

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНДУЦИРОВАННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ СУБРА

Рассмотрены энергетические характеристики индуцированной сейсмичности шахтных полей 14-14 бис и 15-15 бис Североуральского бокситового рудника с целью оценки потенциальной удароопасности пород и максимально возможной энергии горных ударов.

Североуральский бокситовый рудник (СУБР), являющийся одним из наиболее удароопасных месторождений СНГ, характеризуется высоким уровнем индуцированной сейсмичности. Первые горные удары на СУБРе были отмечены в 1972 году. Средняя глубина горных работ на руднике в это время составляла около 300 метров. Сейсмостанция «Североуральск» введена в эксплуатацию на руднике в 1979 году. Она регистрирует сейсмические события в диапазоне частот 1-50 Гц, происходящие в пределах шахтных полей № 14-14 бис и № 15-15 бис, являющихся наиболее удароопасными на СУБРе. Энергетический диапазон регистрируемых явлений составляет 10^2 - 10^9 Дж.

Информационной базой исследований являлся каталог сейсмических событий, зарегистрированных сейсмостанцией «Североуральск» в период с 01.01.84 г. по 20.02.91 г. Анализируемый каталог содержит сведения о более чем 7000 событий, происшедших в пределах шахтных полей шахт № 14-14 бис и № 15-15 бис. По своей структуре каталог сейсмических событий СУБРа соответствовал принятой в сейсмологии регистрации и содержал следующие данные по каждому регистрируемому событию: дату (год, месяц, число), время по Гринвичу (часы, минуты), относительные координаты X,Y,Z гипоцентра, величину сейсмической энергии.

Совокупной энергетической характеристикой сейсмичности является распределение числа сейсмических событий по энергии, или энергетический спектр. Ввиду чрезвычайно широкого энергетического диапазона сейсмических событий, составляющего несколько порядков, обычно рассматривается зависимость числа сейсмических событий от логарифма энергии или от их энергетического класса:

$$N_i = f(\lg W_i) = f(K_i), \quad (1)$$

где N_i - число событий в интервале энергии; W_{i-1} – W_i , K_i - энергетический класс.

На рис. 1 показаны энергетические спектры индуцированной сейсмичности шахтных полей № 14-14 бис (а) и № 15-15 бис (б) СУБРа, полученные путем сортировки событий по энергии. Распределения имеют выраженный максимум для событий 3-го энергетического класса, спадающий в области меньших и больших энергий. Данный вид распределения объясняется, с

одной стороны, пропусками слабоэнергетических событий, конечной чувствительностью системы регистрации, с другой, естественным дефицитом высокоэнергетических сейсмических событий вследствие того, что крупные трещины образуются путем слияния некоторого числа меньших по размеру. Соответственно, число сейсмических событий закономерно уменьшается с увеличением их энергии.

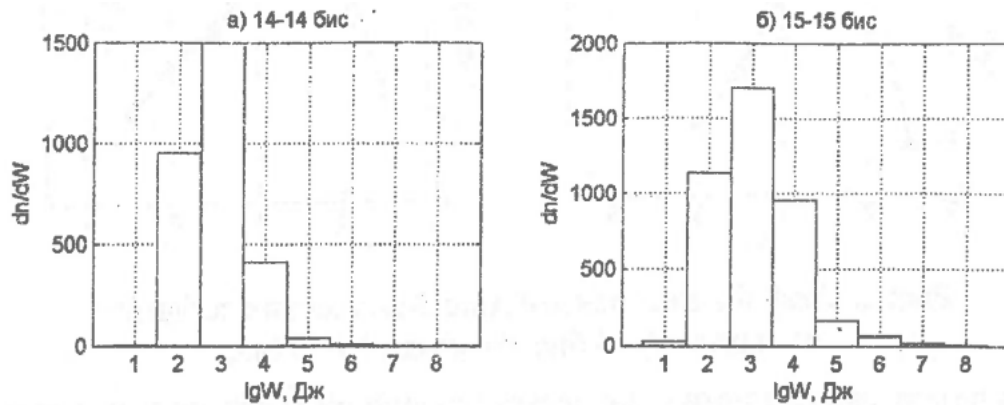


Рис. 1. Энергетические спектры индуцированной сейсмичности:
а) шахта 14-14 бис, б) шахта 15-15 бис

Одной из важнейших зависимостей в сейсмологии является аналогичное распределение числа сейсмических событий по энергии (магнитуде) или, иначе, график повторяемости землетрясений. В отличие от рассмотренного энергетического спектра сейсмических событий, эта зависимость строится в двойных логарифмических координатах

$$\lg N_i = A - \gamma \lg W_i, \quad (2)$$

так как $\lg W = K$, где K – энергетический класс сейсмического события.

$$\lg N_i = A - \gamma K_i. \quad (3)$$

Отрицательная величина углового коэффициента γ графика повторяемости объясняется уменьшением вероятности сейсмических толчков по мере увеличения их энергии. Величина коэффициента γ зависит от свойств среды и закона деформирования (нагружения), при котором реализуется разрушение /1/. Зависимости (2) и (3) имеют универсальный характер и справедливы в широком диапазоне энергий актов разрушения, включая процессы трещинообразования (акустическая эмиссия), горные удары (сейсмоакустика) и землетрясения. В ряде работ отмечалось уменьшение крутизны графика повторяемости перед сильным землетрясением /2, 3/ и заключительным макроразрушением лабораторных образцов на прессе /1, 4/, чему придавалось прогностическое значение.

Графики повторяемости сейсмических событий для шахт № 14-14 бис и № 15-15 бис показаны на рис. 2. Ниспадающая область графиков аппроксимируется линейной зависимостью вида

$$\lg N = N_0 - \gamma \lg W, \quad (4)$$

построенной методом наименьших квадратов, где N_0 – число событий нулевого класса. Соответствующие уравнения регрессии приведены на графиках.

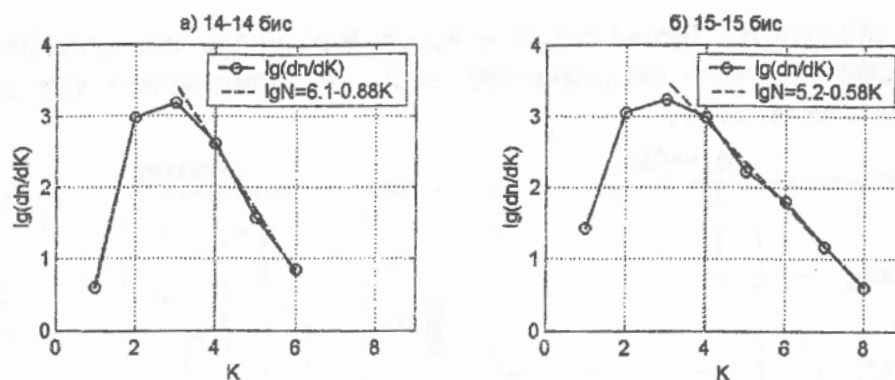


Рис. 2. Графики повторяемости сейсмических событий:
а) шахта 14-14 бис, б) шахта 15-15 бис

Как видно, зависимости отличаются величиной углового коэффициента γ , который равен -0.88 для шахты № 14-14 бис и -0.58 для шахты № 15-15 бис, соответственно. Различия объясняются энергетическим составом сейсмических событий, происходящих на данных шахтах. Если в энергетическом спектре шахты №14-14 бис преобладают события с энергией меньше 10^4 Дж, то для шахты №15-15 бис нередкими являются события с энергией более 10^5 Дж. Следовательно, крутизна графика повторяемости отражает потенциальную удароопасность данной территории, данного шахтного поля и может служить ее количественной характеристикой. Это представляется вполне закономерным, поскольку сейсмичность и удароопасность региона, являясь интегральными проявлениями склонности пород данной территории к хрупкому динамическому разрушению, зависят от структуры и свойств пород, их напряженно-деформированного состояния, горнотехнических условий разработки и других факторов. Очевидно, пологий график повторяемости характерен для удароопасной территории, и, напротив, более крутой график свидетельствует о менее опасной ситуации по динамическим проявлениям горного давления.

Таким образом, крутизна графика повторяемости может служить количественной характеристикой потенциальной удароопасности различных регионов (шахтных полей). Разумеется, это замечание относится и к различным периодам времени для одной и той же территории, если ее сейсмичность или удароопасность изменяются с течением времени.

Несмотря на то, что в силу конечной чувствительности реальных сейсмометрических систем регистрации существуют пропуски событий с менее $K_{\min}$, события с большей энергией регистрируются без пропусков. Поэтому крутизна γ графика повторяемости, построенного для событий с $K > K_{\min}$, является характеристикой, инвариантной в аппаратном отношении, которая может рассматриваться как одна из основных прогностических характеристик сейсмичности.

Приравняв к нулю левую часть уравнений регрессии, аппроксимирующих графики повторяемости в области представительных энергетических классов сейсмических событий, достаточно просто оценить максимальный энергетический класс событий,

$$K^* = N_0 / \gamma. \quad (5)$$

Данный параметр имеет ясный физический смысл и может наряду с величиной γ рассматриваться в качестве еще одного прогностического параметра индуцированной сейсмичности. Вычисляя K^* для текущей реализации процесса, становится возможным прогнозировать энергию максимального ожидаемого сейсмического события в темпе поступления информации.

Временные вариации величин K^* и углового коэффициента γ в течение всего периода наблюдений приведены на рис. 3, б, в для шахты № 14-14 бис, и 4, б, в – для шахты № 15-15 бис. На верхних графиках этих рисунков показаны временные ряды событий с энергией более 9000 Дж, которые при вычислении K^* и γ анализировались скользящей выборкой постоянного объема с взаимным перекрытием. Объем выборки составлял 32 события, взаимное перекрытие – 31 событие.

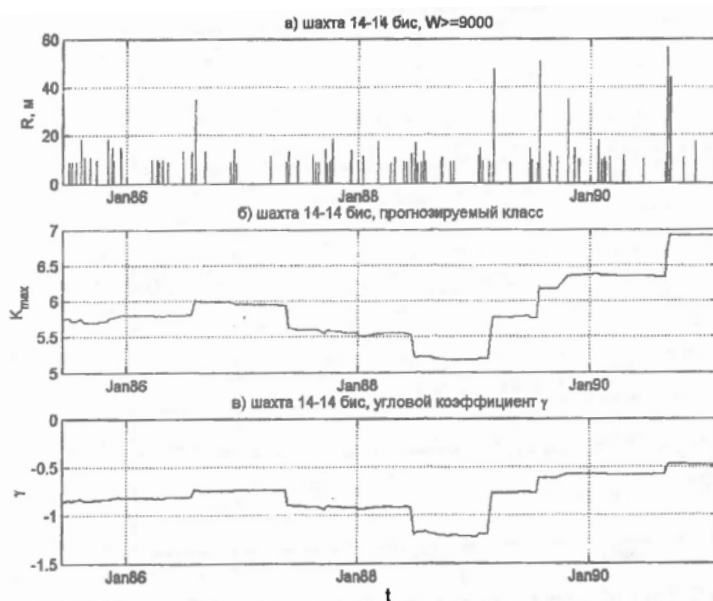


Рис. 3. Шахта 14-14 бис: а) временной ряд СЯ с энергией более 9000 Дж, б) изменение максимального ожидаемого энергетического класса события K^* , в) изменение углового коэффициента графика повторяемости

Приведенные зависимости для шахт № 14-14 бис и № 15-15 бис отличаются как качественно, так и количественно. Прежде всего, эти отличия относятся к средним долговременным значениям этих величин, которые заметно ниже для первой из двух шахт. Очевидно, они обусловлены различным энергетическим составом СЯ, происходящих на участках этих шахт. Так, за промежуток наблюдений на участке шахты 14-14 бис произошло лишь несколько событий 6 класса, в то время как за аналогичный период на шахте 15-

15 бис зарегистрировано несколько десятков событий сильнее 6-го класса, среди которых 4 события 8-го класса.

Другие отличия зависимостей связаны с их более монотонным характером для шахты 14-14 бис по сравнению с шахтой 15-15 бис. По всей видимости, причины различий изменений K^* и γ для смежных в пространстве шахтных полей кроются не столько в свойствах горных пород, сколько в структуре породного массива, его естественной тектонической нарушенности, местных особенностей геодинамической ситуации, сложившейся в результате добычи бокситов в пределах этих полей, определивших уровень и распределение действующих сил. Перечисленные причины объясняют характерные особенности и различную интенсивность диссипации упругой энергии в пределах данных шахтных полей, которые проявляется на энергетических параметрах индуцированной сейсмичности в динамике ее изменений.

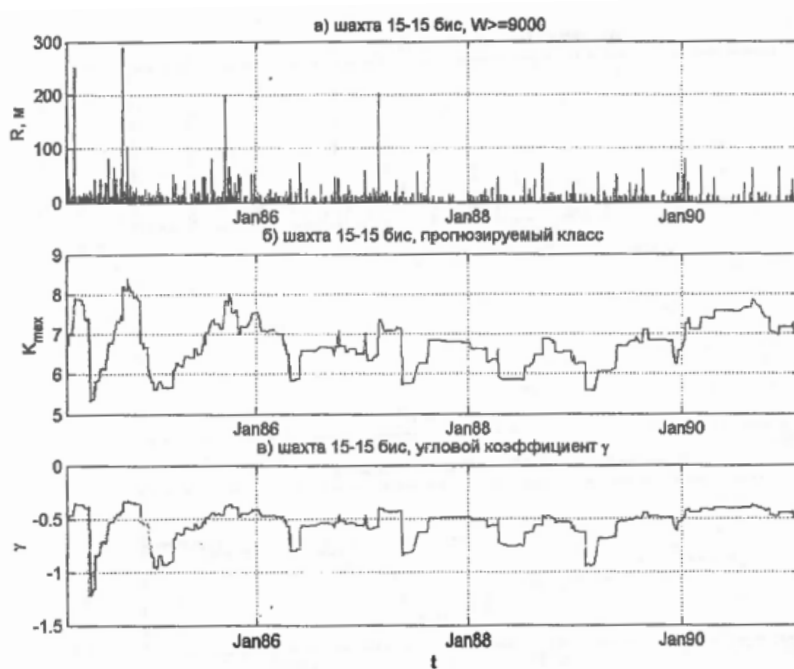


Рис. 4. Шахта 15-15 бис: а) временной ряд СЯ с энергией более 9000 Дж, б) изменение максимального ожидаемого энергетического класса события K^* , в) изменение углового коэффициента графика повторяемости

Определенная закономерность в изменении величин K^* и γ прослеживается для шахтного поля 15-15 бис в первой половине периода наблюдений, когда произошли четыре события 8-го энергетического класса. Все сильные события с энергией 10^7 - 10^8 Дж, зарегистрированные в это время, приходятся на периоды выпадения зависимости, характеризующиеся увеличением углового коэффициента γ . В такие периоды соотношение между образующимися разрывами (подвижками) различной длины меняется в пользу образования крупных разрывов.

Рядом авторов [1-5], главным образом на лабораторном и сейсмологическом материале, также отмечалось уменьшение наклона графика повторяемости перед сильным землетрясением, горным ударом и

макроразрушением образцов на прессе. Выпаживание зависимости $N(W)$ перед крупным разрывом свидетельствует о том, что его подготовка связана с интенсивным укрупнением разрывов, которое происходит значительно чаще, чем при фоновой сейсмичности, характерной для среднего, установившегося в данном регионе напряженно-деформированного состояния. Эти результаты позволили предположить, что выполаживание графика повторяемости перед образованием сравнительно крупного разрыва сплошности (подвижки) является вполне закономерным проявлением разрушения на различных масштабах от лабораторных образцов до горных ударов и землетрясений.

Основываясь на количественных отличиях, в первую очередь, осредненных значений γ для региона СУБРа можно предложить простой формализованный метод оценки потенциальной удароопасности пород по величине углового коэффициента графика повторяемости. Уменьшение текущих значений γ должно свидетельствовать о возрастании удароопасности на данном шахтном поле, и напротив, увеличение текущих значений γ может указывать на снижение его удароопасности. Критериальным значением углового коэффициента, условно разделяющим удароопасное состояние массива от неудароопасного, может быть принято равным -0.5, характерное для фонового уровня.

Для оценки и прогноза энергии горных ударов целесообразно использовать величину максимально возможной энергии единичного сейсмического события K^* .

Список литературы

1. Виноградов С.Д. Акустический метод в исследованиях по физике землетрясений. – М.: Наука, 1989. – 177 с.
2. Мамадалиев Ю.А. Об исследовании параметров сейсмического режима во времени и в пространстве // Вопросы региональной сейсмичности Средней Азии. – Фрунзе: Илим 1964.
3. Моги К. Предсказание землетрясений /Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 382 с.
4. Манжиков Б.Ц., Мансуров В.А., Ружич В.В. Проявление нестационарности процесса разрушения горных пород в графиках повторяемости // Всесоюзная школа-семинар «Физические основы прогнозирования разрушения горных пород». – Иркутск, 1988. – С.79-81.
5. Манжиков Б.Ц. Индуцированная сейсмичность и удароопасность шахтных полей: Автореф. дисс. ... д.ф.-м.н. – Бишкек, 1997.