

СЕЙСМОЛОГИЯ SEISMOLOGY

УДК 550.34

Омурбек кызы К.,
Младший научный сотрудник
Омурбек кызы К.,
Кенже илимий кызматкер
Омурбек кызы К.,
Junior researcher

Омуралиев М.,
Кандидат геолого-минералогических наук
Омуралиев М.,
Геология-минералогия илимдеринин кандидаты
Omuraliev M.,
Candidate of geological and mineralogical sciences

Омуралиева А.,
Кандидат геолого-минералогических наук
Омуралиева А.,
Геология-минералогия илимдеринин кандидаты
Omuralieva A.,
Candidate of geological and mineralogical sciences

Институт сейсмологии НАН КР
Сейсмология институту УИА КР
Institute of Seismology NAS KR

**МИКРОТОЛЧКИ - АКУСТИЧЕСКИЕ ЭМИССИИ В РАЙОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
«КУМТОР» ПО ДАННЫМ ЦИФРОВОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «ТАРАГАЙ»
ЗА 2015-2022 ГГ.**

**2015-2022-ЖЫЛДАРДАГЫ «ТАРАГАЙ» САНАРИПТИК СЕЙСМИКАЛЫК
СТАНЦИЯСЫНЫН МААЛЫМАТЫ БОЮНЧА «КУМТОР» АЛТЫН КЕНИНИН
АЙМАГЫНДАГЫ МИКРО-СИЛКИНУҮЛӨР - АКУСТИКАЛЫК ЭМИССИЯЛАР**

**MICROSHOCKS – ACOUSTIC EMISSIONS IN THE AREA OF THE KUMTOR GOLD
DEPOSIT ACCORDING TO THE DATA FROM DIGITAL SEISMIC STATION “TARAGAY”
FOR 2015-2022**

Аннотация. В работе даны результаты изучения микротолчков в районе золоторудного месторождения Кумтор по данным цифровой сейсмической станции «Тарагай» (TARG). В последовательности проявления микротолчков за 2015-2022 гг. отмечена иерархия циклов. Имеющиеся данные позволяют предположить, что источником микротолчков перед главным толчком землетрясения является межаномальная область - барьер между динамическими сегментами активного разлома. Относительно

большие частоты микротолчков проявляются в июле - августе и январе месяцах. Это, вероятно, обусловлено таянием и структуризацией ледников и снежников в летнее время, и полным накоплением их зимой.

Ключевые слова: микротолчок, золоторудное месторождение, землетрясение, период повторения, динамика, сейсмический цикл.

Аннотация. Макалада Тарагай (TARG) санариптик сейсмикалык станциясынын маалыматтарынын негизинде Кумтөр алтын кенинин аймагындагы микро-силкинүүлөрдү изилдөөнүн жыйынтыктары берилген. 2015-2022-жылдардагы микро-силкинүүлөрдүн ырааттуулугунда циклдердин иерархиясы белгиленген. Активдүү жараканын динамикалык сегменттеринин ортосундагы тоскоолдук (барьер) б.а. аномалиялар аралык аймак жер титирөөнүн башкы силкинүүсүнүн алдында микро-силкинүүлөрдүн пайда кылуучу булак катары болжолдоого болот. Микро-силкинүүлөрдүн салыштырмалуу жогорку жыштыгы июль-август жана январь айларында байкалат. Бул жайында мөңгүлөрдүн жана карлуу талаалардын эришине, структуралаштырууга жана кышында алардын толук топтолушуна байланыштуу болушу ыктымал.

Негизги сөздөр: микро-силкинүү, алтын кен, жер титирөө, кайталануу мезгил, динамика, сейсмикалык цикл.

Abstract. Study results on microshocks in the area of the Kumtor gold deposit based on data from the Taragay (TARG) digital seismic station are presented in the paper. Hierarchy of cycles is noted in the sequence of microshocks manifestations in 2015-2022. Available data let us assume that the source of microshocks right before the earthquake's main shock is the inter-anomaly area - the barrier between the dynamic segments of active fault. Relatively high frequencies of microshocks occur in July - August and January. This is probably due to the melting and structuring of glaciers and snowfields in summer time and their complete accumulation in winter.

Keywords: microshock, gold deposit, earthquake, recurrence period, dynamics, seismic cycle.

Изучение микротолчков – акустических эмиссий сейсмоактивных районов является актуальной проблемой сейсмологии для решения задач сейсмотектоники, состояния среды, развития трещин, разломов, контроля процесса очага землетрясения, оценки прогноза и сейсмической опасности.

Как известно [1] быстропротекающие геофизические процессы: пластическая деформация, разрушение образования и распространения трещин, движение дислокаций, фазовые превращения и т.д. сопровождаются излучением акустических волн.

В настоящее время накопленные экспериментальные данные, по изучению явления образования разрывов в нагру-

женных материалах, косвенно отражают процессы в зоне разлома литосфере, в том числе земной коры. Интересны результаты изучения изменения частоты возникновения упругих ударов, сопровождающих появления микротрещин (акустическая эмиссия) перед образованием основного разрыва в различных хрупких материалах (например, в горных породах, таких как гранит, пемза и др. рисунок 1), характеризующихся разной степенью структурной неоднородности при повышении напряжений [2]. А именно, отмечено, что в неоднородных материалах имеются много слабых мест. Локальные деформации и трещины образуются в этих местах в начале повышения напряжения и увеличиваются по

мере возрастания уровня напряжений. Процесс образования трещин ускоряется перед проявлением основного разрыва, и когда локальные трещины сливаются вместе, магистральный разрыв распространяется на всю область. Размеры предшествующих разрушению деформа-

ций и микротрещин зависят от степени неоднородности среды или от степени концентрации напряжения. В горных породах, например, в гранитах, трещины проявляются в основном в зёрнах кварца, а в гранодиоритах – в межзерновых границах зёрен минералов [3].

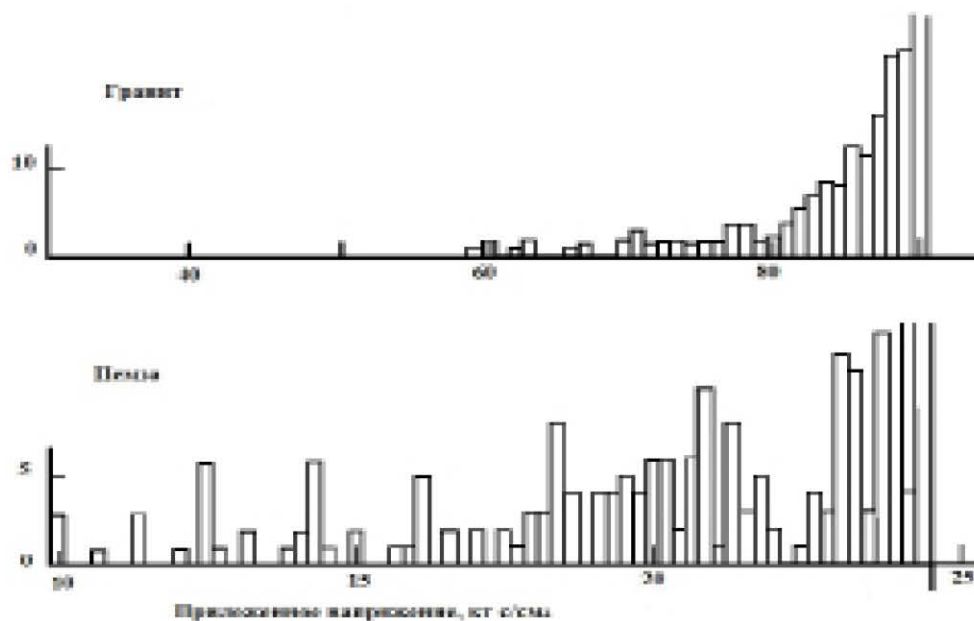


Рисунок 1. Изменения частоты возникновения микротолчков – акустических эмиссий, сопровождающих появление микротрещин в различных материалах (пород: гранит, пемза), характеризующихся разной степенью структурной неоднородности, при повышении напряжения [2].

С помощью комплекса методов, обладающих высокой разрешающей способностью (малоугловая рентгеновская дифракция, сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия и т.д.), достоверно установлено, что в материалах (в частности в металлах), испытываемых в режиме ползучести, наряду с минимальными разрывами, идентифицируемыми как «зародышевые», одновременно возникают гораздо более крупные [4, 5]. Изучение функций $f(L)$ плотности распределения разрывов по длине L – в образце однородного мелкозернистого никеля, в условиях одноосного сжатия [5] и в образце роторной стали со структурой отпущенного бейнита в условиях консольного изгиба [6] показало общую закономерность. А именно, в би-

логарифмических координатах графики $f(L)$ в обоих случаях составляет около 3. Плотность распределения разрывов по длине в первом приближении обратно пропорциональна кубу длины $f(L) \sim L^{-3}$. Эта закономерность приближённо выполняется и для таких горных пород, как гранит [7, 8]. На всеобщий характер этой закономерности указывает так называемый концентрационный критерий (K) объёмного разрушения твёрдых тел [9, 10]:

$$K = N^{-1/3} \cdot L^{-1} \approx 3. \quad (1)$$

Он установлен по результатам исследований самых разнообразных материалов и выполняется не только для «зародышевых» разрывов, но и для всех остальных разрывов, образующихся в

материале [7, 8, 10]. Размеры «зародышевых» разрывов L_{\min} зависят от структурных особенностей материала. Например, для капрона длина L_{\min} таких разрывов составляет около $(1+2) \cdot 10^{-6}$ см [7, 8], для поликристаллических металлов (Al, Ni, Zn, Ag, Cu) $(1+2) \cdot 10^{-5}$ см [4], для металлических монокристаллов $(1+2) \cdot 10^{-4}$ см [5] и т.д. В случае горных пород, характеризующихся высокой структурной гетерогенностью, длина «зародышевых» разрывов может быть значительно большей. Она по данным [7], в частности для гранитов, составляет около $(1+2) \cdot 10^{-2}$ см. Соответственно, для плотности распределения длины разрывов $f(L)$ можно записать:

$$f(L)=0 \text{ при } L_{\min} \text{ и } f(L) \sim L^{-2} \text{ при } L \geq L_{\min}. \quad (2)$$

Этим свойством функции плотности распределения $f(L)$ обладает распределение Перато. Обычно это распределение представляют в форме:

$$f(x) = (a/x_0)(x_0/x)^{a+1}, \quad x \geq x_0, \quad a > 1, \quad (3)$$

где x_0 - минимальное значение случайной величины x . В рассматриваемом здесь случае, $a = 3-1=2$, $x_0 = L_{\min}$ и, следовательно, функцию плотности можно записать:

$$f(L) = (1/L_{\min}) \cdot (L_{\min}/L)^2 = 2 \cdot L_{\min}^2 / L^2, \quad L \geq L_{\min}. \quad (4)$$

На основании изучения распределения параметра плотности сейсмогенных разрывов $K_{ср}$ по (1) сильных землетрясений Тянь-Шаня (с 1974 г.) построены модели развития очагов [11].

Например, на рисунке 2 приведено распределение в пространстве и времени параметра $K_{ср}$ в пределах области землетрясения Исфара-Баткен (01.31.1977, $M=6,3$) в зоне активного разлома Катрантоо субширотного простирания за 1967-1976 гг., представляющее модель развития очага. В пределах области землетрясения в сегментах разлома Катрантоо поэтапно развивались аномальные области с относительно малыми значениями параметра $K_{ср}$, разделённые межаномальной областью - своеобразным барьером. В межаномальной области повышалось напряжение, развивались трещины, разломы, проявились микротолчки и акустические эмиссии. В дальнейшем межаномальная область разрушилась, что сопровождалось главным толчком и образованием очага землетрясения [12, 13].

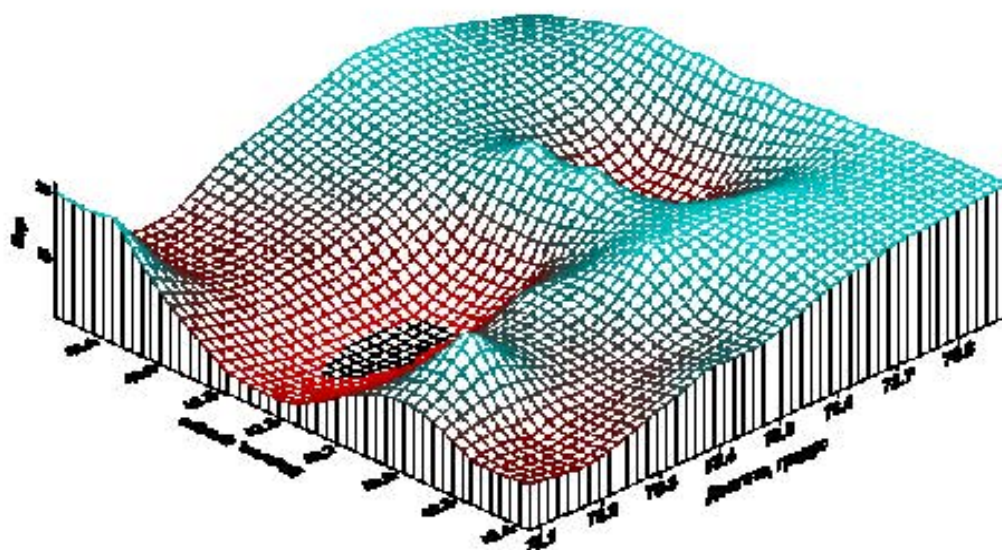


Рисунок 2. 3D - модель распределения параметра плотности сейсмогенных разрывов $K_{ср}$ в пределах области подготовки землетрясения Исфара-Баткен (01.31.1977, $M=6,3$) за период 1967-1976 гг. Звездочкой обозначен эпицентр землетрясения в межаномальной области - в барьере активного разлома

Цифровая сейсмическая станция «Тарагай» (TARG) Центрально-Азиатского института прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ) расположена в 38 км на юго-западе от золоторудного месторождения Кумтор, на высоте 3530 метров на лежащем южном крыле (рисунок 3) разлома Жетимбел север-северо-западного азимута падения [14]. На висячем северном крыле его крыле развивается поднятие Жетимбел, сложенное разнородными метаморфическими породами рифея (свиты Тарагай), прорванные гранодиоритами ордовика. Западнее станции Тарагай простирается активное поднятие Жетим, сложенное метаморфическими породами верхнего рифея и среднего ордовика, ограниченное с юга разломом Жетим (78) взбросового характера северным азимутом падения. Восточнее района станции Тарагай развивается активное поднятие Акшийрак дивергентного строения, ограниченное

с севера разломом Акшийрак - Сарыжаз (74) северо - западного азимута падения, а с юга разломами Учкол (79), Учкошкон (81), Таштарата (82) юго-восточного азимуты падения. Севернее поднятия Акшийрак развивается поднятие Терской, ограниченное с северо-запада разломами Центрально-Терской (48) и Северо-Терской (43) с юго-восточными азимутами падения. Поднятие Жетимбел надвигается в южном направлении на впадину Тарагай, а поднятие Акшийрак надвигается в северном направлении на впадину Кумтор по активным разломам. Расстояние между субпараллельными активными разломами на "гребнях своеобразной геодинамической волны" составляет около 3-20 км. По данным GPS измерений скорость движений на участках Тянь-Шаня составляет около 20 мм/год [15]. Данная величина является интегральной от тектонических движений по активным структурам Тянь-Шаня.

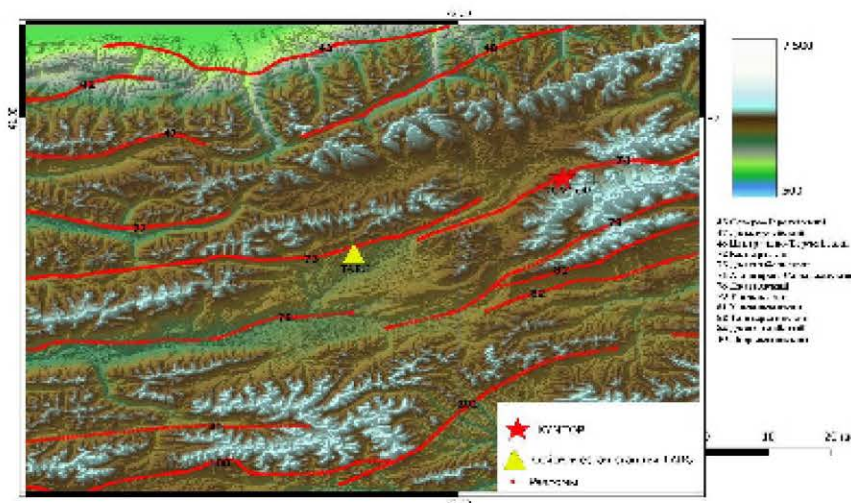


Рисунок 3. Карта-схема расположения цифровой сейсмической станции Тарагай (TARG) $\varphi=41^{\circ}43.748'$, $\lambda=77^{\circ}48.286'$ в пределах систем активных поднятий и разломов. Станция (TARG) - Тарагай обозначена треугольником жёлтого цвета; звёздочкой красного цвета – месторождение Кумтор; линиями красного цвета - активные генерирующие землетрясения разломы: 43-Северо- Терской, 47-Жылуусуу, 48- Центрально -Терской, 72- Балкарт, 73-Жетимбель, 74-Акшийрак-Сарыжаз, 78-Жетим, 79-Учкол, 81-Учкошкон, 82-Таштарата; площади ледников и снежников выделены белым цветом

Исходным материалом в работе являются каталог микротолчков Института сейсмологии НАН КР, составленный Центром данных по данным цифровой сейсмической станции «Тарагай»

(TARG); данные сейсмического шума; карты-схемы активных поднятий и разломов, районов ледников и снежников на осевых частях хребтов; геологическая карта Кыргызской Республики

(масштаба 1:500000); данные промышленных взрывов на «Центральном карьере» Кумтора; динамика накопления материалов в хвостохранилище комбината; результаты GPS измерений современных движений земной коры и др.

Важной характеристикой изменения частоты микротолчков в пределах месторождения Кумтор за 2015-2022 гг. является последовательность проявления событий. По ходу слежения микротолчков на графике поэтапно выделяется иерархия циклов. Каждый из них состоит из фазы активизации, пика активизации, спада активизации и фазы затишья - молчания. Например, в 2015 г. с нача-

ла июня по 15 июня отмечалось затишье “молчание” микротолчков, после по 06 августа 2015 г. наблюдалась фаза активизации, 24.07.2015 года их частота составляла $N=23$. Пик активизации ($N=44$) отмечался 21.09.2015 года.

На рисунке 4 в качестве примера приведён график изменения частоты микротолчков в пределах месторождения Кумтор за 2018 г. В период с 15 января по 2 мая 2018 г., после до 6 августа 2018 г. наблюдались циклы третьего порядка. В последнем цикле после землетрясения 03.09.2018 г. с $K=13$ активизация достигла пика $N=58$. В дальнейшем наступила фаза спада активизации и фаза затишья данного цикла.

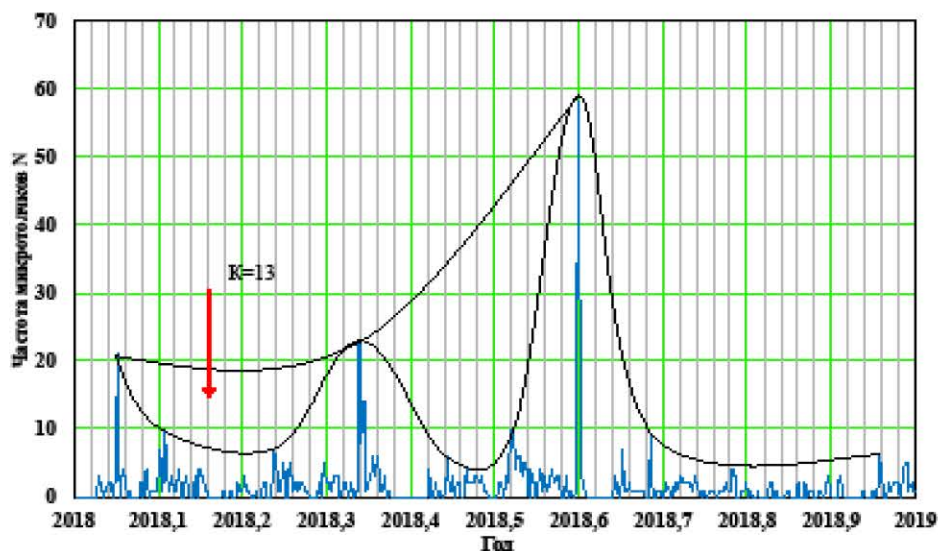


Рисунок 4. Графики вариационных изменений микротолчков в пределах месторождения Кумтор за 2018 г. Сплошной линией обозначены циклы третьего порядка, точечной линией - циклы второго порядка, красной стрелкой - землетрясение 03.09.2018 г. ($K=13,0$)

Все результаты слежения микротолчков по остальным годам сведены в один график (рисунок 5) за 2015-2022 гг. выделены циклы 3, 2, 1 порядков. Интересно отметить, что проявления землетрясений с $K=12,4-13,0$ связаны с фазами активизации циклов третьего порядка ($K=12,4$ и $K=13,0$) или фазами затишья циклов второго порядка ($K=12,4$, $12,9$,

$12,7$). Землетрясение с $K=14,5$ можно связать с фазой спада цикла первого порядка в последовательности микротолчков.

На рисунке 6 приведена карта-схема распределения частоты микротолчков по суткам и годам за 2015-2022 гг. в пределах месторождения Кумтор. Из графика видно, что относительно высокие частоты микротолчков проявляются в

июле - августе и январе месяцах. Это обусловлено, вероятно, таянием ледников

и снежников в летнее время, полным их накоплением зимой в пределах хребтов Акшыйрак, Терскей, Жетимбел, Жетим и др.

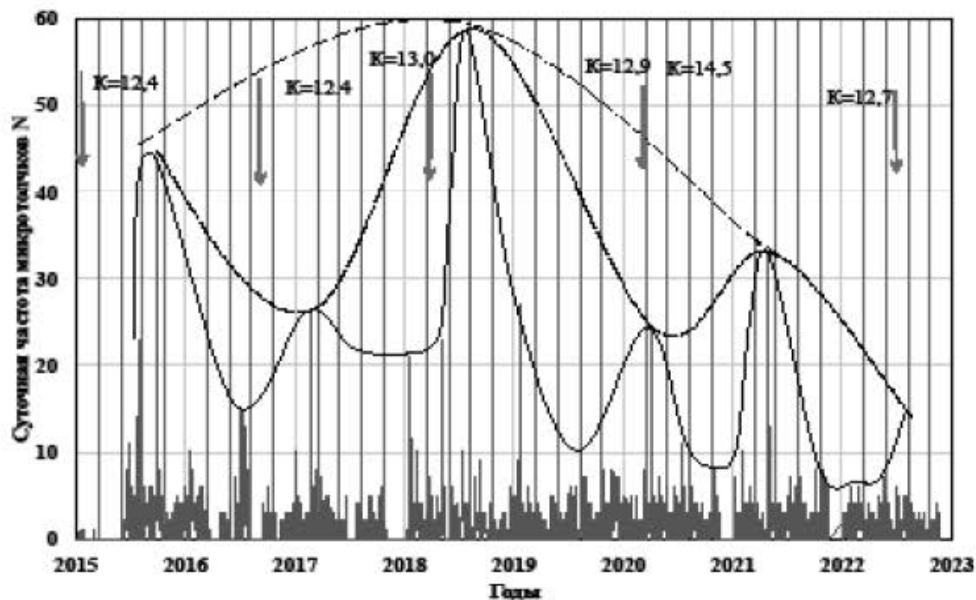


Рисунок 5. Последовательность проявления микротолчков за 2015-2022 гг. в пределах месторождения Кумтор. Сплошной линией обозначены циклы третьего порядка, точечной линией чёрного цвета - циклы второго порядка, пунктирной линией чёрного цвета - циклы первого порядка, стрелками красного цвета - землетрясения с $K=12.3-14.5$

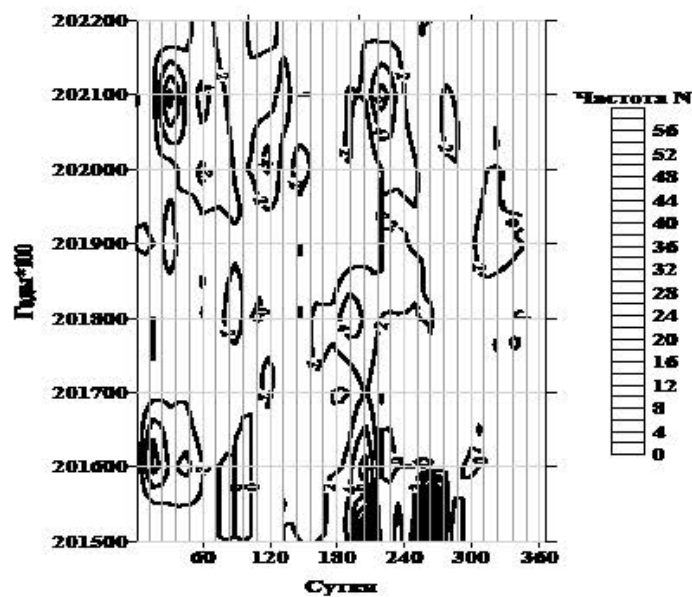


Рисунок 6. Карта-схема распределения частоты микротолчков по суткам и годам за 2015-2022 гг. в пределах месторождения Кумтор

Заклучение

1. Изучены микротолчки в районе золоторудного месторождения Кумтор по данным цифровой сейсмической станции «Тарагай» (TARG), расположенной на высоте 3530 метров на лежащем южном крыле разлома Жетимбел север-северо-западного азимута падения за 2015-2022 гг.
2. В последовательности проявления микротолчков по каталогу ИС НАН КР отмечена иерархия сейсмических циклов, выражающая современную геодинамику активных разломов, поднятий, неоднородной среды, периодические накопления и разгрузки напряжений, пространственно-временные физико-химические преобразования литосферы Тянь-Шаня.
3. В результате анализа модели развития очага землетрясения отмечено, что в «барьерах» между динамическими сегментами активного разлома проявляются микротолчки - акустические эмиссии, которые представляют собой кратко-, среднесрочные предвестники землетрясения.
4. Проявления землетрясений с $K=12.4$ - 13.0 связаны с фазами активизации циклов микротолчков третьего порядка ($K=12.4$ и $K=13.0$), фазами затихья циклов второго порядка ($K=12.4$, 12.9 , 12.7) и фазой активизации цикла первого порядка ($K=13$).
5. Относительно высокие частоты микротолчков проявляются в июле – августе, частично в сентябре и январе месяцах. Это обусловлено, вероятно, таянием ледников и снежников в летнее время и полным их накоплением зимой в пределах хребтов Акшыйрак, Терскей, Жетимбел, Жетим и др.

Литература

1. Бехер С. А., А.П. Бобров. Основы неразрушающего контроля методом акустической эмиссии. Новосибирск, Издательство СГУПС, 2013-145 с.
2. Моги К. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988, 382 с.
3. Collins D.S., Young P.R. Litological Controls on Seismicity in Granitic Rocks. //Bull. Seism. Soc. Am. -2000. -vol. 90, no. 3. -P. 709-723.
4. Бетехтин В. И., Владимиров В. И. Кинетика микроразрушения кристаллических тел. //Проблемы прочности и пластичности твердых тел. Л.: Наука, 1979, с. 142-154.
5. Бетехтин В. И., Петров А.И., Кадомцев А.Г. Долговечность, развитие и залечивание микротрещин в металлах. //Физика прочности и пластичности. Л.: Наука, 1986, с. 41-48.
6. Нефедьев Е.Ю., Волков В.А., Кудряшов С.В. и др. Связь размеров микротрещин с параметрами акустической эмиссии и структурной деформированной роторной стали. //Физика прочности и пластичности. Л.: Наука, 1986, с.64-69.
7. Куксенко В.С. Кинетические аспекты процесса разрушения и физические основы его прогнозирования. //Прогноз землетрясений, 1983-1984, №4. Душанбе-Москва: Дониш, с. 8-20.
8. Куксенко В.С. Модель перехода от микро- к макроразрушению твердых тел. //Физика прочности и пластичности. Л.: Наука, 1986, с. 36-41.
9. Журков С.Н. Кинетическая концепция прочности твердых тел. //Вестник АН СССР. -1968. -№3. -с. 46-52.
10. Журков С.Н., Куксенко В.С., Петров В.А. и др. Концентрационный критерий объемного разрушения твердых тел. // Физические процессы в очагах землетрясений. М.: Наука, 1980, с. 78-86.

11. *Омуралиев М., Омуралиева А., Молдобекова С.* Динамическая сегментация активных разломов и модель развития очага землетрясения Тянь-Шаня. //Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы. Сборник материалов четвертого международного симпозиума. 2008. Вып. 4, с. 446-452.
12. *Омуралиев М., Омуралиева А., Першина Е.В.* Авторское свидетельство № 2113 от 28.03.2013. “Эффект изменения сейсмических шумов перед главным толчком”.
13. *Омуралиева А., Омуралиев М.* Сейсмический шум перед главным толчком в области подготовки землетрясения Тянь-Шаня. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. - 2017. - № 1(9). - С. 85-107
14. *Абдрахматов К.Е., Бегалиев УТ., Омуралиев М., Омуралиева А.* Сейсмическая опасность населённых пунктов и стратегических сооружений Кыргызской Республики. - Б.: ОСОО «ТРИАДА Принт», 2019., - 98 с.
15. *Abdrakhmatov, K., Aldazhanov, S., Hager, B. et al.* Relatively recent construction of the Tien Shan inferred from GPS measurements of present-day crustal deformation rates. // Nature. -1996. -384(6608), -P.450–453. <https://doi.org/10.1038/384450a0>