

УДК 622.831.32 (575.2) (04)

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ
ТЕКТОНИЧЕСКИХ ГОРНЫХ УДАРОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

К.Т. Тажобаев – докт. тех. наук,

Д.К. Тажобаев – ст. научн. сотр.

The causes and mechanism of the tectonic rock bursts and earthquakes and the theoretical model of their three-dimensional centre is considered. The recommendations on preventing of the tectonic rock bursts and earthquakes is substantiated.

При разработке удароопасных месторождений в участках высокой концентрации напряжений происходят горные удары, которые наносят значительный ущерб горному производству.

Горный удар, с точки зрения его механизма, определяется нами как динамическое разрушение предельно напряженной части массива горных пород, инициируемое от триггерных (возмущающих) сил (импульсы от взрывных работ, действия при выемке полезных ископаемых, импульсы планетарного взаимодействия), протекающее по принципу цепной реакции, когда образование новой трещины приводит в действие структурные остаточные напряжения, которые в свою очередь образуют трещины и процесс самоподдерживающегося лавинообразного разрушения сопровождается выделением кинетической энергии разлетающихся кусков горных пород, энергии звуковых, сейсмических и электромагнитных колебаний до наступления равновесного состояния [1–3].

Исследованиями геомеханических условий и основных причин тектонических горных ударов и землетрясений установлено, что эти катастрофические явления имеют единый механизм, а их различия связаны с масштабом протекания процесса динамического разрушения горных пород в очаговых зонах [4].

В настоящее время классические представления о механизме очагов землетрясений основаны на положениях теории упругой от-

дачи Рейда [5]. Согласно этой теории, механизм землетрясения объясняется образованием трещин и разломов в предварительно напряженной земной коре, в процессе чего происходит “упругая отдача сторон (берегов) трещины к такому положению, в котором не существует упругая деформация” и вибрации, связанные с землетрясениями, зарождаются на поверхности разрыва. По теории Рейда упругая отдача должна действовать только в направлении, перпендикулярном к поверхности трещины (разрыва), причем всегда и всюду должно наблюдаться только положительное первое вступление продольной волны (движение от очага к наблюдателю), так как по данной теории предполагается, что очаг – это плоскость разрыва.

Однако часто от одного и того же землетрясения наблюдаются и положительные, и отрицательные первые вступления сейсмических волн. В некоторых случаях пространственные распределения положительных (движение от очага) и отрицательных (движение к очагу от наблюдателя) первых вступлений волн квадрантные. В связи с этим японским исследователем Накано была предложена сдвиговая модель очага землетрясения, объясняющая симметрично квадрантное распределение сейсмических волн. Сущность симметрично квадрантного распределения заключается в том, что первые вступления продольной волны в двух противоположных квадрантах

сферы вокруг очага соответствуют волне сжатия, а в другой паре противоположных квадрантов сферы – волне разрежения.

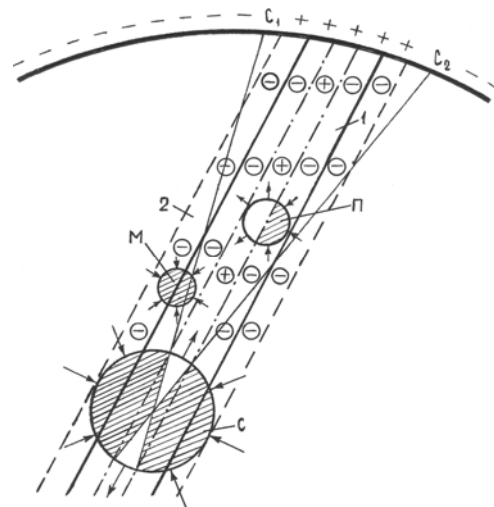
Сдвиговая модель очага землетрясения, хотя и частично, объясняет квадрантное распределение первых вступлений, но не согласуется с положением об упругой отдаче поверхности разрушения, а также экспериментальными данными несимметрично квадрантного распределения первых вступлений. Существующие теории и указанные выше модели очага не раскрывают механизм возникновения землетрясений, не объясняют их локальность, приуроченность к контактными зонам магматических, гидротермальных горных пород, зонам активных тектонических разломов. В связи с этим, на основе установленного механизма горных ударов [4], результатов экспериментального исследования остаточных напряжений и их проявлений в деформации и разрушении горных пород удароопасных месторождений [6–8] нами предложена теоретическая модель объемных очагов тектонических горных ударов и землетрясений [2]. Сущность модели поясняется на рисунке, а также на основе следующих положений:

1. Упругая отдача поверхностей полости, образованной при разрушении предельно напряженных горных пород в объемном очаге, является причиной сейсмических колебаний части литосферы.

2. Самоподдерживающееся, взрывоподобное разрушение горных пород в объемном очаге обусловлено освобождением энергии предельных остаточных напряжений (при нарушении их равновесия), имеющих на структурных уровнях от кристаллической решетки до континентальных геологических отделностей в зонах активных тектонических разломов, контактов магматических, гидротермальных, метаморфических горных пород.

3. Направление упругой отдачи зависит от знака результирующих (гравитационных, остаточных) напряжений, имеющих на местах будущих поверхностей полости (очага) динамического разрушения горных пород. При разрушении горных пород в пределах объемов, где имеются только сжимающие напряжения, первые вступления продольной волны всюду отрицательные (движение к очагу); где имеют-

ся только растягивающие напряжения первые вступления – положительные (движение от очага); где имеются и сжимающие, и растягивающие напряжения в зависимости от расположения этих напряжений, в разных местах земной поверхности первые вступления будут иметь разные знаки (см. рисунок); в принципе возможно как симметричное, так и несимметричное квадрантное распределение первых вступлений продольной упругой волны.



Теоретическая модель объемных очагов землетрясений. С, П, М – очаги сильного, промежуточного, маломощного землетрясения (сильного горного удара) соответственно.

1 – тектонический разлом; 2 – зона влияния разлома. —•—•— — граница растягивающих остаточных напряжений; ⊕ – растягивающее остаточное напряжение; ⊖ – сжимающее остаточное напряжение; +, ⊕ – положительное первое вступление (движение от очага) продольной сейсмической волны; -, ⊖ – отрицательное первое вступление (движение к очагу) продольной сейсмической волны.

4. Вероятное место тектонических землетрясений или горных ударов – это зоны активных крупных тектонических разломов, вытянутых вдоль границ литосферных плит, рифтовые зоны, зоны геологических нарушений, контактов и переходов магматических, гидротермальных и метаморфических горных пород – места, где имеются взаимно уравновешенные пре-

дельные остаточные напряжения. Конкретное место располагается в пределах вероятного места и определяется возможностью концентрации напряжений и триггерных сил в локальных участках в результате человеческой деятельности или действия природных сил.

Как видно на рисунке, наиболее сильные землетрясения дают квадрантное распределение первых вступлений продольной сейсмической волны. Согласно модели, это объясняется тем, что в данном случае объем образованной при разрушении горных пород полости (очага) значительный и охватывает участки с растягивающими и сжимающими остаточными напряжениями. В перпендикулярных к поверхности полости направлениях из участков с растягивающими напряжениями излучаются волны сжатия, а из участков со сжимающими напряжениями – соответственно – волны разряжения (растяжения). Маломощные землетрясения или сильные горные удары, согласно модели, происходят в основном в окрестности контакта разноименных метаморфических, магматических и гидротермальных горных пород и в основном повсюду дают только отрицательные первые вступления, т.е. волну разряжения. В модели это объясняется незначительностью объема очага (образованной полости) и расположением его в пределах объемов, где имеются сжимающие напряжения. Данное положение согласуется с экспериментальными фактами возникновения волн разгрузки (разряжения) и характером первых вступлений продольных волн при горных ударах. Например, “при микросейсмических наблюдениях за сотрясениями, вызываемыми горными ударами в шахтах Кландо (Чехословакия), установлено, что на всех записях сотрясений вступление вертикальной компоненты отвечает разрежению” [9]. Промежуточные землетрясения, согласно модели, дают положительные и отрицательные первые вступления, но распределение их при этом не квадрантное (см. рисунок). Следует отметить, что возможны отклонения от этих правил, т.е., согласно модели, все зависит от того, где располагается очаг и каков его размер. В модели допускается и такое естественное землетрясение (обычно редкое и несильное), от которого излучаются во все стороны только волны сжатия

(первое вступление всюду положительное), т.е. такое сотрясение, какое бывает от промышленного взрыва, осуществляемого в горных породах. Допускается, что наиболее вероятная форма объемного очага землетрясения, т.е. форма образованной от динамического разрушения горных пород полости – эллипсоид вращения, большая полуось которого ориентирована по простиранию или падению разлома (активной зоны). По сечению в перпендикулярном к большой полуоси направлении имеем круговую область (на рисунке она показана как круговой очаг землетрясения). Указанная в модели взаимосвязь землетрясений с остаточными напряжениями, уровень которых высок в зонах тектонических разломов, контактов магматических и гидротермальных горных пород согласуется с данными Ф.Н. Юдахина, Т.Я. Беленович [10], которые отмечают, что наиболее протяженные зоны сжатия и растяжения соответствуют границам микроплит. Типы механизмов очагов землетрясений изменяются по обе стороны от крупных разломов, разделяющих микроплиты; землетрясения сгруппированы вдоль наклонных вытянутых узких зон и по вертикали.

Результаты исследований особенностей, механизма, геомеханических условий тектонических горных ударов и анализ параметров подготовки, характеристик землетрясений, закономерностей деформации и разрушения горных пород позволили разработать технологические меры предупреждения тектонических горных ударов и землетрясений.

В целом сущность технологических мер предупреждения тектонических горных ударов и землетрясений заключается в определении по напряжениям и прочности горных пород сейсмоопасной или удароопасной зоны, значений минимальной и максимальной удельной энергии разгрузки, в поэтапной разгрузке напряжений дискретно возрастающими (от минимума до максимума) по энергии импульсами сейсмических волн взрывов, последовательно и многократно производимых в опасной зоне через определенные промежутки времени.

Для предупреждения тектонических горных ударов и землетрясений рекомендуется последовательно выполнить следующие работы.

1. Определить место для бурения не менее двух разгрузочных скважин по геологическим,

геофизическим и сейсмическим данным путем определения сейсмоопасной зоны с учетом положения “бреши” и повторяемости землетрясений, данных сейсмограмм, геофизических и геомеханических измерений, структурной и литологической геологии.

Исходя из геологического строения сейсмоопасной части массива, полученного путем анализа геолого-геофизических данных, и с учетом безопасности близкорасположенных сооружений и населенных пунктов задают общий объем разгрузки части массива предполагаемыми взрывами, которые будут произведены в двух или более скважинах, т.е. задают радиус большого шара R , определяющий общий объем разгрузки взрывами.

Расстояние между скважинами L_c принимают равным R для обеспечения равномерности перераспределения энергии взрывов, равномерно располагая скважины в пределах общего объема разгрузки.

2. Производить колонковое бурение с получением кернов и вслед за бурением параллельно выполнять следующие работы.

Проводить паспортизацию кернов.

Определять по керновому материалу геологические нарушения, трещиноватости породного массива, минеральный состав, качество горных пород.

Определять акустические и деформационные характеристики горных пород ультразвуковым методом.

Определять остаточные напряжения в кернах горных пород неразрушающим методом [1].

Определять величины удельной минимальной и максимальной энергии разгрузки напряжений: $E_{V(\min)}$, $E_{V(\max)}$.

Определять прочностные характеристики горных пород (σ_c , σ_p , C) участков с повышенными значениями остаточных напряжений, установленных неразрушающим методом (косвенным признаком высоких напряжений служит наличие зон дискования кернов).

Определять по величинам прочностных характеристик и напряжений сейсмоопасный интервал глубины для каждой скважины.

3. Определять глубину центра и уточнять величину общего объема разгрузки, т.е. определить величину уточненного радиуса большого шара разгрузки R_y по данным, получен-

ным из не менее чем двух скважин, а также с учетом безопасности близко расположенных сооружений и населенных пунктов.

4. После окончания бурения всех скважин и работ, перечисленных выше для каждой скважины, в каждой из них в сейсмоопасной глубине, установленной по величине прочностных характеристик и напряжений (в пределах общего объема разгрузки), производят первый сотрясательный взрыв с энергией, установленной по минимальному значению удельной энергии разгрузки для объема шара (разгрузки) с радиусом $r = R_y / 2$, т.е. с сейсмической энергией

$$E_{I(\min)} = E_{V(\min)} \frac{4}{3} \pi r^3.$$

5. Во второй скважине (в установленной сейсмоопасной глубине, в пределах общего объема разгрузки) производят второй сотрясательный взрыв с сейсмической энергией E_2 , превышающей $E_{I(\min)}$, но меньшей, чем максимальная величина сейсмической энергии, через не менее чем 80 мин после первого взрыва (интервал времени между последующими взрывами также составляет не менее 80 мин), т.е.

$$E_{\max} > E_2 > E_{I(\min)}, \text{ где } E_{\max} = E_{V(\max)} \frac{4}{3} \pi r^3.$$

6. Поочередно в двух или более скважинах производят последующие взрывы, постепенно увеличивая сейсмическую энергию взрыва, доводя ее в конечном итоге до E_{\max} .

Чем больше взрывов с промежуточными значениями сейсмической энергии, тем меньше вероятность инициирования горного удара или землетрясения взрывом. В предельном случае, когда производят только три взрыва в двух скважинах: первый с энергией $E_{I(\min)}$, второй и третий с энергией E_{\max} , поочередно в двух скважинах, после второго и третьего взрывов в течении от 0 до 80 мин может инициироваться горный удар или землетрясение.

7. Для профилактических мер предотвращения горных ударов применяют промышленные взрывчатые вещества, а для профилактики снижения риска землетрясений (при условии обеспечения надежной защиты от радиоактивных осадков) можно применить ядерные взрывы малых зарядов.

Количество заряда в каждом конкретном случае определяют исходя из этапа и объема

разгрузки и с учетом сейсмобезопасности взрыва для близко расположенных сооружений и населенных территорий.

Преимущество и эффективность данных рекомендаций заключается в поэтапности разгрузки высоконапряженной части породного массива, возможности получения по скважинам данных минералогического состава и свойств горных пород для разведки полезных ископаемых. В данном случае обеспечивается также возможность использования параметров прохождения сейсмических волн взрывов для исследования строения и состава породного массива на обширных объемах; снижения риска и ущерба от тектонических горных ударов и землетрясений в сейсмоактивных регионах.

Литература

1. Тажобаев К.Т., Ташмаматов А.С. Способ определения остаточных напряжений в горных породах / Патент №658 Кыргызской Республики. – Бишкек, 2004.
2. Тажобаев К.Т., Тажобаев Д.К. Механизм тектонических горных ударов, землетрясений и теоретическая модель их очагов // Сб. докл. международн. совещ. 14–16 апреля 2004 г. “Техногенная сейсмичность при горных работах: Модели очагов, прогноз и профилактика”. – Ч. 1. – Апатиты, 2004.
3. Тажобаев К.Т. Условия динамического разрушения горных пород и причины горных ударов. – Фрунзе: Илим, 1989. – 179 с.
4. Тажобаев К.Т. О причинах и механизме горных ударов и землетрясений // Исследование, прогноз и предотвращение горных ударов: Матер. IX Всесоюзн. конф. по механике горных пород. – Бишкек, 1991. – С. 139–167.
5. Reid H.F. The elastic – rebound theory of earthquakes. University of California // Publ. Geol. Sci. – 1911. – P. 413–444.
6. Айтматов И.Т., Тажобаев К.Т. Проявления остаточных напряжений в деформации горных пород при их нагружении // Физика и механика разрушения горных пород. – Фрунзе, 1983. – С. 134–164.
7. Айтматов И.Т., Тажобаев К.Т. Явление скачкообразного освобождения остаточных напряжений в горных породах: Диплом на научное открытие (Диплом № 90, № А-109 от 29.04.1998 г.), выданный Международной Ассоциацией авторов научных открытий и Российской Академией естественных наук. – М., 1998.
8. Айтматов И.Т., Тажобаев К.Т. Результаты определения остаточных напряжений в гранитах Восточно-Коунрадского месторождения // Напряженное состояние горных пород и их разрушения. – Фрунзе, 1986.
9. Петухов И.М. Горные удары на угольных шахтах. – Л.: Недра, 1972.
10. Юдахин Ф.Н., Беленович Т.Я. К вопросу о динамике литосферы Тянь-Шаня // Изв. АН Кирг. ССР. Физ.-техн. и мат. науки. – 1987. – №3. – С. 60–65.