

УДК 622.831

Горно-тектонические удары на Ловозерском редкометальном месторождении

А.В. Ловчиков

Горный институт Кольского научного центра РАН, Апатиты

Аннотация. Охарактеризованы параметры и формы проявления наиболее опасных геодинамических явлений в рудниках – горно-тектонических ударов – в условиях Ловозерского месторождения на Кольском полуострове. Рудники этого месторождения отличаются тем, что горно-тектонические удары и техногенные землетрясения происходят здесь более часто и мощно, чем на других рудниках России. Здесь, в частности, произошло сильнейшее за всю историю эксплуатации рудников России техногенное землетрясение (горно-тектонический удар) 17.08.1999 г., рудник "Умбозеро" (магнитуда $M = 4.0-4.4$), разрушившее 650 тыс. м² горных выработок рудника. В работе описаны параметры происшедших в рудниках горно-тектонических ударов, проанализированы причины, их вызывающие, рассмотрены условия проявления и последствия ударов для эксплуатирующего месторождение рудника "Карнасурт". Установлено, что основными причинами горно-тектонических ударов на месторождении являются повышенные гравитационно-тектонические напряжения в массиве и его структурно-блоковое строение, разряжающиеся в виде ударов под воздействием горных работ.

Abstract. The parameters and types of mine-tectonic rock bursts, the most hazardous geodynamic events occurred in the underground mines, the Lovozersky deposit, the Kola Peninsula, have been characterized. Mine-tectonic rockbursts and mining-induced earthquakes occur at these mines more often, being of very high-energy, compared to those recorded at other mines of Russia. In particular, a mining-induced earthquake, the largest, most damaging event recorded in the history of mine operations in Russia (mine-tectonic rockburst), occurred in the Umbozero Mine (with $M = 4.0-4.4$) in August 17, 1999, producing significant damage of mine workings (650 thousand m²). The paper describes the parameters of mine-tectonic rockbursts occurred at these mines, analyses the reasons inducing these events, considers the conditions and consequences of rockbursts in the Karnasurt Mine, the Lovozersky deposit. It has been established that the structural-block structure of rock masses and high gravitational-and-tectonic stresses concentrated in them are main reasons of mine-tectonic rockbursts.

1. Введение

В последние годы на российских рудниках стала актуальной проблема горно-тектонических ударов, которые вызывают массовое разрушение горных выработок и нередко сопровождаются жертвами среди персонала. Горно-тектонические удары зарегистрированы на Североуральском бокситовом и Таштагольском железорудном рудниках, Хибинском апатитовом месторождении и других. До 1989 г. по инициативе ВНИМИ осуществлялся систематический учет горных и горно-тектонических ударов (*Каталог...*, 1989). Однако с 90-х годов такой учет не ведется, хотя проблема горных ударов своей актуальности не утратила. К вышеупомянутым прибавились другие удароопасные месторождения и рудники, а горно-тектонические удары не только не прекратились, а на некоторых месторождениях проявились с еще с большей мощностью.

2. Сейсмическая активность массива Ловозерского месторождения

Ловозерское редкометальное месторождение, расположенное в центре Кольского полуострова, в течение последних лет уверенно занимает первое место по геодинамической (сейсмической) активности массива среди всех эксплуатируемых рудных месторождений России. Для иллюстрации данного утверждения на рис. 1 приведена гистограмма распределения сильных сейсмических событий в массиве месторождения. На рис. 1 приведено число событий, происшедших в течение прошлых лет, энергия которых оценивается магнитудой $M > 1.0$, т.е. более 10⁶ Дж. Энергия максимального события при этом составила 10¹¹ Дж (рудник "Умбозеро", 17.08.1999 г.). Ни на одном другом рудном месторождении России такого количества сильных сейсмических событий не наблюдается.

Приведенные данные (рис. 1) вполне объективны, так как сейсмические события регистрируются и взаимно проверяются 4 сейсмическими станциями: "Ловозеро" Геофизической службы РАН (размещается непосредственно на территории рудника "Карнасурт"), "Ревда" Ловозерского ГОК (размещается на территории рудника "Умбозеро"), "Апатиты" Геофизической службы РАН (50 км от месторождения), "ARRAY" сейсмостанции "Апатиты" (60 км от месторождения). Расчетные сравнения

показывают, что сейсмическая активность массива Ловозерского месторождения в настоящее время в десятки и сотни раз выше, чем на таких удароопасных месторождениях России, как Североуральское, Таштагольское, Хибинское и другие (Ловчиков, 2004а). Сейсмические события происходят в горных выработках рудников, разрушая их, и вблизи выработок в окружающем массиве.

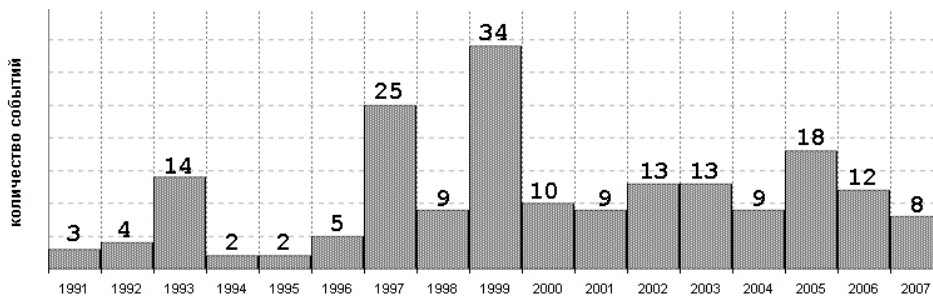


Рис. 1. Распределение по годам количества сильных сейсмических событий ($M \geq 1$) в массиве Ловозерского месторождения

Работами Горного института КНЦ РАН показано (Ловчиков, Асминг, 2002), что сейсмичность Ловозерского массива является техногенной, индуцированной влиянием горных работ. Ловозерское месторождение отрабатывается двумя рудниками: рудником "Карнасурт" (начало эксплуатации – 1951 г.) и рудником "Умбозеро" (начало эксплуатации – 1984 г.). Оба рудника являются опасными по горным ударам. Появление и рост сейсмичности массива месторождения в работах Горного института связывают с функционированием и выходом на полную проектную мощность к 1990 г. рудника "Умбозеро" (Ловчиков, Асминг, 2002). Действительно, до 1991 г. никакой сейсмичности в районе месторождения не наблюдалось, хотя рудник "Карнасурт" функционировал до этого момента 40 лет. В первоначальный период работы рудника "Умбозеро" (1984-90 гг.) сейсмических событий в массиве тоже не было.

Как установлено исследованиями Горного института КНЦ РАН, сильнейшие сейсмические события на руднике "Умбозеро" связаны с одновременной отработкой двух пологопадающих (угол наклона 17°) сближенных рудных залежей, расположенных на расстоянии 50-60 м друг от друга по вертикали, и зоной совместной отработки этих залежей. На руднике с 1984 г. в первую очередь отрабатывалась нижняя залежь, мощностью 2.5 м. Когда площадь отработки по ней достигла ~ 2 км по простиранию и 400-500 м по падению, над отработанной частью залежи стала отрабатываться верхняя залежь, мощностью 5.5 м. Выемка обеих залежей осуществлялась камерно-целиковой системой с камерами шириной 15-20 м и длиной 60-150 м, разделяемыми ленточными целиками шириной 3-15 м, без обрушения и закладки отработанных камер. Вскоре после начала выемки верхней залежи вблизи места совместной отработки на нижней отработанной части залежи произошли несколько сильных горно-тектонических ударов (25.10.91-9.11.91 г.; $M = 2.2-2.6$), в результате которых было разрушено около 80 тыс. m^2 выработок. При дальнейшей выемке верхней залежи в зоне сближенной отработки на нижней залежи произошло еще несколько горных и горно-тектонических ударов. И, наконец, когда площадь отработки по верхней залежи над отработанной частью нижней достигла ~ 1 км по простиранию и 0.2 км по падению, в массиве рудника произошел сильнейший горно-тектонический удар (17.08.1999 г., $M = 4.0.4.4$), в результате которого были разрушены горные выработки нижней залежи на площади 650 тыс. m^2 . В работах (Ловчиков, Асминг, 2005; Савченко и др., 2004) показано, что, по существу, удар был спровоцирован порядком развития горных работ в высоко тектонически напряженном массиве. Тектоническая напряженность (величина горизонтальных сжимающих напряжений в массиве составляет 50-60 МПа) послужила основной причиной сейсмических событий и горно-тектонических ударов. После горно-тектонического удара 17.08.1999 г. рудник "Умбозеро" по технико-экономическим условиям стал снижать свою производительность, а в 2004 г. был законсервирован. В текущий момент предполагается мокрая консервация (затопление) рудника.

Несмотря на закрытие рудника "Умбозеро", сейсмичность массива месторождения не прекратилась, а остается постоянно высокой на уровне ~ 10 событий с магнитудой $M \geq 1$ в год (рис. 1). Более того, сильные сейсмические события и горно-тектонические удары с 2001 г. стали происходить в пределах шахтного поля другого рудника "Карнасурт", чего ранее не наблюдалось. Отмечается тенденция увеличения числа сильных сейсмических событий на руднике "Карнасурт", что видно из данных рис. 2, где показано распределение числа событий на шахтных полях рудников в последние годы. Из рисунка следует, что в первоначальный период (1991-99 гг.) число событий в массиве росло за счет рудника "Умбозеро". Однако после события 17.08.1999 г. оно там резко упало. В то же время число

сильных событий стало расти на руднике "Карнасурт", тогда как на руднике "Умбозеро", в связи с консервацией, такие события практически прекратились (рис. 2). Следует заметить, что подавляющее большинство сильных сейсмических событий происходит в массиве вблизи горных выработок, и только некоторая их часть, около 5 % всех событий, проявляется в виде горно-тектонических ударов, очаги которых находятся непосредственно в выработках.

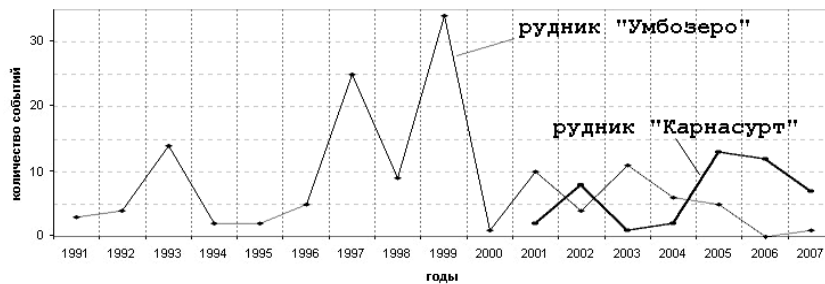


Рис. 2. Распределение количества сильных сейсмических событий ($M \geq 1$) по годам в массивах рудников "Карнасурт" и "Умбозеро"

Схема взаимного расположения шахтных полей рудников с местоположением очагов наиболее сильных горно-тектонических ударов на них, а также расположением сейсмостанций "Ловозеро" и "Ревда", приведена на рис. 3. На схеме приведены очертания выработанных пространств и выработок рудников только по нижним залежам, отработанным на рудниках в большей степени, чем верхние, и очагов сильнейших горно-тектонических ударов на них. Следует отметить, что в массиве рудников, кроме отмеченных событий, происходит множество более мелких событий с энергией 10^3-10^5 Дж, которые регистрируются сейсмостанциями "Ловозеро" и "Ревда". Таких событий регистрируется порядка 800 в год; их местоположение на рис. 3 не показано.

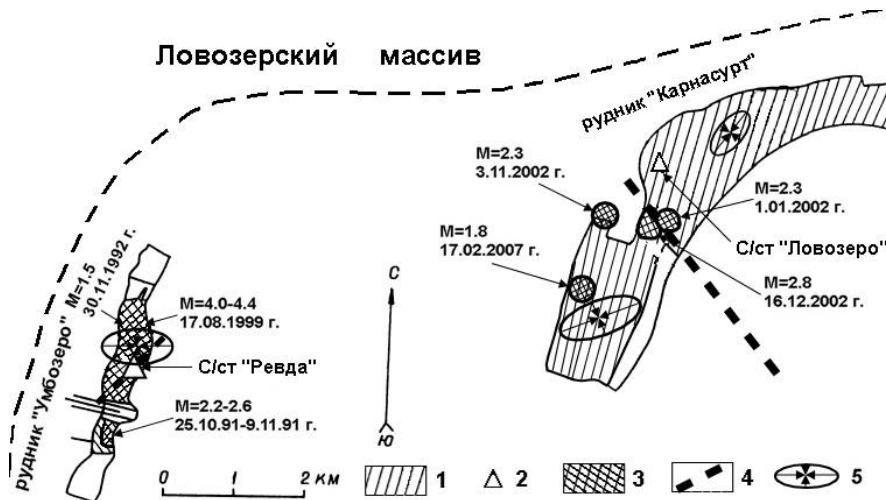


Рис. 3. Схема расположения очагов горно-тектонических ударов в рудниках Ловозерского месторождения (1 – выработанное пространство рудников; 2 – сейсмостанции; 3 – очаги горно-тектонических ударов; 4 – естественные и техногенные разломы; 5 – эллипсы главных напряжений в массиве)

3. Горно-тектонические удары на руднике "Умбозеро"

Остановимся на формах проявления горно-тектонических ударов в рудниках. Для рудника "Умбозеро" эти формы описаны, в частности, в работе (Козырев и др., 2002). Характерным для горно-тектонических ударов на руднике "Умбозеро" служит то обстоятельство, что они вызываются большими горизонтальными тектоническими напряжениями, действующими в массиве рудника. Горизонтальные напряжения вызывают относительный сдвиг геолого-структурных блоков в направлении действия максимальных напряжений в массиве под влиянием горных выработок. Поэтому основной формой разрушения выработок и целиков на руднике "Умбозеро" является сдавливание относительно узких подготовительных и капитальных выработок меридионального направления в кровле и почве. В результате горно-тектонических ударов сечение выработок перекрывается на площади от 10 % до 90 % за счет

разрушений в кровле и ее сопряжениях с боками, а также почве выработок. Целики также разрушаются по периферии и в сопряжениях с кровлей, не теряя, в основном, способности сопротивляться вертикальным нагрузкам. Площадь разрушенных выработок в плоскости нижней рудной залежи в результате горно-тектонических ударов на руднике "Умбозеро" составляла от 500 м² до 650 тыс. м² (магнитуда ударов от $M = 1.5$ до $M = 4.4$). Выработки верхней залежи разрушениям не подвергались.

4. Горно-тектонические удары на руднике "Карнасурт"

На руднике "Карнасурт" последствия горно-тектонических ударов гораздо менее значительны. Поскольку для рудника "Карнасурт" они ранее практически не описывались, остановимся на них более подробно. Рудник "Карнасурт" отрабатывает две пологопадающие (угол падения 10-12°) пластообразные рудные залежи, мощностью 1 м каждая, расположенные на расстоянии 90-120 м по вертикали друг от друга в массиве весьма крепких скальных пород. Оработка осуществляется сплошной системой с поддержанием покрывающих пород ленточными целиками. Выемка руд ведется панелями шириной от 30 м до 150 м, располагаемыми по простиранию рудного тела, разделяемыми ленточными целиками, шириной от 3 м до 15 м. Панели разделяются на очистные блоки, шириной 60-120 м. Очистные блоки по простиранию ограничиваются ленточными целиками, шириной 3-10 м. Очистные блоки внутри раньше крепились деревянной кустовой крепью, а в последнее время – податливыми внутриблоковыми целиками, площадью около 1×2 м², располагаемыми через 6-10 м друг от друга. Поскольку подработанные покрывающие толщи естественным путем не обрушаются, а выработанное пространство не закладывается, объем пустот на руднике непрерывно нарастает. Площадь выработанного пространства ежегодно увеличивается на 120-150 тыс. м². К текущему моменту площадь обработки только по нижней залежи достигла 6 км по простиранию рудного тела при максимальной ширине 1.5 км по падению. Рудник "Карнасурт" по площади является самым большим среди рудников Кольского полуострова. На руднике целиками поддерживается несколько миллиардов тонн покрывающих пород, масса которых нарастает. Несмотря на то, что поддерживающие целики рассчитаны с достаточным запасом прочности, вызывает беспокойство возможность лавинообразного разрушения целиков в выработанном пространстве при сильных сейсмических событиях в массиве, которое может затронуть действующие выработки рудника. К тому же рудник "Карнасурт" находится в непосредственной близости от рудника "Умбозеро", который предполагается затапливать. Ближайшее расстояние между выработками рудников составляет 6 км (рис. 3).

Относительно сейсмических событий в пределах шахтного поля рудника "Карнасурт" следует отметить, что они имеют меньший энергетический уровень, чем на руднике "Умбозеро": максимальное событие на руднике "Умбозеро" имело магнитуду $M = 4.4$ (17.08.1999 г.), тогда как на руднике "Карнасурт" магнитуда максимального события составила $M \cong 2.8$ (16.12.2002 г.), т.е. приблизительно в 50 раз меньше по выделенной энергии. Соответственно, размеры очагов горно-тектонических ударов на руднике "Карнасурт" в несколько раз меньше аналогичных размеров для рудника "Умбозеро". Здесь под очагом горно-тектонического удара понимается область проявления неупругих деформаций пород, то есть трещин, обрушений, вывалов, происшедших в результате геодинамического события (Ловчиков, 2004б). Местоположение и приблизительные размеры очагов сильнейших горно-тектонических ударов на руднике "Карнасурт" по нижней отрабатываемой залежи показаны на рис. 4. На рис. 4 видно, что по местоположению участков проявлений сейсмических событий шахтное поле рудника резко различается: все сейсмические события происходят на западном фланге и в межгорной долине между флангами и совершенно отсутствуют на восточном фланге. Здесь следует пояснить, что до 90-х годов отработка руд на руднике велась на восточном фланге, и только после этого периода стала развиваться на западном. На рис. 4а показано местоположение очагов горно-тектонических ударов, а точками показано положение незначительной части (за 1 квартал) более мелких событий уровня 10^3 - 10^5 Дж, которых, как указывалось, в массиве происходит множество. Характерным является то обстоятельство, что как мелкие, так и крупные события, которые стали наблюдаться в последние годы, происходят только на западном фланге рудника и отсутствуют на восточном. Установлено (Ловчиков, Асминг, 2002), что такое различие в проявлениях сейсмических событий обусловлено разным уровнем гравитационно-тектонических напряжений в разных геолого-структурных блоках массива, что выявлено инструментальными натурными измерениями (Ловчиков, Козырев, 1988).

Шахтное поле рудника "Карнасурт" разделяется на западный и восточный фланги несколькими наклонными тектоническими нарушениями III-IV рангов, которые в рельефе выражаются глубокой межгорной долиной между горами "Карнасурт" и "Кедыкверпах" (рис. 4б,в). Указанные нарушения являются межблоковой границей III ранга, по которой один блок соответствующего ранга отделяется от другого. Таким образом, западный и восточный фланги шахтного поля рудника находятся в разных геолого-структурных блоках, отличающихся по параметрам напряженного состояния массива (Ловчиков,

Асминг, 2002). Западный фланг шахтного поля находится в том же геолого-структурном блоке III ранга, в котором лежит шахтное поле рудника "Умбозеро". Характеристика главных напряжений в различных частях шахтных полей рудников "Карнасурт" и "Умбозеро" приведена в таблице.

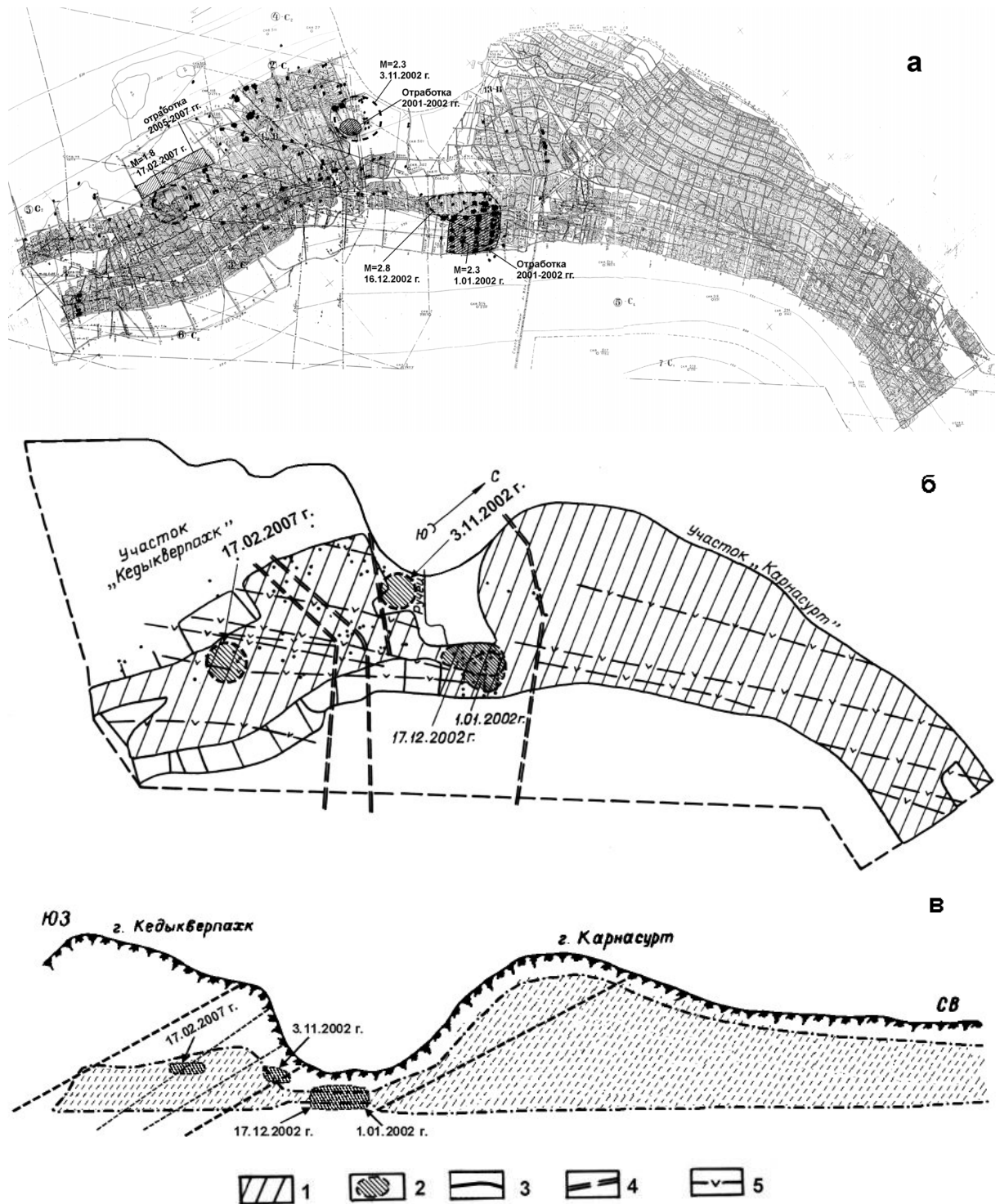


Рис. 4. Схема расположения очагов горно-тектонических ударов на шахтном поле рудника "Карнасурт" (а), плане структурной нарушенности массива (б) и в вертикальной проекции шахтного поля (в). (1 – выработанное пространство; 2 – очаги горно-тектонических ударов; 3 – контуры современной отработки; 4, 5 – геологические нарушения и трещины)

Как видно из таблицы, параметры напряженного состояния массива для западного фланга рудника "Карнасурт" и шахтного поля рудника "Умбозеро" практически одинаковы. Эти параметры отражены на рис. 3в в виде эллипсов напряжений с направлением длинных осей по направлению наибольших напряжений.

Таблица. Характеристика естественного напряженного состояния массива на рудниках "Карнасурт" и "Умбозеро"

| Участок, рудная залежь | Глубина измерений от поверхности, м | Местоположение участка измерений | Величина и направление главных напряжений | | | | Соотношение компонент напряжений $\sigma_3 : \sigma_2 : \sigma_1$ |
|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---|-------------------------------|---------------|---------------|---|
| | | | σ_3 | | σ_1 | | |
| | | | Величина, МПа | Азимут, град. $\pm 180^\circ$ | Величина, МПа | Наклон, град. | |
| Рудник "Карнасурт" | | | | | | | |
| Восточный фланг (нижний пласт) | 400 | гор. +280 м | 40 | 50 | 11 | 90 | 4 : 2 : 1 |
| Западный фланг (нижний пласт) | 310-370 | гор. +370 м | 60 | 90 (270) | 10 | 90 | 6 : 3 : 1 |
| Рудник "Умбозеро" | | | | | | | |
| Нижняя залежь (блоки 1ю-1с) | 200-300 | гор. +250 м | 50-60 | 230-265 | 6-7 | 90 | (7 : 3 : 1) – – (10 : 5 : 1) |

Высокий уровень гравитационно-тектонических напряжений в массиве геолого-структурного блока, вмещающего рудник "Умбозеро" и западный фланг рудника "Карнасурт", $\sigma_3 = (50+60)$ МПа, с учетом концентрации напряжений вокруг выработок, обуславливает высокий уровень напряжений вблизи контура выработок

$$\sigma_d \geq 0.5 \sigma_{сж}, \quad (1)$$

где $\sigma_{сж}$ – прочность пород при сжатии, при котором происходят динамические проявления горного давления. В другом геолого-структурном блоке, в котором расположен восточный фланг рудника "Карнасурт", напряжения вблизи контура выработок не достигают такого уровня, вследствие чего там динамических проявлений горного давления не наблюдается.

Как видно на рис. 4, горно-тектонические удары на западном фланге рудника "Карнасурт" происходят также не повсеместно, а только на определенных участках. Установлено, что все горно-тектонические удары произошли там при сочетании двух горно-геологических условий:

- 1) вблизи вновь вскрываемых участков передвигающихся фронтов очистных горных работ;
- 2) в непосредственной близости от крупных тектонических нарушений и трещин, пересекающих рудную залежь, которые в процессе горных работ оставляются обычно в ленточных целиках, шириной 4-10 м (рис. 4б).

Все горно-тектонические удары произошли в краевых частях расширяющегося выработанного пространства, то есть в зонах опорного давления очистных выработок. В условиях западного фланга рудника "Карнасурт" конфигурация выработанного пространства непрерывно меняется. В текущий момент его наибольшая ширина составляет ~900 м. Однако ранее на отдельных участках между барьерными и охранными целиками, неотработанными участками она составляла до 200 м. Ширина зоны опорного давления, распространяющаяся на расстояние от одной четверти до трети ширины выработанного пространства, в условиях западного фланга равна, таким образом, 50-300 м. Все горно-тектонические удары произошли в указанных пределах от границ вновь возобновляемых очистных работ (рис. 4а).

Как известно, вблизи геологических разломов и трещин, в их краевых частях, всегда существуют повышенные тектонические напряжения. Наложение повышенных гравитационных напряжений в зонах опорного давления и зон повышенных тектонических напряжений вблизи тектонических нарушений и трещин создает зоны повышенных гравитационно-тектонических напряжений в массиве, в которых при превышении напряжениями предела прочности пород происходят горные и горно-тектонические удары. Анализ местоположения очагов горно-тектонических ударов на шахтном полу рудника "Карнасурт" показывает, что они вызваны местными, локальными концентрациями напряжений в массиве и наложением на них зон опорного давления от очистных горных работ. Хотя по времени они, как

указывалось, связаны со временем проявления горно-тектонических ударов на руднике "Умбозеро", однако, судя по местоположению, никакой взаимосвязи с этими ударами не имеют.

Следует сказать, наконец, о формах проявления горно-тектонических ударов в условиях рудника "Карнасурт". Моменты горно-тектонических ударов на промплощадке рудника ощущаются как толчки со звуком и сотрясением почвы. Под землей в очагах ударов (рис. 4а) происходят разрушения контуров околоштрековых, междублоковых и внутриблоковых целиков. Наибольшую опасность представляют разрушения в откаточно-ходовых выработках – штреках. Во время горно-тектонических ударов в штреках наблюдается образование и выпадение заколов размерами от $0.02 \times 0.1 \times 0.15$ м до $0.3 \times 1.0 \times 1.5$ м, главным образом, из сопряжения стенок штрека с надштрековыми целиками. Участки заколообразования по штрекам имеют протяженность, в зависимости от энергии горно-тектонического удара, от 100 м до 300 м. Общий объем выпавших заколов на штреках составляет от 10 м^3 до 30 м^3 . В сопряженных со штреками отработанных и обрабатываемых очистных блоках разрушения бывают гораздо более значительными. Они выражаются в локальных обрушениях кровли вблизи забоев и целиков, отслоениях с контура и кровли вблизи изолированных внутриблоковых целиков. В частности, при наиболее сильном горно-тектоническом ударе 17.12.2002 г. ($M \cong 2.8$) локальные обрушения кровли площадью 200 м^2 - 450 м^2 наблюдались в четырех соседних блоках так, что суммарная площадь вывалов составила $\sim 1200 \text{ м}^2$, а объем вывалов $\sim 1500 \text{ м}^3$. Как показывают результаты обследований состояния выработок после горно-тектонических ударов, проявления неупругих деформаций, то есть заколы, вывалы, трещины в целиках и кровле выработок, наблюдаются суммарно на площади от 20 тыс. м^2 до 90 тыс. м^2 очистных и подготовительных или капитальных выработок.

Оценим размер очагов происшедших горно-тектонических ударов по предложенной нами зависимости (Ловчиков, 2004б):

$$\lg E = 3.26 L + 8.3, \quad (2)$$

где E – энергия события, Дж; L – поперечный размер очага, км. L вычисляется по формуле:

$$L = \sqrt{S}, \quad (3)$$

где S – площадь очага, м^2 ; поперечный размер вычисляется в метрах.

Для приведенных выше значений площади разрушений $S_1 = 20$ тыс. м^2 $L_1 = 140$ м; для $S_2 = 90$ тыс. м^2 $L_2 = 300$ м. Тогда, в соответствии с формулой (2), $\lg E_1 = 8.5$; $\lg E_2 = 9.3$. Выделенная энергия $10^{8.5}$ Дж и $10^{9.3}$ Дж соответствует магнитудам $M = 1.8$ - 3.0 . Именно такая магнитуда событий зарегистрирована для горно-тектонических ударов на руднике "Карнасурт". Размеры очагов событий, показанные на рис. 4, соответствуют энергии событий. Однако последствия горно-тектонических ударов, при одинаковой либо близкой энергии событий, для рудников "Карнасурт" и "Умбозеро" значительно различаются. В частности, при горно-тектонических ударах на руднике "Умбозеро" 25.10.91-9.11.91 гг. ($M = 2.2$ - 2.6) было разрушено ~ 80 тыс. м^2 горных работ с завалами и обрушениями откаточных выработок, так что ~ 50 % неотработанных запасов было полностью потеряно. При аналогичном событии 17.12.2002 г. ($M \cong 2.8$) на руднике "Карнасурт" площадь вывалов составила суммарно $\sim 1200 \text{ м}^2$, и запасы на участке практически не были утрачены, поскольку обрушения произошли в отработанных очистных блоках. Разница в последствиях объясняется различием в выемочной мощности (2.5 м и 1 м, соответственно) очистных выработок на рудниках "Умбозеро" и "Карнасурт". На руднике "Умбозеро" очистная выемка велась с помощью самоходной техники, в связи с чем размеры поперечного сечения подготовительных и капитальных выработок составляли $S = 20$ - 24 м^2 . На руднике "Карнасурт", при выемочной мощности очистных выработок 1.2 м, применяется электровозная откатка, в связи с чем площадь поперечного сечения подготовительных и капитальных выработок составляет 6-8 м^2 . То есть на руднике "Карнасурт" сама возможность проявиться горно-тектоническим ударам в выработках значительно меньше, чем на руднике "Умбозеро". Этим и объясняется разница в последствиях горно-тектонических ударов на рудниках.

5. Выводы

1) Горно-тектонические удары на руднике "Карнасурт" территориально приурочены к его западному флангу, расположенному в более высоко тектонически напряженном геолого-структурном блоке массива, нежели остальная часть шахтного поля. Горизонтальные тектонические напряжения в этом блоке составляют 50-60 МПа, что создает повышенную удароопасность и сейсмоопасность в зонах ведения горных работ.

2) Все происшедшие горно-тектонические удары на руднике приурочены к зонам опорного давления от развивающихся фронтов очистных работ и зонам концентрации напряжений вблизи геологических разломов и трещин. Опорное давление, накладываясь на зоны повышенных напряжений

вблизи разломов и трещин, выводит блоковые структуры из положения геодинамического равновесия посредством горно-тектонических ударов.

3) Горно-тектонические удары на руднике "Карнасурт" не имеют взаимосвязи с сейсмичностью шахтного поля рудника "Умбозеро". Они обусловлены высокой тектонической напряженностью западного фланга рудника, его структурно-блоковым строением и нарушением геодинамического равновесия блоковых структур ведущимися очистными горными работами.

Литература

Каталог горных ударов на рудных и нерудных месторождениях. Северо-Уральское, Таштагольское, Октябрьское (Норильск), Юкпорское, Кукисвумчоррское (п.о. "Апатит"), Качкарское и др. месторождения. Л., ВНИМИ, 182 с., 1989.

Козырев А.А., Ловчиков А.В., Пернацкий С.И., Шершеневич В.А. Сильнейшее техногенное землетрясение на руднике "Умбозеро": горнотехнические аспекты. *Горный журнал*, № 1, с.43-49, 2002.

Ловчиков А.В. Оценка относительной геодинамической опасности удароопасных рудных месторождений по энергии сейсмопроявлений при их разработке. *Сб. докладов Международного совещания "Техногенная сейсмичность при горных работах: модели очагов, прогноз, профилактика". Апатиты, КНЦ РАН*, с.86-94, 2004а.

Ловчиков А.В. Оценка геодинамической опасности месторождений по энергии сейсмических проявлений в рудниках. *Горный журнал*, № 10, с.43-47, 2004б.

Ловчиков А.В., Асминг В.Э. Изменение геодинамического режима Ловозерского массива (Кольский полуостров) под влиянием горных работ. *Труды 8-го Международного симпозиума "Горное дело в Арктике". СПб., ОАО "Иван Федоров"*, с.48-55, 2005.

Ловчиков А.В., Козырев А.А. Напряженное состояние Ловозерского массива на нижних горизонтах обрабатываемых рудных залежей. В кн.: *Геомеханическое обеспечение разработки месторождений Кольского полуострова. Апатиты, КФАН СССР*, с.19-25, 1988.

Савченко С.Н., Ловчиков А.В., Козырев А.А. Ретроспективный анализ очага техногенного землетрясения на руднике "Умбозеро" 17.08.1999 г. В кн.: *Техногенная сейсмичность при горных работах: модели очагов, прогноз, профилактика. Апатиты, КНЦ РАН*, ч.1, с.170-179, 2004.