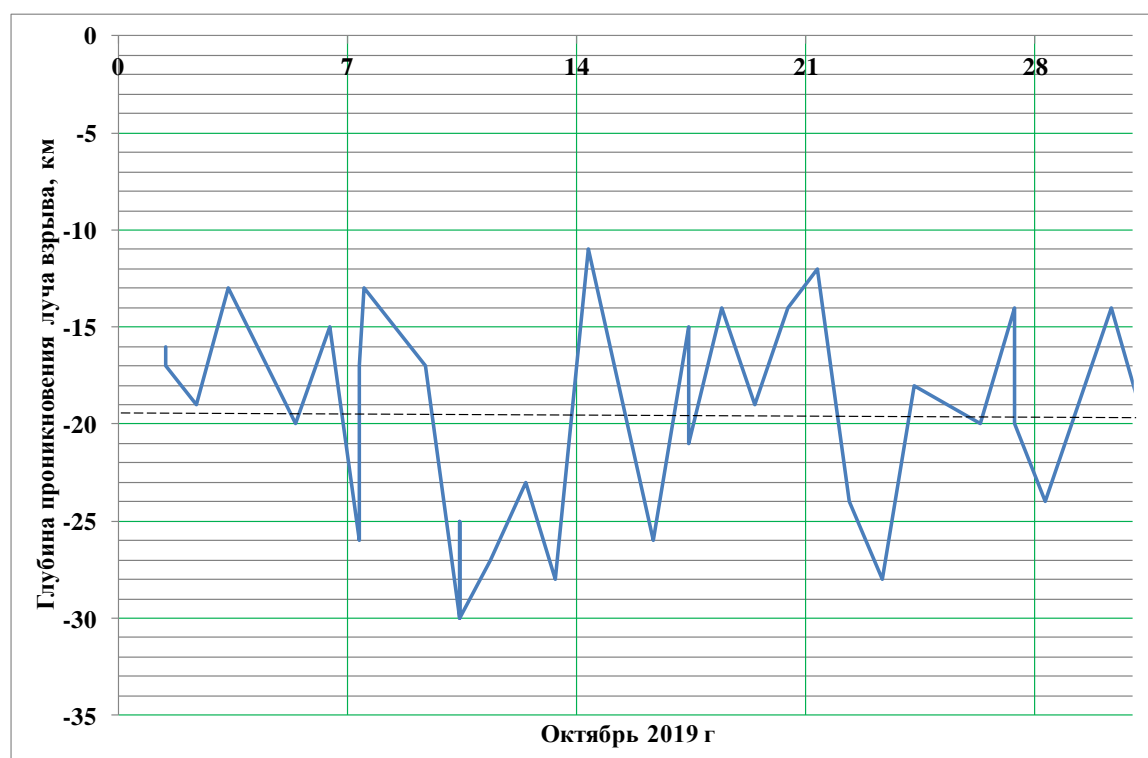


Рисунок 8. Последовательность глубины проникновения сейсмических лучей взрывов в земной коре за октябрь 2019 г.

На рисунке 9 приведена вероятность (в процентах) глубин проникновения лучей взрывов в земной коре. Относительно большую вероятность имеют глубины: 14 км, 20 км – 12.5%; 17 км - 9.3 %; глубины: 15 км, 19 км, 24 км, 26 км, 28 км – 6.2 %.

Очевидно глубины проникновения лучей связаны с динамикой скоростной неоднородности среды. Динамика скоростной неоднородности предопределяет изменение скорости сейсмических волн взрывов. Результаты слежения за скоростью продольных волн  $V_p$  (по записям  $Z$  компоненты) взрывов (около 255) карьера «Центральный» Кумторского месторождения за январь-ноябрь 2019 г. по записям цифровых станций «Тарагай», «Каджи-Сай», «Ананьево», «Пржевальск» на эпицентральной расстоянии до около 120 км на отдельно взятом участке Тянь-Шаня приведены на рисунке 10. Значения  $V_p$  изменялись от 5.6 км/сек до 7.6 км/сек. При этом среднее значение составляло около  $C=6.37$  км/сек и стандартное отклонение  $S=0.37$  км/сек. На графике вариации  $V_p$  отмечается иерархия асимметричных циклов («ритмические составляющие» [5-11]). Сначала определяются циклы, в частности третьего порядка при значении  $V_p \geq 6.5$  км/сек на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации ( $R^2 \geq 0.95$ ). По пикам циклов третьего порядка  $V_p \geq 6.87$  км/сек выделяются циклы второго порядка на основе полиномиального тренда. Далее по пикам циклов второго порядка  $V_p \geq 7.2$  км/сек аналогично предыдущей методике отмечается цикл первого порядка. Длительность периода циклов третьего порядка составляет 4-14 суток, циклов второго порядка – около 52-131 сутки. Пики цикла второго порядка проявились, например, 29.03.2019 г. и 09.08.2019 г.



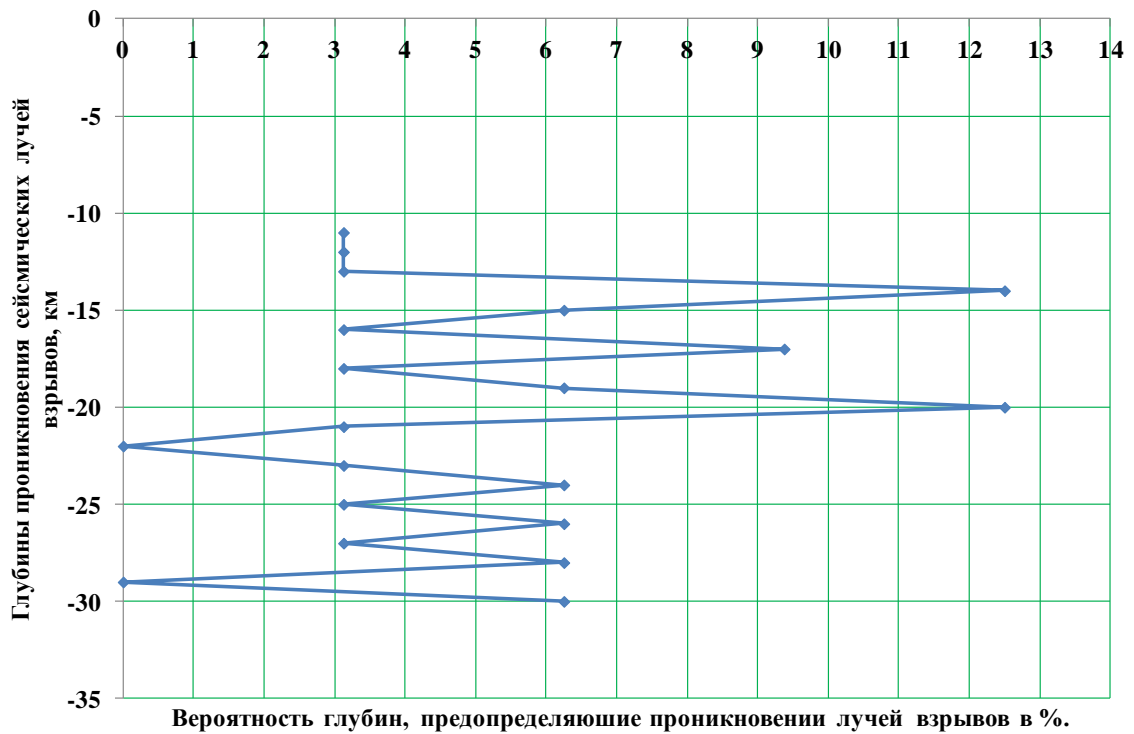


Рисунок 9. Вероятность (в процентах) глубин проникновения лучей взрывов в земной коре за октябрь 2019 г.

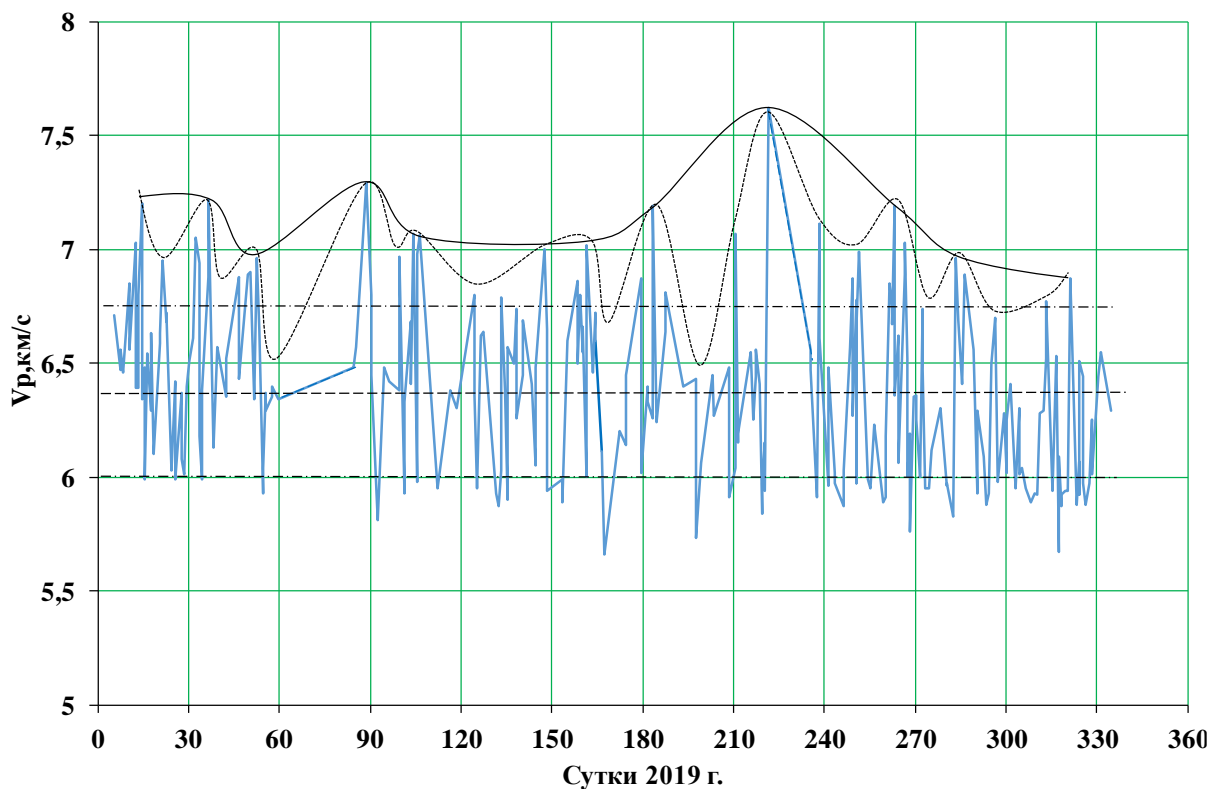


Рисунок 10. Вариация скорости продольных сейсмических волн  $V_p$  взрывов карьера «Центральный» Кумторского месторождения за январь – ноябрь 2019 г. Горизонтальной пунктирной линией обозначено среднее значение - С. Горизонтальными штрихпунктирными линиями обозначены значения (С+S) и (С-S) с учётом стандартного отклонения (S). Точечной кривой

линией обозначен цикл вариации третьего порядка; сплошной кривой линией – цикл вариации второго порядка.

На рисунке 11 приведена вариация скорости поперечной волны  $V_s$  (по чёткой записи одной из компонент) взрывов Центрального карьера Кумторского месторождения на отдельно взятом определённом участке Тянь-Шаня. Значения  $V_s$  изменялись от 3.4 км/сек до 4.3 км/сек. При этом среднее значение составляло около  $C=3.69$  км/сек и стандартное отклонение  $S=0.19$  км/сек. На графике вариации  $V_s$  отмечается иерархия асимметричных циклов. Сначала определяются циклы, в частности третьего порядка при значении  $V_s \geq 3.7$  км/сек на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации ( $R^2 \geq 0.95$ ). По пикам циклов третьего порядка  $V_s \geq 3.9$  км/сек выделяются циклы второго порядка на основе полиномиального тренда. Далее по пикам циклов второго порядка  $V_s \geq 4.1$  км/сек аналогично предыдущей методике отмечается цикл первого порядка. Длительность периода циклов третьего порядка составляет 10-56 суток, циклов второго порядка – 52-153 суток. Пики цикла второго порядка проявились, например, 29.03.2019 г. и 09.08.2019 г.

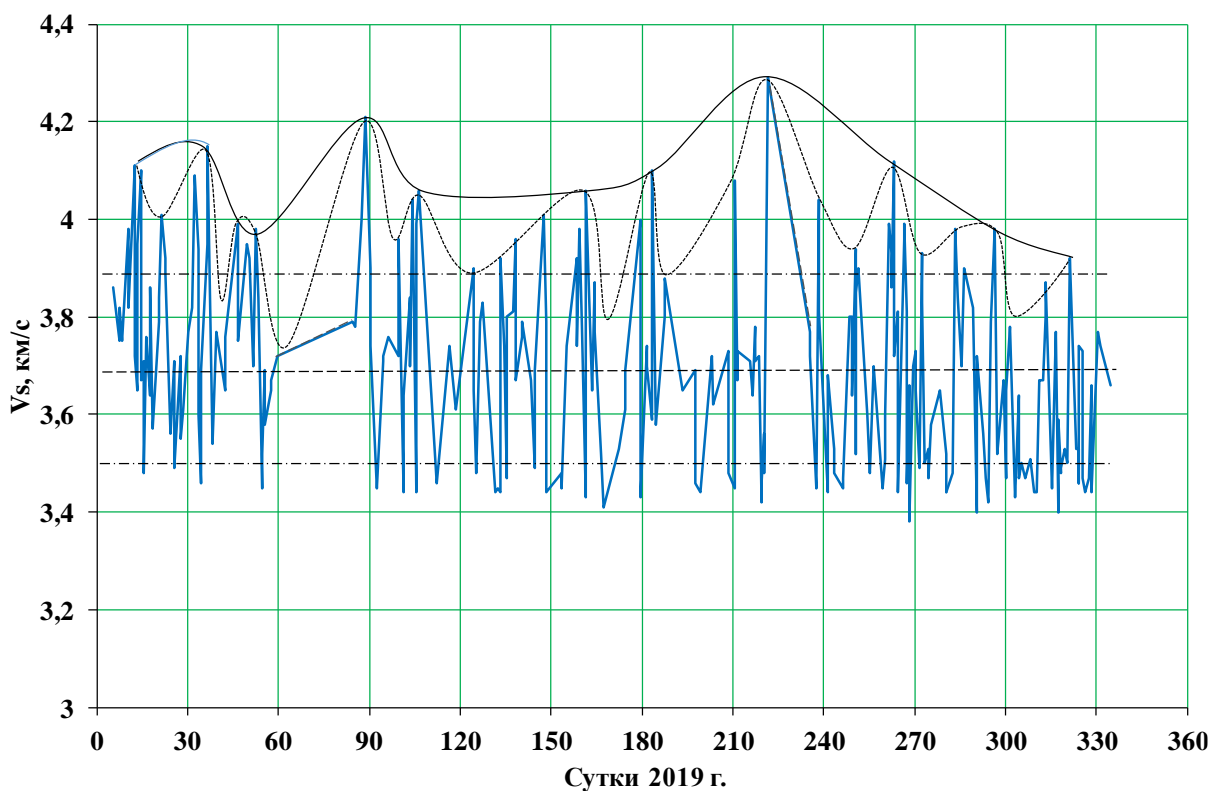


Рисунок 11. Вариация скорости поперечных сейсмических волн  $V_s$  взрывов карьера «Центральный» Кумторского месторождения за январь – ноябрь 2019 г. Горизонтальной пунктирной линией обозначено среднее значение -  $C$ . Горизонтальными штрихпунктирными линиями обозначены значения  $(C+S)$  и  $(C-S)$  с учётом стандартного отклонения ( $S$ ). Точечной кривой линией обозначен цикл вариации третьего порядка; сплошной кривой линией – цикл вариации второго порядка.

Результаты слежения отношения  $V_p/V_s$  скоростей продольных и поперечных волн взрывов (около 255) Центрального карьера Кумторского месторождения за январь– ноябрь 2019 г. на эпицентральной расстоянии до около 120 км приведены на

рисунке 12. Значения  $V_p/V_s$  изменялись от 1.65 до 1.80. При этом среднее значение составляло около  $C=1.72$  и стандартное отклонение  $S=0.02$ . На графике вариации  $V_p/V_s$  отмечается иерархия асимметричных циклов. Сначала определяются циклы, в частности третьего порядка при значении  $V_p \geq 1.75$  на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации. По пикам циклов третьего порядка  $V_p \geq 1.78$  выделяются циклы второго порядка на основе полиномиального тренда ( $R^2 \geq 0.95$ ). Далее по пикам циклов второго порядка  $V_p/V_s \geq 1.84$  аналогично предыдущей методике отмечен цикл первого порядка.

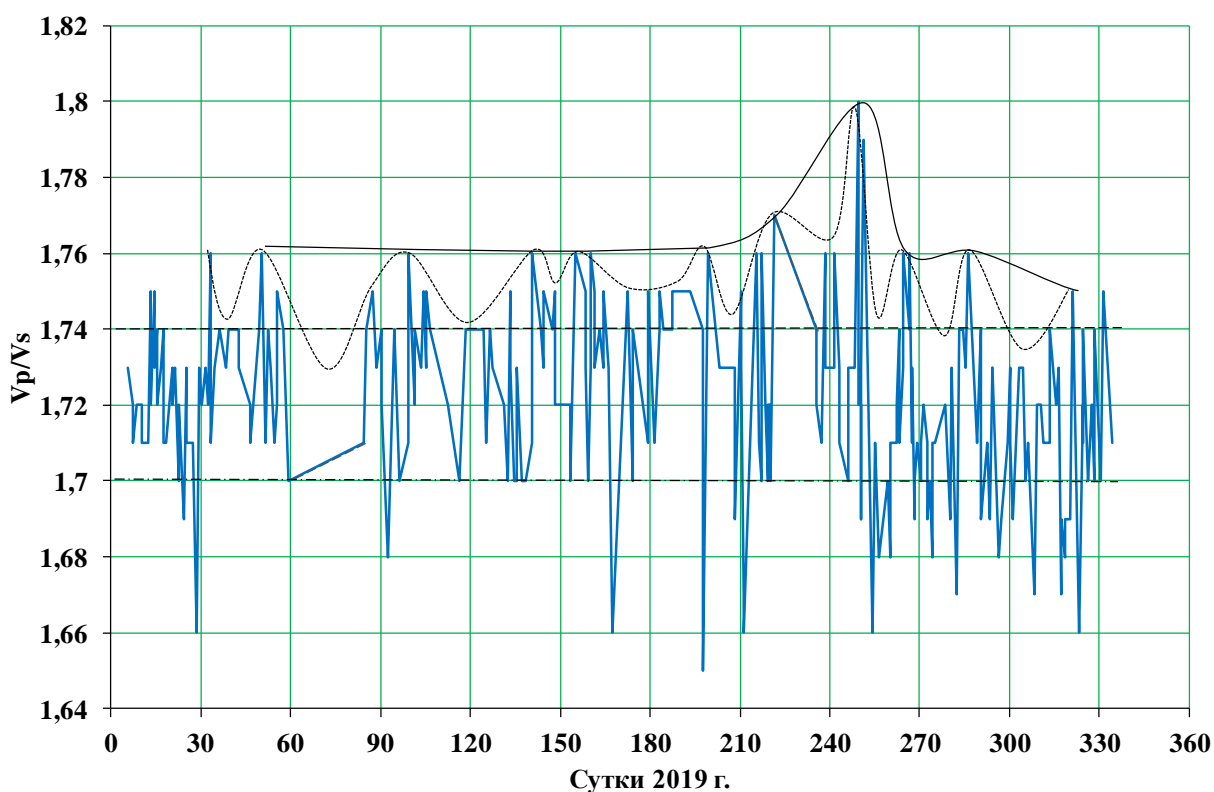


Рисунок 12. Вариация отношения  $V_p/V_s$  скорости продольных и поперечных сейсмических волн взрывов карьера «Центральный» Кумторского месторождения за январь – ноябрь 2019 г. Горизонтальной пунктирной линией обозначено среднее значение –  $C=1.72$ . Горизонтальными штрихпунктирными линиями обозначены значения  $(C+S)$  и  $(C-S)$  с учётом стандартного отклонения ( $S$ ). Точечной кривой линией обозначен цикл вариации третьего порядка; сплошной кривой линией – цикл вариации второго порядка

Соотношение величин  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  земной коры выражает особенности среды земной коры [12-18], а именно, малые значения  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  выражают проявление флюидов, малые значения  $V_p$ ,  $V_s$ , но большое значение  $V_p/V_s$  – частичное плавления, большие значения  $V_p$ ,  $V_s$  – относительно высокие давления. В связи с тем, что глубины проникновения сейсмических лучей взрывов (Центрального карьера) находятся в земной коре можно сказать, что соотношение  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  выражает проявления флюидов, частичного плавления, высоких давлений и др. явлений в изучаемом участке земной коры Тянь-Шаня.

На рисунке 13 показано соотношение достоверных величин  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  взрывов Центрального карьера Кумторском месторождения за январь – ноябрь 2019 г. При этом

на этом графике проявления флюидов попадают в верхнюю часть первого квадранта, проявления частичного плавления - в нижнюю часть первого квадранта. Сейсмические волны, характеризующие проявления в среде высоких давлений, попадают в основном в третий квадрант.

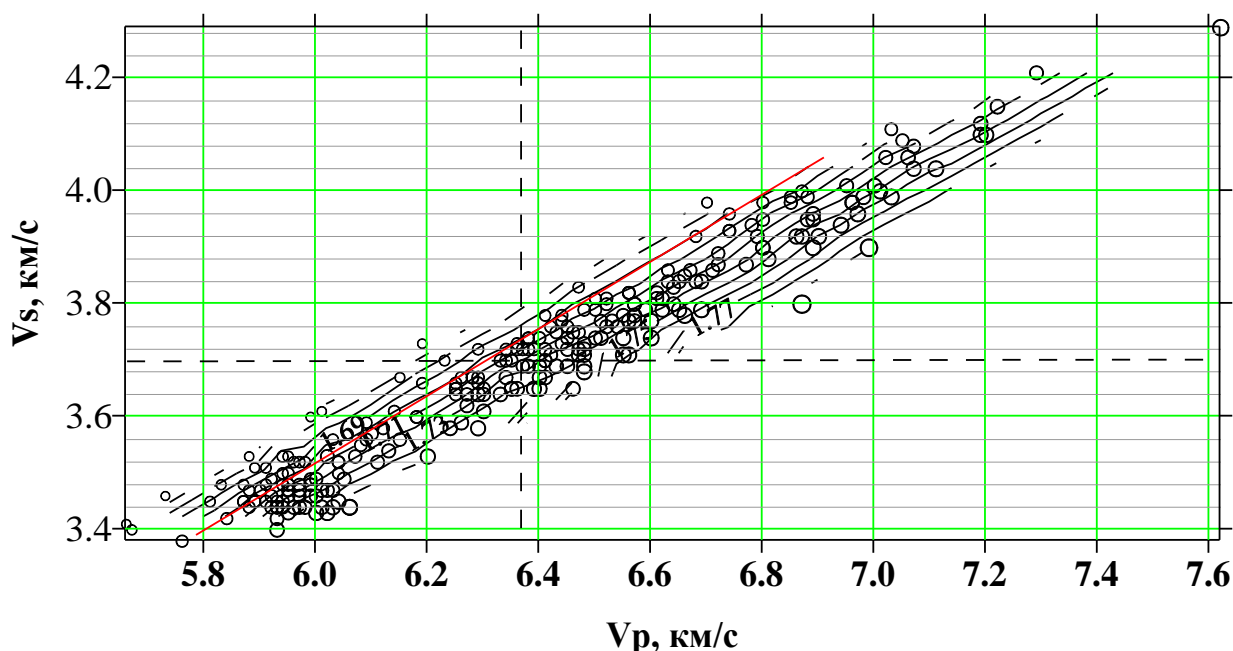


Рисунок 13. Соотношение между  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  взрывов в квадрате  $\varphi=41.79^\circ-41.87^\circ$ ,  $\lambda=78.17^\circ-78.28^\circ$  Центрального карьера Кумторского месторождения. Кружочками обозначены наблюдаемые значения  $V_p/V_s$ . Значение  $V_p/V_s = 1.72$  выделено диагональной красной линией. Выше этой линии выделяются параллельные линии, где кружочки имеют малые значения  $V_p/V_s < 1.72$ , а ниже данной линии отмечаются параллельные линии, где кружочки имеют большие значения  $V_p/V_s > 1.72$

В таблице 1 приведены примеры вероятного проявления флюидов на участке земной коры Тянь-Шаня в окружении Кумторского месторождения по данным записей трёх, четырёх цифровых станций сейсмических волн взрывов Центрального карьера.

Таблица 1. Примеры вероятного проявления флюидов на основе определения  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  земной коры с минимальной ошибкой (достоверность аппроксимации годографов  $R^2 \geq 0.95$ ).

Год	Месяц	Число	Час	Минута	Секунда	$V_p$ , м/с	$V_s$ , м/с	$V_p/V_s$
2019	1	24	8	13	14.46	6.03	3.56	1.69
2019	4	2	8	4	47.31	5.81	3.45	1.68
2019	6	16	8	6	31.59	5.66	3.41	1.66
2019	7	16	10	44	27.88	5.73	3.46	1.65
2019	7	27	8	3	21.53	5.91	3.48	1.69
2019	9	7	10	15	47.25	5.97	3.52	1.69
2019	9	17	10	1	55.16	5.91	3.51	1.68
2019	10	1	10	9	44.36	5.95	3.53	1.68
2019	10	7	8	9	31.62	5.96	3.52	1.69
2019	10	9	8	57	30.07	5.83	3.48	1.67

2019	10	20	10	33	40.93	5.88	3.47	1.69
2019	10	24	7	58	3.32	5.98	3.52	1.69
2019	11	4	8	50	42.73	5.89	3.51	1.67
2019	11	13	10	33	59.32	5.67	3.4	1.67
2019	11	13	10	34	33.91	6.09	3.59	1.69
2019	11	14	10	1	4.93	5.87	3.48	1.68
2019	11	14	10	1	55.21	5.92	3.49	1.69
2019	11	15	10	4	51.23	5.94	3.53	1.69
2019	11	16	8	2	39.29	5.94	3.5	1.69
2019	11	19	8	4	51.96	5.88	3.53	1.66

Как видно из таблицы 1, время повторения проявления флюидов достигает 2.46 месяцев при среднем его значении 0.62 месяцев.

В таблице 2 приведены примеры вероятного проявления частичного плавления на основе критерия [12] на участке земной коры Тянь-Шаня в окружении Кумторского месторождения по данным записей трёх, четырёх цифровых станций сейсмических волн взрывов Центрального карьера.

Таблица 2. Примеры вероятного проявления частичного плавления в земной коре на основе определения  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  с минимальной ошибкой (достоверность аппроксимации годографов  $R^2 \geq 0.95$ ).

Год	Месяц	Число	Час	Минута	Секунда	$V_p$ , м/с	$V_s$ , м/с	$V_p/V_s$
2019	2	24	10	2	38.22	6.29	3.58	1.75
2019	5	13	9	41	2.87	6.03	3.44	1.75
2019	6	10	10	2	39.83	6.00	3.43	1.75
2019	6	21	8	50	6.96	6.20	3.53	1.75
2019	6	28	11	22	17.48	6.02	3.43	1.75
2019	7	2	8	26	45.96	6.26	3.59	1.74
2019	7	3	8	0	54.08	6.24	3.58	1.74
2019	7	18	8	7	45.05	6.06	3.44	1.76
2019	7	29	10	15	34.36	6.04	3.45	1.75
2019	9	21	10	36	39.96	6.06	3.44	1.76
2019	10	17	10	11	41.46	5.93	3.4	1.74
2019	11	24	11	13	16.53	6.01	3.44	1.74

Как видно из таблицы 2, время повторения проявления частичного плавления достигает 2.63 месяцев при среднем его значении 0.82 месяцев.

В таблице 3 приведены примеры вероятного проявления высоких давлений на основе критерия [12] на участке Тянь-Шаня в окружении Кумторского месторождения по данным записей трёх, четырёх цифровых станций сейсмических волн взрывов Центрального карьера с указанием глубины проникновения сейсмических лучей.



Таблица 3. Примеры вероятного проявления высоких давлений на основе определения  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  с минимальной ошибкой (достоверность аппроксимации годографов  $R^2 \geq 0.95$ ).

Год	Месяц	Число	Час	Минута	Секунда	$V_p$ , м/с	$V_s$ , м/с	$V_p/V_s$
2019	1	5	10	3	30.79	6.71	3.86	1.73
2019	1	14	10	1	54.01	7.20	4.1	1.75
2019	1	15	10	23	31.53	6.48	3.71	1.74
2019	2	2	7	58	20.41	6.94	3.94	1.76
2019	2	5	10	0	12.44	6.88	3.95	1.74
2019	2	5	10	0	23.82	7.22	4.15	1.74
2019	2	8	8	10	53.58	6.57	3.77	1.74
2019	2	18	8	3	1.84	6.89	3.95	1.74
2019	2	19	10	24	34.47	6.90	3.92	1.76
2019	2	21	10	5	15.78	6.96	3.98	1.74
2019	3	26	8	12	39.21	6.57	3.78	1.74
2019	3	28	3	51	19.39	7.01	4	1.75
2019	3	31	8	19	26.22	6.80	3.9	1.74
2019	4	4	10	0	52.67	6.47	3.71	1.74
2019	4	4	10	1	33.14	6.48	3.72	1.74
2019	4	9	10	32	9.94	6.97	3.96	1.76
2019	4	14	8	6	41.91	7.07	4.04	1.75
2019	4	15	8	3	35.97	6.98	3.99	1.75
2019	4	16	10	44	50.66	7.06	4.06	1.74
2019	5	4	8	9	30.83	6.80	3.9	1.74
2019	5	6	10	7	31.06	6.62	3.79	1.74
2019	5	20	10	4	35.14	6.69	3.79	1.76
2019	5	27	8	6	16.21	7.00	4.01	1.74
2019	5	28	8	3	53.35	6.65	3.79	1.75
2019	6	4	6	2	22.86	6.60	3.74	1.76
2019	6	7	8	8	1.28	6.86	3.92	1.75
2019	6	9	8	5	52.79	6.66	3.78	1.76
2019	6	13	8	8	28.94	6.60	3.77	1.75
2019	7	2	8	27	31.1	7.19	4.1	1.75
2019	7	6	10	1	4.94	6.64	3.8	1.74
2019	7	6	10	2	5.65	6.81	3.88	1.75
2019	8	3	10	35	19.85	6.55	3.71	1.76
2019	8	5	8	10	16.42	6.56	3.71	1.76
2019	8	9	11	40	38.88	7.62	4.29	1.77
2019	8	23	10	5	18.63	6.56	3.77	1.74
2019	8	26	10	2	51.45	7.11	4.04	1.76
2019	9	6	10	10	9.05	6.87	3.8	1.8
2019	9	8	8	5	50.44	6.99	3.9	1.79
2019	9	20	8	13	53.56	7.19	4.12	1.74
2019	9	23	10	31	40.8	6.89	3.96	1.74
2019	9	23	10	32	13.79	7.03	3.99	1.76

2019	10	10	10	6	9.59	6.96	3.98	1.74
2019	10	11	8	43	4.96	6.69	3.84	1.74
2019	10	13	7	59	6.1	6.89	3.9	1.76
2019	11	9	10	33	46.93	6.77	3.87	1.74
2019	11	17	8	0	34.42	6.87	3.92	1.75
2019	11	20	8	52	47.32	6.51	3.74	1.74
2019	11	27	10	37	52.35	6.55	3.74	1.75

Время повторения проявления высоких давлений в земной коре достигает 32,9 сутки при среднем его значении 7.3 сутки.

### Заключение

1. Для проведения исследования нами были выбраны только взрывы (землетрясения были исключены) в квадрате  $\varphi=41.79^{\circ}-41.87^{\circ}$ ,  $\lambda=78.17^{\circ}-78.28^{\circ}$  - в пределах Центрального карьера за январь – ноябрь 2019 г. При этом класс точности определения эпицентра взрывов  $d=1$ , среднеквадратическое отклонение времени пробега  $rms=0.1$ , стандартное отклонение от времени вступления  $se=0.1$ , 68%-ный доверительный интервал в определении положения глубины проникновения лучей  $sez=0.3-2.0$ . Значения энергии взрывов находятся в пределах от  $10^4$  до  $10^7$  Дж. В непосредственном окружении месторождения Кумтор расположены 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 и метаморфическими породами. Скоростные модели участков земной коры в окружении рассматриваемых станций близки. Глубины проникновения лучей взрывов находились в пределах 11-30 км и изменялись, очевидно в связи с динамикой скоростной неоднородности среды. Значения PGA взрывов изменялись от  $31 \text{ см/с}^2$  до  $61 \text{ см/с}^2$ . При этом величины силы сейсмического воздействия взрывов на массивы горных пород в пределах карьера изменялись от 885мн до 1718 н, на участке земной коры проявилась своеобразная вибрация, в иерархии блоков происходили динамическая сегментация и секторизация.
2. На графику вариации скорости продольных волн  $V_p$  выделяется иерархия нелинейных асимметричных циклов – «ритмические составляющие». Циклы, например, третьего порядка, определяются при значении  $V_p \geq 6.5 \text{ км/сек}$  на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации ( $R^2 \geq 0.95$ ). По пикам циклов третьего порядка  $V_p \geq 6.87 \text{ км/сек}$  выделяются циклы второго порядка. По пикам циклов второго порядка  $V_p \geq 7.2 \text{ км/сек}$  отмечается асимметричный цикл первого порядка. Длительность периода циклов третьего порядка составляет 4-14 сутки, циклов второго порядка – около 52-131 сутки.
3. На графике вариации скорости поперечных волн  $V_s$  отмечается иерархия асимметричных циклов. Циклы, например, третьего порядка, определяются при значении  $V_s \geq 3.7 \text{ км/сек}$  на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации ( $R^2 \geq 0.95$ ). По пикам циклов третьего порядка  $V_s \geq 3.9 \text{ км/сек}$  выделяются циклы второго порядка. По пикам циклов третьего порядка  $V_s \geq 4.1 \text{ км/сек}$  отмечается цикл второго порядка. Длительность периода циклов третьего порядка составляет 10-56 сутки, циклов второго порядка – около 52-153 сутки.

4. На графике вариации  $V_p/V_s$  наблюдается иерархия асимметричных циклов. Циклы, например, третьего порядка, определяются при значении  $V_p \geq 1.75$  на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации. По пикам циклов третьего порядка  $V_p \geq 1.78$  выделяются циклы второго порядка. По пикам циклов второго порядка  $V_p/V_s \geq 1.84$  намечен цикл первого порядка. Длительность периода циклов третьего порядка составляет 14.8-49.0 сутки.
5. Установлено, что параметры  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  земной коры выражают проявления флюидов, частичного плавления, высоких давлений и других явлений в изучаемой участке Тянь-Шаня – месторождении «Кумтор». Эти проявления повторяются через определённые промежутки времени. Среднее время повторения проявления флюидов составляет 0.62 месяцев, время повторения проявления частичного плавления – 0.82 месяцев, а время повторения проявления высоких давлений – 7.3 сутки.

### Литература

1. Технический отчёт NI 43-101 – 20 марта 2015 г., Компания «Центerra Голд Инк.» – Рудник «Кумтор».
2. Kanamori H. The energy release in great earthquakes. *J.Geophys.Res.* 1977, 82, 2981-7.
3. Akkar S, and Bommer J., Prediction of elastic displacement response spectra in Europe and the Middle East. // *Earthquake Engin. Struct. Dyn.* 2007, 11236: p.1275–1301.
4. Akkar S., Bommer J.J., Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV, and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East. // *Seismol. Res. Lett.*, 2010, 81: p.195- 206.
5. Адушкин В.В., Ан В.А., Каазик П.Б., Овчинников В.М. О динамических процессах во внутренних геосферах Земли по временам пробега сейсмических волн // Доклады РАН. – 2001. – Т. 381, № 6. – С. 822–824.
6. 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.
7. Гамбурцева Н.Г. Временная изменчивость скоростных свойств среды по данным Семипалатинских ядерных взрывов. // *Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью.* – Бишкек: Илим, 2006. – С. 94–104.
8. Меджитова З.А. Временные вариации параметров сейсмических волн от промышленных взрывов. // *Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью.* – Бишкек: Илим, 2006. – С. 81–87.
9. Омуралиев М. Гармонический анализ параметров сейсмических волн от промышленных взрывов. // *Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью.* – Бишкек: Илим, 2006. – С. 88–94.
10. 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.
11. 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>.
12. Nakajima J., Matsuzawa T., Hasegawa A., Zhao D. Three-dimensional structure of  $V_p$ ,  $V_s$  and  $V_p/V_s$  beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids. // *J. Geophys. Res.* – 2001. – V. 106. – P. 21843–21857.

13. Омуралиев М. О роли термо-акустического и массопереноса-акустического эффектов в геологических процессах литосферы. // Известия Академии наук Киргизской ССР. – 1987. – № 5. – С. 11–14.
14. Omuraliev M., Omuraleva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan Kyrgyzstan, Central Asia. – Bishkek: Ilim, 2004. – 166 p.
15. Абдрахматов К. Е., Омуралиев М., Омуралиева А. Распределение флюидов, температуры в зонах Центрального Тянь-Шаня и подготовка сильных землетрясений. – Бишкек: Триада принт, 2015. – 206 с.
16. Омуралиева А. Омуралиев М. Вероятные участки проявления флюидов и частичного плавления в земной коре Центральной части Тянь-Шаня по данным сетей «GHENGIS» и «KNET». // Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Материалы V Международного симпозиума. – Бишкек, 2011. – С. 73–76.
17. Омуралиев М., Омуралиева А. Явление скачкообразного изменения строения литосферы во время и после крупномасштабного взрыва. – Кыргызпатент, 2011. – № 1616.
18. Yoshida, Kenta & Orozbaev, Rustam & Hirajima, Takao & Miyake, Akira & Tsuchiyama, Akira & Bakirov, Apas & Takasu, Akira & Sakiev, Kadyrbek. Micro-excavation and direct chemical analysis of individual fluid inclusion by cryo-FIB-SEM-EDS: Application to the UHP talc-garnet-chloritoid schist from the Makbal Metamorphic Complex, Kyrgyz Tian-Shan. *Geochemical Journal*. 2018. 52. 59-67. 10.2343/geochemj.2.0502.

*Рецензент: д.ф.-м. наук Погребной В.Н.*