

УДК 550.34 + 622.831

**С.В. Цирель, Л.И. Беляева**

**ФОРМА И НАКЛОН ГРАФИКОВ ПОВТОРЯЕМОСТИ  
ДИНАМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ КАК ХАРАКТЕРИСТИКИ  
УРОВНЯ ОПАСНОСТИ И СООТНОШЕНИЯ  
ЕСТЕСТВЕННОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ  
ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

*Описаны результаты апробации и проверки в сейсмогеологических условиях поля шахты «Комсомольская» методики прогноза сильных сейсмических событий, основанной на использовании закона распределения (повторяемости) сейсмических событий.*

*Ключевые слова: график повторяемости, объемная сейсмичность, коэффициенты закона повторяемости.*

**Семинар № 2**

**S.V. Tsirel, L.I. Beljaeva  
THE FORM AND INCLINATION  
OF REPEATABILITY SCHEDULES  
OF DYNAMIC EVENTS AS THE  
CHARACTERISTICS OF DANGER  
LEVEL AND THE CORRELATION OF  
NATURAL AND TECHNOGENIC  
COMPONENTS OF GEODYNAMIC  
PROCESS**

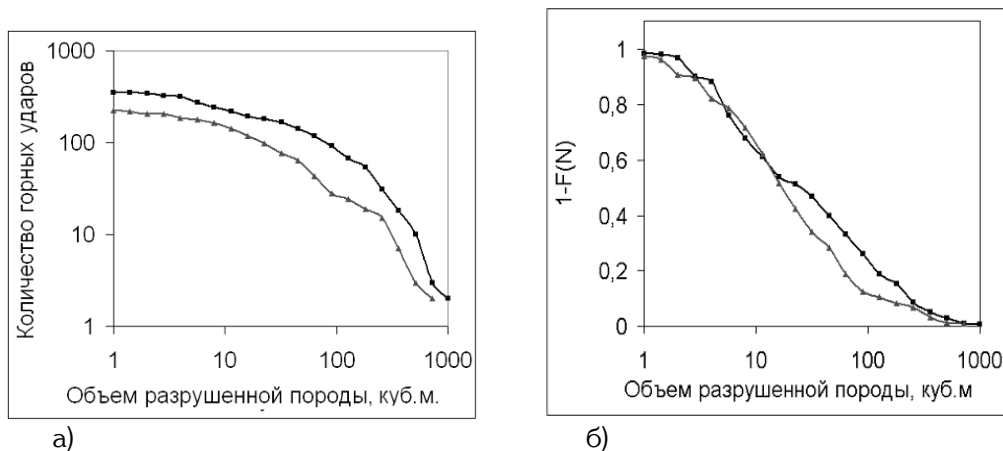
*Strong seismic events forecast technique, based on the seismic events distribution (repeatability) law, and the results of its approbation in mine «Komsomolskaya» seismic and geologic conditions are described*

*Key words: repeatability schedule, voluminal seismicity, the factors of repeatability law.*

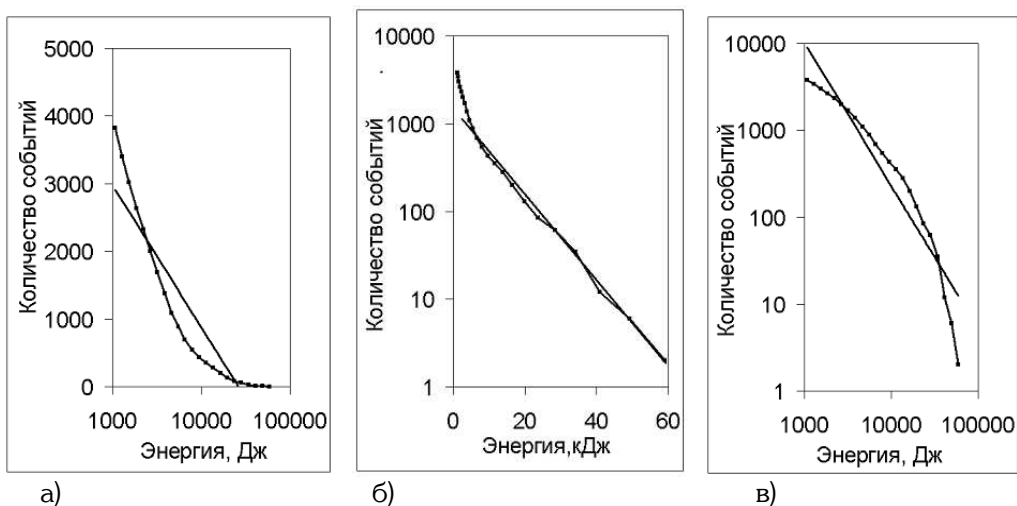
**П**роведенные исследования показали, что существует закономерный, хотя и непростой, путь трансформации графиков повторяемости динамических событий по мере перехода от индуцированной техногенной сейсмичности (по классификации А.В. Николаева [1]) к природной, мало искаженной техногенными факторами сейсмичности.

Графики повторяемости техногенных геодинамических событий – горных ударов на двух весьма удароопасных горных предприятиях России – Кизеловский угольный бассейн (1947-83 гг.) и СУБР (1970-1995 гг.) существенно отличаются от закона Гутенберга-Рихтера (рис. 1, а) и наилучшим образом описываются логарифмическим зависимостями (рис. 1, б). В качестве количественной меры мощности горного удара был выбран объем разрушенной породы ( $V, м^3$ ), значения которого, в отличие от более адекватной характеристики, энергии сейсмических волн ( $E, Дж$ ), известны для большей части горных ударов. Важно отметить, что несмотря на большие различия горно-геологических условий, систем разработки и т.д. эти зависимости весьма близки между собой:  $N_{СУБР} = 231 (1 - 0.169 \ln V)$ ,  $N_{Кизел}/N_{\Sigma} = 368 (1 - 0.158 \ln V)$ , где  $N/N_{\Sigma}$  – доля горных ударов с объемом разрушенной породы  $\geq V$ .

Иная картина, но также отличная от классических степенных законов



**Рис. 1. Графики повторяемости горных ударов**



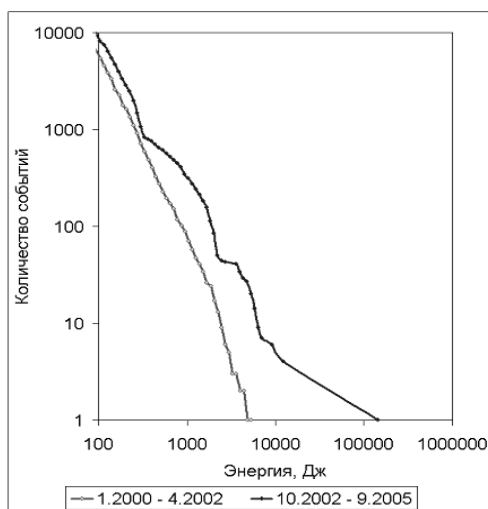
**Рис. 2. Графики повторяемости сейсмических событий на шахте «Комсомольская»**

повторяемости, наблюдается при сейсмическом мониторинге на шахте «Комсомольская» Воркутского угольного бассейна. Динамические события происходят почти исключительно при движении лавы, при этом рост динамической активности, как правило, отвечает переходам очистными лавами участков пласта со сложными горно-геологическими условиями (наличие песчаника в кровле, близость разрывных нарушений и т.д.). На рис. 2 представлены кумулятивные

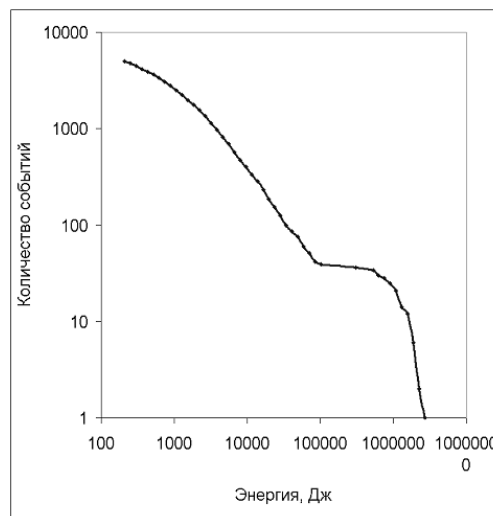
кривые сейсмических событий, зафиксированных разработанной авторами сейсмостанцией GITS в 2006 году, в различных координатах.

Как легко видеть, сейсмические события лучше всего описываются экспоненциальной зависимостью вида  $N \approx 1500 \exp(-0,11 E)$ , т.е. имеют промежуточные формы между приведенной выше зависимостью и законом Гутенберга-Рихтера (рис. 2, б).

Иную картину мы видим на глубоких рудниках с развитой сейсмиче-



а)



б)

**Рис. 3. Графики сейсмособытий на Талнахском месторождении (2000-2005) и СУБРе (1986-2004)**

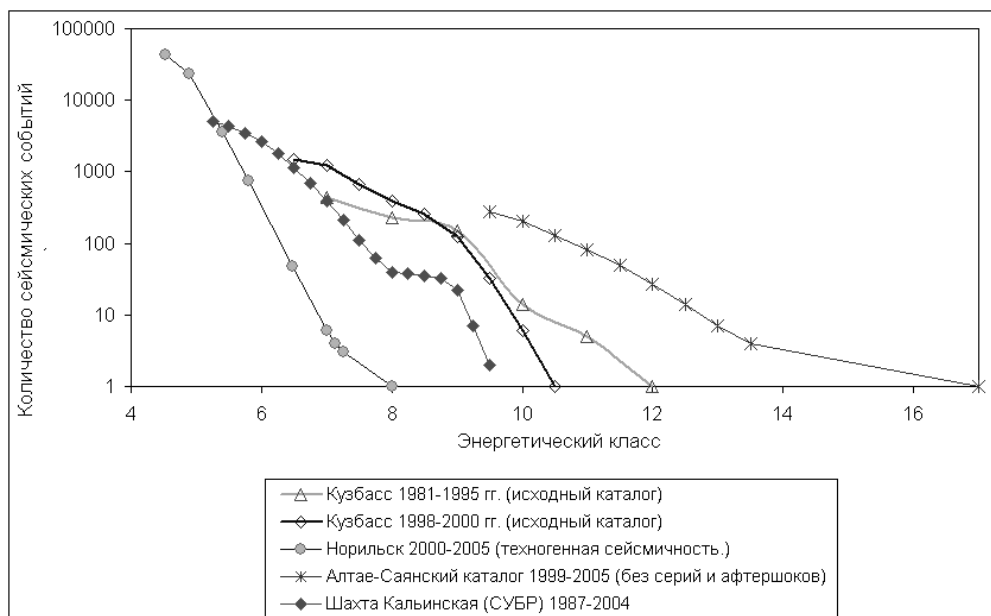
ской активностью. На рис. 3 представлены графики повторяемости сейсмических событий на рудниках «Октябрьский» и «Таймырский» Талнахского месторождения (Норильск) и шахте «Кальинская» СУБРа (Североуральск).

«Объемная» сейсмичность, охватывающая большие области горного массива, наблюдаемая на рудниках («Норильский Никель», СУБР) подчиняется закону Гутенберга-Рихтера, но с существенно более крутым наклоном (более узким диапазоном энергии), чем природная сейсмичность. По мере развития сейсмического процесса, с одной стороны, медленно снижается крутизна наклона, с другой стороны выделяется события, не укладывающиеся в график повторяемости (ярким примером являются мощные горно-тектонические удары на СУБРе). Основная причина появления таких событий состоит в активации крупных тектонических структур.

Взгляд на это явление с другой стороны, со стороны природных событий, демонстрирует развитие тех-

ногенной сейсмичности в Кузбасе. По мере роста техногенной составляющей увеличивается общее количество сейсмических событий, но в основном за счет слабых событий, что приводит к увеличению крутизны наклона графика повторяемости (рис. 4). Причины этого явления, прежде всего, состоят в том, что техногенные воздействия (прежде всего мощные технологические взрывы) выступают триггерами сброса накопленной энергии. Отметим, что аналогичное влияние на природную сейсмичность оказывают мощные плотины [2].

Анализ наклона графиков повторяемости в шахтах и рудниках показал зависимость параметров от горно-геологических условий и степени нарушенности участка отработки, но относительно слабую зависимость от времени. Это указывает, что в большей части случаев параметры графика могут служить в основном средние и долгосрочным предвестниками, отражающими способность активизированной области горного массива к накоплению упругой энергии. При



**Рис. 4. Сопоставление кумулятивных графиков повторяемости при различных стадиях развития техногенной сейсмичности**

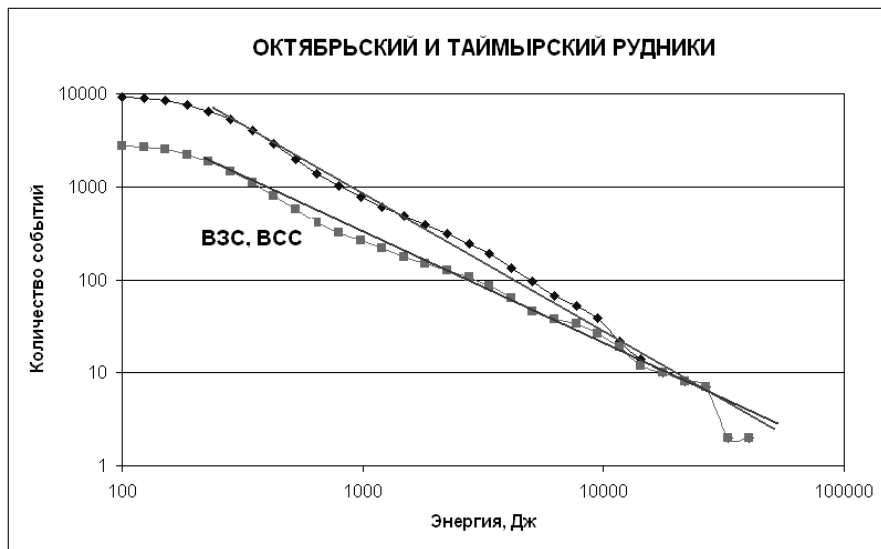
этом для прогноза наиболее информативны следующие данные:

- появление (исчезновение) мощных событий, не укладывающихся в графики повторяемости, указывает на рост напряженности на больших участках и необходимость широкомащштабных разгрузочных мероприятий;
- резкие снижения угла наклона (рост доли крупных событий) свидетельствуют о росте напряженности;
- на некоторых малых участках прогностическое значение имеет средняя энергия сеймособытия, ее рост предвещает активизацию сейсмического процесса.

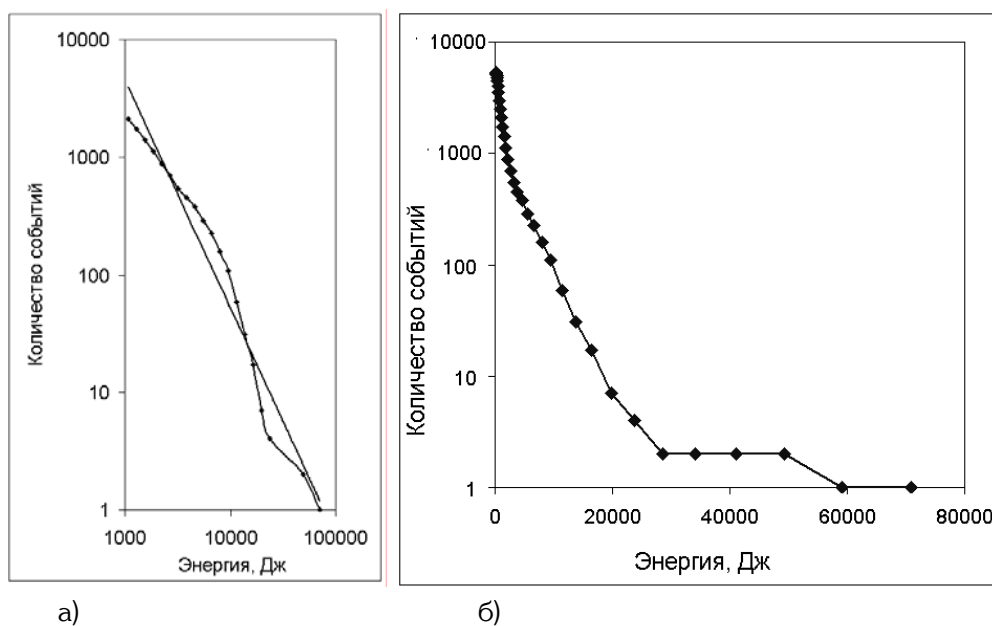
Рассмотрим эти признаки на примере изменений графиков повторяемости, наблюдаемых в последнее время на рудниках «Октябрьский» и «Таймырский» (рис. 5) и шахте «Комсомольская» (рис. 6).

Как легко видеть, тенденция трансформации графиков повторя-

мости на рудниках Талнахского месторождения несколько изменилась. С одной стороны, продолжилось уменьшение угла наклона графиков повторяемости, но в то же время наблюдается «нехватка» крупных событий. По-видимому, проводимые разгрузочные мероприятия в подстилающих породах не могут воспрепятствовать росту общей сейсмической активности, но предохраняют от сверхкрупных событий, причем не только «внесистемных» (не укладываемой в график повторяемости активаций более крупных структур), но даже «системных» - продолжения кривых на рис. 5. Таким образом, несмотря на общий рост сейсмической активности, в некотором смысле положение улучшилось. Однако подобное положение не является устойчивым, для его поддержания требуются активное ведение профилактических мероприятий.



**Рис. 5. График повторяемости сейсмособытий на рудниках «Октябрьский», «Таймырский», ш. «Комсомольская» в 2007 г.**



**Рис. 6. График повторяемости сейсмособытий на шахте «Комсомольская» в 2007 г.**

Иную картину можно видеть на шахте «Комсомольская». По сравнению с 2006 годом одновременно уменьшились частота событий - с 22 в день (и 13 - свыше 1000) до 13 в день (и 5.5 - свыше 1000 Дж) и вместе с

ней средняя энергия одного события - с 2800 Дж (4290 Дж для событий с энергией свыше 1000 Дж) до 1615 Дж (3030 Дж - для событий с энергией свыше 1000 Дж). Но, в то же время графики повторяемости стали приближаться обычному степенному виду (рис. 2, а и б, а), характерному для естественной и развитой техногенной сейсмичности. Более того, при этом даже стал выделяться опасный «хвостик» в диапазоне крупных событий (рис. 6, б). Таким образом, несмотря на общее снижение сейсмической активности, но опасность крупных событий не упала, но даже возможно несколько выросла. Относительно крупные структуры не снизили свою активность, и в какой-то мере начинают «жить своей отдельной жизнью», т.е. техногенные факторы «будят дремлющие напряженные структуры» и дают возможность высвобождения упругой энергии. Особо

отметим, что появление «хвостика» предшествовало аварии, произошедшей в июнь 2007 г. и вероятно было одним из ее предвестников.

В целом, сопоставляя изменения, произошедшие на рудниках Норильска и на шахте «Комсомольская», можно высказать предположение, что на норильских рудниках достигнут явный прогресс в области региональных мероприятий, позволяющих блокировать крупные динамические события в очень сложных условиях, однако в недостаточной мере контролируется проведение локальных мероприятий, что ведет к частым событиям средней и относительно высокой мощности. На шахте «Комсомольская», по-видимому, локальные мероприятия более эффективны и адекватны ситуации, но региональные мероприятия имеют недостаточно высокий эффект и требуют более пристального внимания.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев А.В. Проблемы наведенной сейсмичности. // Проблемы наведенной сейсмичности. - М.: Наука, 1994.- с.5-15.

2. Адушкин В.В. Техногенная сейсмичность; основные источники, причины

возникновения и их классификация. // «Горная геомеханика и маркшейдерия в III тысячелетии», СПб.: изд. ВНИМИ. 2004. - с. 45-57. **ГИАС**

---

#### Коротко об авторах

Цирель С.В. – доктор технических наук, НЦГ СПГТИ (ТУ) г. Санкт-Петербург,  
S.V. Tsirel [tsirel58@mail.ru]

Беляева Л.И. – главный геофизик-начальник сейсмостанции ФЗАО «Северсталь-Ресурс» в г. Воркута, Li.Belyaeva@vorkuta.severstalgroup.com, тел. (82151) 7-55-29

