

УДК 622.831+550.34

**СИЛЬНЕЙШИЕ ГОРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ УДАРЫ
И ТЕХНОГЕННЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА РУДНИКАХ РОССИИ**

А. В. Ловчиков

*Горный институт Кольского научного центра РАН,
E-mail: vocson@goi.kolasc.net.ru,
ул. Ферсмана, 24, 184209, г. Апатиты, Мурманской обл., Россия*

Приведены данные о сильнейших горно-тектонических ударах и техногенных землетрясениях на рудниках России в одинаковых сейсмологических показателях. Выполнено сравнение событий по энергетическим характеристикам. Показано, что сильнейшими были и остаются сейсмические события на рудниках Кольского полуострова.

Горно-тектонические удары, техногенные землетрясения, магнитуда, энергетический класс, геодинамическая опасность

Горно-тектонические удары и техногенные землетрясения — наиболее сильные динамические проявления горного давления при подземной отработке месторождений полезных ископаемых. Как показано в [1], основная разница между этими явлениями заключается в том, что очаги горно-тектонических ударов расположены непосредственно в горных выработках, а очаги техногенных землетрясений — в массиве за пределами выработок. Поэтому горно-тектонические удары вызывают в выработках значительно большие разрушения, чем техногенные землетрясения. В то же время последние происходят гораздо чаще, чем горно-тектонические удары. Проанализируем энергетические показатели наиболее мощных по выделенной энергии сейсмических событий, произошедших на российских рудниках. Характеристики сильнейших горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений по состоянию на 01.01.13 приведены в таблице. Поскольку в источниках, описывающих перечисленные события, нередко приводятся их разные количественные оценки и даже применяются различные меры таких оценок, приведем описание событий в одинаковых сопоставимых показателях.

Для оценки энергии сейсмических событий, происходящих при проведении горных работ, в международной практике используется шкала локальных магнитуд Рихтера M_L . В российской практике используются несколько видов магнитуд [2]: шкала локальных магнитуд M_L Рихтера; магнитуда M_S , определяемая по поверхностным волнам; магнитуда M_B , определяемая по объемным P и S волнам; магнитуда m_b , определяемая по телесеismicким записям волны P ; магнитуды MLH , MLV , определяемые по отношению максимальной амплитуды волны к периоду на записях горизонтальной или вертикальной компоненты стандартной низкочастотной аппаратуры. Энергия землетрясения связана с магнитудой соотношением (формула Гутенберга–Рихтера) [2]

$$\lg E = 1.5M_S + 4.8, \quad (1)$$

где E — энергия землетрясения, Дж.

Связь между магнитудами M_L и M_S записывается зависимостью [2]

$$M_S = 1.13M_L - 1.08. \quad (2)$$

Магнитуда M_B связана с магнитудой M_S соотношением [2]

$$M_S = 1.59M_B - 4.0. \quad (3)$$

Таким образом, для магнитуды, вычисленной по поверхностным волнам, соотношение между магнитудой и энергией землетрясения может быть выражено в виде

$$\lg E = 1.5M_S + 4.8,$$

а для магнитуды, вычисленной по шкале Рихтера, в виде

$$\lg E = (1.13M_L - 1.08) \cdot 1.5 + 4.8. \quad (4)$$

Если определяется магнитуда MLH , то формулы для вычисления энергии землетрясения таковы [2]:

$$\lg E = 1.5MLH + 5.0, \quad (5)$$

$$\lg E = 1.5MLV + 5.0.$$

Добавим, что энергетический класс землетрясения k находится по соотношению

$$k = \lg E. \quad (6)$$

Приведенные соотношения достаточны для того, чтобы в одинаковых величинах оценить показатели, представленные в таблице. Почти половина событий относится к месторождениям Кольского полуострова. В последнее время для сейсмических событий на Кольском полуострове появились оценки их энергетических показателей по записям на нескольких сейсмических станциях [3, 4], что позволяет считать их наиболее объективными.

Как видно из таблицы, сильнейшими сейсмическими событиями на российских рудниках являются горно-тектонические удары 17.08.99 на руднике “Умбозеро” Ловозерского редкометалльного месторождения и 16.04.89 г. на Кировском руднике Хибинского апатитового месторождения. Сравним энергетические характеристики этих двух событий. В работе [3] энергетический класс события № 1 $k = 11.8$, события № 3 $k = 10.5$. В работе [4] магнитуды этих событий таковы: событие № 1 $MLV = 4.3 \pm 0.2$, событие № 3 $MLH = 3.6 \pm 0.1$. Определим энергетический класс событий № 1 и № 3, выраженный в магнитудам, по соотношению (5). Для события № 1 $\lg E = 11.45$, для события № 3 $\lg E = 10.4$. Таким образом, энергетический класс событий, вычисленный по магнитудам, в пределах точности измерений соответствует указанному в [3]. Итак, сейсмическая энергия события № 1 $E = 1 \cdot 10^{11.8}$ Дж, события № 3 — $E = 1 \cdot 10^{10.5}$ Дж, откуда следует, что горно-тектонический удар на руднике “Умбозеро” 17.08.99 по выделенной энергии приблизительно в 20 раз мощнее, чем горно-тектонический удар на Кировском руднике в Хибинах, произошедший 16.04.89.

Для сопоставления: техногенное землетрясение, произошедшее на Кировском руднике в Хибинах 21.10.10 (событие № 4), согласно работе [4], имеет магнитуду $MLV = 3.1$. По соотношению (5) его энергетический класс равен 9.65, что соответствует оценке энергии землетрясе-

ния, приведенной в работе [5]: $E = 7 \cdot 10^9$ Дж. Если сравнить энергию техногенного землетрясения 21.10.10 с энергией горно-тектонического удара на этом же руднике 16.04.89, то она оказывается в 5 раз меньше, чем при горно-тектоническом ударе.

Сильнейшие горно-тектонические удары и техногенные землетрясения на российских рудниках

Номер п/п	Месторождение/ рудник	Дата события	Тип события	Энергия события			Последствия в руднике и на поверхности	Источник
				$k = \lg E$	M_S	M_L		
1	Ловозерское редко- металльное / “Умбо- зеро”	17.08.99	ГТУ*	11.8	4.7	5.1	Разрушения вырабо- ток $S=650$ тыс. m^2 ; трещина до поверх- ности длиной 0.5 км	Собственная информация
2	Ловозерское редко- металльное / “Умбо- зеро”	04.10.04	ГТУ	9.8**	3.3	3.9	Расширение трещи- ны на 150 м	То же
3	Хибинское апатито- вое / Кировский	16.04.89	ГТУ	10.5	3.8	4.3	Трещина 200 м по вертикали, разруше- ние крепи выработок	[5]
4	Хибинское апатито- вое / Кировский	21.10.10	ТЗ*	9.7	3.2	3.8	Незначительные по- вреждения крепи	[5]
5	Южно-Уральский бокситовый рудник / шахта “Кургазак- ская”	28.05.90	ГТУ	10.5**	3.8	4.3	$S_{обр}=450$ тыс. m^2	[6]
6	Южно-Уральский бокситовый / “Бли- ново-Каменский”	29.07.94	ГТУ	10.1**	3.5	4.1	$S_{обр}=300$ тыс. m^2	[6]
7	Верхнекамское ме- сторождение калий- ных солей / СКРУ-2	05.01.95	ГТУ	10.1**	3.5	4.1	$S_{обр}=300$ тыс. m^2 , мульда на поверхно- сти площадью 850×650 м	[7]
8	Таштагольское же- лезорудное / Ташта- гольский	24.10.99	ГТУ	9.4	3.0	3.6	Разрушение вырабо- ток, $S=1.5$ тыс. m^2	[8]
9	Ловозерское редко- металльное / “Кар- насурт”	17.12.02	ГТУ	9.2	2.9	3.6	Разрушение целиков и выработок, $S \approx 20$ тыс. m^2	Собственная информация
10	Северо-Уральский бокситовый рудник / шахта 15-15бис	05.10.84	ГТУ	8.6	2.5	3.2	Выброс 40 m^3 поро- ды, нарушено 740 м выработок	[9]
11	Северо-Уральский бокситовый рудник / шахта 14-14бис	25.03.04	ГТУ	8.6**	2.5	3.2	Погибли 3 шахтера, обрушение 145×61 м	[10]
12	Северо-Уральский бокситовый рудник / шахта 15-15бис	13.02.10	ТЗ	9.1	2.9	3.5		[11]

* ГТУ — горно-тектонический удар; ТЗ — техногенное землетрясение.

** Получено расчетным путем.

О сейсмических событиях № 5 и № 6 на Южно-Уральских бокситовых рудниках имеется незначительное количество инструментальных данных, характеризующих их сейсмическую энергию. В частности, в работе [12] указано, что их энергетический уровень составляет 10^{10-11} Дж без указаний на конкретные инструментальные определения. В нескольких публикациях приведено качественное описание этих событий. Наиболее детальные данные о событиях № 5 и № 6 имеются в работе [6], согласно которой будем проводить количественные определения их энергетических характеристик. Однако для объективной оценки событий используем также другие данные.

Первые описания горно-тектонического удара на шахте “Кургазакская” (событие № 5) даны в работе [13], но без инструментальной оценки его энергии. В [14] приведена приближенная энергетическая характеристика этого события $E = (10^{10} - 10^{11})$ Дж, поскольку ссылок на инструментальные определения не приводится. Вследствие этих обстоятельств, для оценки энергии событий № 5 и № 6 прибегнем к косвенным методам ее определения. В работе [15] установлена зависимость между энергией горно-тектонического удара и размерами его очага:

$$\lg E = 3.26L + 8.3, \quad (7)$$

где L — поперечный размер очага события, км.

Значение L вычисляется по формуле

$$L = \sqrt{S}, \quad (8)$$

где S — площадь очага (участка разрушений), м².

Определим по этим соотношениям энергию сейсмических событий на Южно-Уральских бокситовых рудниках 28.05.90 и 29.07.94. Согласно [6], площадь очага события № 5 составляет 450 тыс. м², события № 6 — 300 тыс. м². Поперечный размер очагов: $L_5 = 0.67$ км и $L_6 = 0.55$ км. Соответственно энергия событий, согласно формулам (7) и (8), $E_5 = 1 \cdot 10^{10.5}$ Дж и $E_6 = 1 \cdot 10^{10.1}$ Дж. Заметим, что натурная проверка последствий событий № 5 и № 6, так же как и события № 1, вряд ли возможна, поскольку шахта “Кургазакская” и рудник “Блиново-Каменский” затоплены в 2001 г., а рудник “Умбозеро” в 2009 г.

В отношении события № 7 на Верхнекамском месторождении калийных солей существует несколько противоречивых данных. В частности, в работе [16] оно рассматривается как газодинамическое явление продолжительностью 4 мин, в [7] приводятся разные оценки его магнитуды. По макросейсмическим данным магнитуда этого события оценивается значением $M_S = 3.5 - 3.8$, а по объемным волнам $M_B = 4.5$ [7]. Однако если значение магнитуды, полученное по объемным волнам, привести к значению магнитуды по поверхностным волнам, согласно выражению (3), то получим

$$M_S = 1.59 \cdot 4.5 - 4.0 \cong 3.2,$$

т. е. M_S имеет значительно меньшее значение, чем приведено выше. Если подсчитать энергию этого события косвенным методом, с помощью формул (7) и (8), то получим $\lg E = 10.1$; $M_S = 3.5$; $M_L = 4.1$, что соответствует оценкам работы [7].

Сильнейший горно-тектонический удар на Таштагольском железорудном месторождении произошел 24.10.99 и имел энергию (по данным сейсмостанции “Таштагол”) $E = 2.3 \cdot 10^9$ Дж [8]. Энергетический класс и магнитуды M_S и M_L , вычисленные по этим данным, приведены в таблице (событие № 8).

Мощные горно-тектонические удары и техногенные землетрясения, произошедшие на Северо-Уральском бокситовом руднике, представлены в таблице (события № 10–12). В 2010 г. (13.02) на СУБРе произошло сильнейшее за всю историю наблюдений на этом руднике сейсмическое событие с энергией $1.26 \cdot 10^9$ Дж [11]. Магнитуда данного события в работе [11] оценена величиной $M = 4.2 - 4.7$, без указания, по какой шкале она вычислялась. Однако расчет по формулам (1), (2) показывает, что при таком энергетическом уровне магнитуды события составляют: $M_S = 2.9$ и $M_L = 3.5$, т. е. значительно меньше, чем указано в работе [11]. Сравнение по магнитудам и энергетическому уровню (см. таблицу) этого сильнейшего для СУБРа сейсмического события подтверждает, что оно в десятки раз слабее, чем максимальные сейсмические события на Ловозерском и Хибинском месторождениях.

ВЫВОДЫ

Анализируя данные таблицы, можно констатировать, что в текущий момент сильнейшими сейсмическими событиями на рудниках России являются горно-тектонические удары на Ловозерском (рудник “Умбозеро” 17.08.99), Хибинском (Кировский рудник, 16.04.89) и Южно-Уральском (шахта “Кургазакская”, 28.05.90) месторождениях. Поскольку геодинамическая опасность, как установлено в [17], определяется энергией максимального, произошедшего на месторождении геодинамического события, указанные месторождения являются наиболее геодинамически опасными в нашей стране.

Южно-Уральское бокситовое месторождение к текущему моменту отработано, а его рудники затоплены, так же как и рудник “Умбозеро” на Ловозерском месторождении, вследствие чего говорить об их геодинамической опасности, казалось бы, не имеет смысла. Однако на Ловозерском месторождении эксплуатируется рудник “Карнасурт” со сходными с рудником “Умбозеро” горно-геологическими условиями. Продолжает эксплуатироваться Кировский рудник на Хибинском апатитовом месторождении. Сильные сейсмические события на этих рудниках свидетельствуют об актуальности проблемы геодинамической безопасности на указанных месторождениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ловчиков А. В. Современное состояние проблемы регистрации, прогноза и предупреждения горно-тектонических ударов в рудниках // ГИАБ. — 2008. — № 5.
2. Методы оценки сейсмических воздействий (пособие) // Вопр. инж. сейсмологии. — М.: Наука, 1993. — Вып. 34.
3. Годзиковская А. А., Асминг В. Э., Виноградов Ю. А. Ретроспективный анализ первичных материалов о сейсмических событиях, зарегистрированных на Кольском полуострове и прилегающей территории в XX веке. — М.: Ваш полиграфический партнер, 2010.
4. Габсатарова И. П. Определение магнитуды MLV по поверхностным волнам региональных событий Кольского полуострова / Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: материалы 6-й Междунар. сейсм. школы. — Обнинск: ГС РАН, 2011.
5. Козырев А. А., Каган М. М., Константинов К. Н., Жиров Д. В. Деформационные предвестники техногенного землетрясения на объединенном Кировском руднике ОАО “Апатит” / Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: тр. Всерос. конф., посвященной 80-летию акад. М. В. Курлени (3-6 октября 2011 г.). — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2011. — Т. II.
6. Ловчиков А. В. Некоторые сильнейшие техногенные землетрясения на российских рудниках / Геологические опасности: материалы XV Всерос. конф. с междунар. участием / отв. ред. Ф. Н. Юдахин. — Архангельск: Ин-т экол. проблем Севера АНЦ Уро РАН, 2009.

7. **Маловичко А. А., Блинова Т. С., Лебедев А. Ю., Некрасова Л. В.** Соликамское землетрясение 5 января 1995 г. / Проблемы безопасности при эксплуатации месторождений полезных ископаемых в зонах градопромышленных агломераций: материалы междунар. симп. SRM-95. — Екатеринбург: Изд. Уро РАН, 1997.
8. **Геодинамическая безопасность** при освоении недр и земной поверхности. — Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003.
9. **Каталог** горных ударов на рудных и нерудных месторождениях (Северо-Уральское, Таштагольское, Октябрьское (Норильск), Юкспорское, Кукисвумчорское (производственное объединение “Апатит”), Кочкарское и другие месторождения. — Л.: ВНИМИ, 1989.
10. <http://www.nakanune.ru/news/2004/04/06>
11. **Томилини Н. Г., Воинов К. А., Селивоник В. Г., Глотов С.В.** Техногенное землетрясение как результат неустойчивости шахтного поля / Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: тр. Всерос. конф., посвященной 80-летию акад. М. В. Курлени (3-6 октября 2011 г.) — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2011. — Т. II.
12. **Ломакин В. С., Халевин Н. И.** Горно-тектонические удары в реальной сейсмичности Урала // Геодинамическая безопасность при освоении недр и земной поверхности. — Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002.
13. **Ильин А. М., Антипов В. Н., Неймарк А. М.** Безопасность труда в горной промышленности. — М.: Недра, 1991.
14. **Ломакин В. С., Юнусов Ф. Ф.** Оперативный метод сейсмологических наблюдений на рудниках // Прогноз и предотвращение горных ударов на рудных месторождениях. — Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1993.
15. **Ловчиков А. В.** Оценка геодинамической опасности месторождений по энергии сейсмических проявлений в рудниках // Горн. журн. — 2004. — № 10.
16. **Лаптев Б. В.** Аварийные ситуации на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей // Безопасность труда в пром-ти. — 2009. — №8.
17. **Ловчиков А. В.** Техногенное сейсмическое событие как критерий геодинамической опасности месторождения / Тр. междунар. конф. “Геодинамика и напряженное состояние недр Земли” (22-26 июня 2009 г.) — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2010.

Поступила в редакцию 4/VI 2013