



**ОБОСНОВАНИЕ НОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ  
ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В РУДНИКАХ**

**А. В. Ловчиков**

*Горный институт ФИЦ Кольского научного центра РАН, E-mail: a.lovchikov@ksc.ru,  
ул. Ферсмана 24, г. Апатиты 184209, Россия*

Показано, что на всех рудных месторождениях, опасных по горным ударам, в массивах действуют гравитационно-тектоническое напряженное состояние пород, при котором преобладающую роль играют горизонтальные напряжения, обусловленные горообразовательными процессами в земной коре, которые превосходят вертикальные в несколько раз и являются основной причиной динамических проявлений горного давления. Установлено, что энергетические характеристики динамических явлений в рудниках могут быть рассчитаны по формуле сейсмического момента в очаге землетрясения, поскольку разницы в сейсмопроявлениях как при естественных процессах, так и в шахтной сейсмичности, нет. На основании закона о самоподобии сейсмического процесса на разных масштабных уровнях разработана классификация динамических проявлений горного давления в рудниках, в которой каждый вид этих проявлений характеризуется выделенной энергией и площадью (объемом) проявлений в горных выработках.

*Горные удары, землетрясения, геодинамические явления, самоподобие, классификация, энергия*

**SUBSTANTIATION OF AN ADVANCED CLASSIFICATION  
OF GEODYNAMIC PHENOMENA IN MINES**

**A. V. Lovchikov**

*Mining Institute, Kola Scientific Center, Russian Academy of Sciences,  
E-mail: a.lovchikov@ksc.ru, ul. Fersman 24, Apatity 184209, Russia*

It is shown that all rockburst-hazardous ore deposits in Russia are exposed to gravitational-tectonic stress state of rocks, in which the prevailing role is played by horizontal stresses due to mountain-forming processes in the Earth's crust exceeding the vertical stresses several times. These horizontal stresses are the main cause of dynamic rock pressure manifestations. It is shown that energy characteristics of dynamic phenomena in mines can be calculated by the formula for seismic moment in the earthquake source, since there is no difference in seismic occurrences both in natural processes and in mine seismicity. Based on the law of self-similarity of the seismic process at different scale levels, a classification of dynamic rock pressure manifestations in mines has been developed, in which each type is characterized by the released energy and area (volume) of manifestations in mine workings.

*Rockbursts, earthquakes, geodynamic phenomena, self-similarity, classification, energy*

В действующей инструкции Ростехнадзора РФ по предотвращению опасности горных ударов в рудниках [1] приведено описание различных форм геодинамических явлений в горных выработках — горно-тектонических и горных ударов, толчков и других, но без количественной характеристики этих явлений, что затрудняет возможность отличить их друг от друга. Между тем как в российской горно-технической литературе [2–4], так и в мировой [5] предложено

несколько классификаций геодинамических явлений в рудниках и шахтах по энергетическому принципу, т. е. по количеству энергии, выделяющейся при этом явлении. Общим для этих классификаций является тот факт, что они рассчитаны на гравитационные силы, поскольку единственной причиной, вызывающей динамические проявления в рудниках и шахтах, считается вес толщ покрывающих пород над горными выработками. Таким образом, природа возникновения опасности горных ударов как в шахтах, так и в рудниках, считается одинаковой, — вес толщ покрывающих пород. На этой основе разработаны правила предотвращения опасности горных ударов в шахтах и рудниках [6] и, в частности, инструкция Ростехнадзора РФ [1].

Однако причины, вызывающие горные удары и другие динамические проявления горного давления в рудниках и шахтах, существенно различны [7]. В угольных шахтах и солерудниках, которые располагаются в породных массивах осадочного происхождения, в силу длительных процессов осадконакопления и относительно слабых деформационно-прочностных свойств пород преобладает гравитационный тип естественного напряженного состояния массивов с вертикальными напряжениями, обусловленными весом толщ покрывающих пород. На рудных месторождениях, находящихся в породных массивах магматического или метаморфического происхождения, породы скальные, кристаллические, прочностные и деформационные свойства которых на порядок выше, чем свойства пород осадочных месторождений, преобладает естественное гравитационно-тектоническое напряженное состояние массивов, в котором большое значение имеет горизонтальная тектоническая составляющая напряжений [8]. Крепкие скальные породы массивов рудных месторождений в большей степени отражают напряженное состояние земной коры, чем массивы осадочных породных бассейнов. Земная кора, как известно, состоит из ряда тектонических плит, как бы плавающих на расплавленных породах астеносферы. Землетрясения, 70 % которых происходит в земной коре, вызываются горизонтальными движениями и столкновениями тектонических плит. Поэтому основными в земной коре являются горизонтальные тектонические напряжения, которые зарегистрированы различными методами в подавляющей части площади земной коры [9]. В настоящее время установлено, что в массивах рудных месторождений России, которых насчитывается более 40, действуют горизонтальные тектонические напряжения, превосходящие по величине на соответствующих глубинах вертикальные напряжения, обусловленные весом толщ налегающих пород. Особенно контрастно горизонтальные тектонические напряжения проявляются в массивах апатитовых месторождений Хибинского массива и Ловозерского редкометалльного месторождения на Кольском полуострове, где они превосходят вертикальные в 10–20 раз. Именно в рудниках этих месторождений произошли самые мощные в России горно-тектонические удары [10].

Любые динамические проявления горного давления — это резкие подвижки геологической среды в новое положение геодинамического равновесия под влиянием горных выработок и существующих в этой среде напряжений. Величина подвижки зависит от размеров горных выработок в массиве, напряженного состояния пород, размеров геолого-структурной (блоковой) неоднородности массивов и других факторов. Однако все подвижки сопровождаются сейсмическими импульсами с различной энергией. Геологическая среда самопроизвольно выбирает уровень энергии сейсмического импульса, который адекватен воздействию на нее со стороны горных выработок.

Для характеристики энергии сейсмического импульса при землетрясениях в сейсмологии используется понятие сейсмического момента в очаге [11]:

$$M_0 = GS\delta, \quad (1)$$

где  $M_0$  — сейсмический момент в очаге землетрясения, Н·м;  $G$  — модуль сдвига пород массива, МПа;  $S$  — площадь разрыва, м<sup>2</sup>;  $\delta$  — величина подвижки в очаге, м.

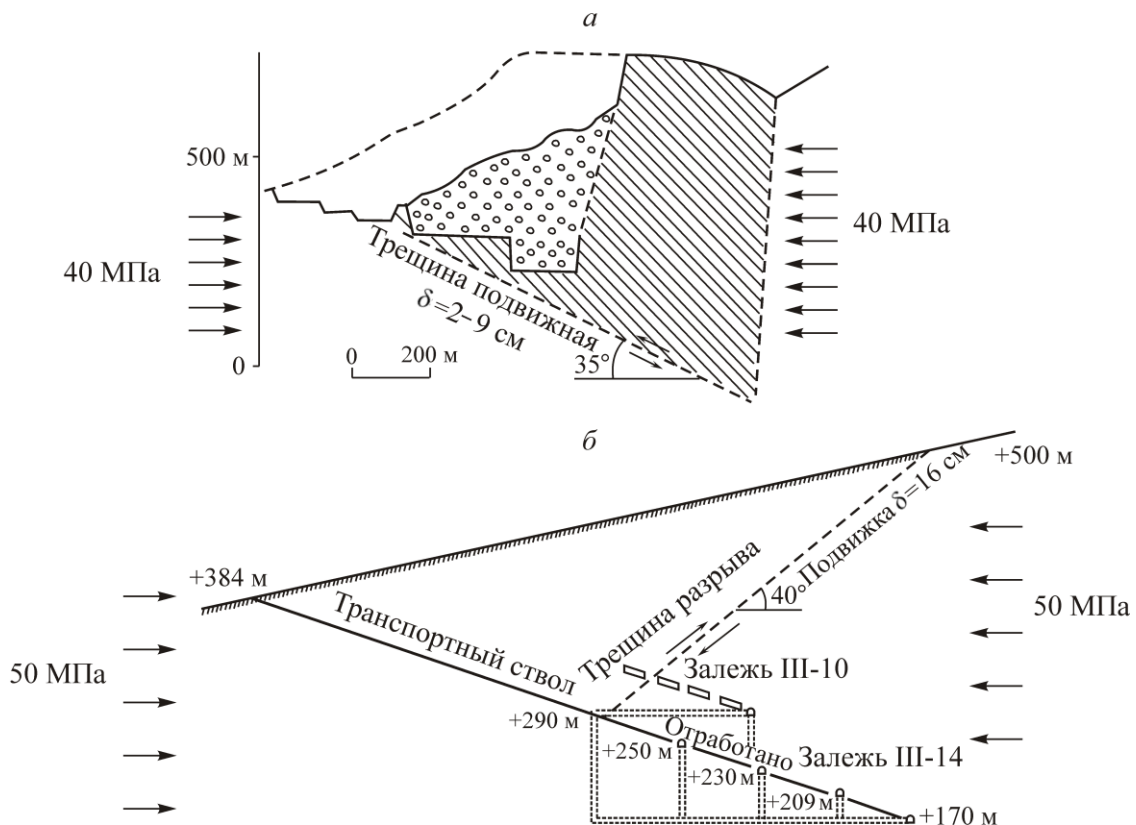
При сильных землетрясениях с магнитудой  $M > 7$  длина трещин разрыва достигает десятков-сотен километров, а величина подвижки по трещинам исчисляется метрами [12]. О возможности применения формулы сейсмического момента к событиям шахтной сейсмичности сообщалось уже давно [13], и констатировалось, что никакой разницы между шахтной сейсмичностью и сейсмичностью при землетрясениях не существует. В российской горно-технической литературе мало внимания обращали на аналогию горных ударов и сейсмических явлений в земной коре, поскольку практически до конца XX в. геодинамические события в рудниках и шахтах нашей страны имели относительно невысокий энергетический уровень. И только когда в конце XX в. и позднее в рудниках и шахтах многих стран, в том числе и России, стали происходить мощные горно-тектонические удары, сопоставимые с землетрясениями, стали указывать на аналогию этих событий с землетрясениями.

В российской горно-технической литературе нами найдено только два случая сейсмических проявлений (горно-тектонических ударов) в рудниках, энергетические характеристики которых можно было бы проверить по формулам сейсмического момента в очаге (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Параметры некоторых сильнейших горно-тектонических ударов (ГТУ) в рудниках

Рудник, месторождение	Дата ГТУ	Параметры события		Очаговые параметры	
		магнитуда, $M_L$	энергетический класс, $k$	площадь подвижки, $S \text{ м}^2$	величина подвижки, см
Кировский (Хибинское апатитовое)	16.04.1989	4.3	10.5	220 000	2–9
“Умбозеро” (Ловозерское редкометалльное)	17.08.1999	5.0	11.8	$\sim 500 \times 600 = 300\,000$	16

Схемы возникновения событий, приведенных в табл. 1, показаны на рисунке. Других примеров в отечественной горно-технической литературе не встречалось, поскольку при обследовании последствий подобных событий в рудниках эти параметры не измерялись.



Схемы механизма сейсмических событий на Кировском руднике (а) и руднике “Умбозеро” (б)

Модуль сдвига пород, необходимый для вычислений по формуле (1), находим из известного в геофизике [14] соотношения

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}, \quad (2)$$

где  $E$  — модуль упругости пород, МПа;  $\nu$  — коэффициент Пуассона для пород.

Посчитаем модуль сдвига для пород Ловозерского редкометалльного месторождения (породы — нефелиновые сиениты: луявриты, уртиты, фойяиты):  $E = 6 \cdot 10^4$  МПа;  $\nu = 0.25$ . Модуль сдвига, вычисленный по формуле (2), составит  $G = 60\,000 \text{ МПа} / 2.5 = 60\,000 \text{ т/м}^2 / 2.5 = 2.4 \cdot 10^6 \text{ т/м}^2$ .

Для пород Хибинского месторождения, представленных нефелиновыми сиенитами, модуль сдвига в первом приближении можно принять таким же, как и для пород Ловозерского месторождения. Кроме того, следует напомнить, что энергетический класс сейсмического события определяется в сейсмологии [11] по формуле

$$k = \lg E, \quad (3)$$

где  $E$  — энергия события, Дж.

Результаты расчетов энергии для событий, представленных в табл. 1, приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Результаты расчетов энергии

Рудник	Дата события	Очаговые параметры		Модуль сдвига, т/м <sup>2</sup>	Энергетические параметры		
		площадь подвижки, м <sup>2</sup>	величина подвижки, м		энергетический класс, $k$	сейсмический момент, т·м	энергия, Дж
Кировский	16.04.1989	220000	0.06	$2.4 \cdot 10^6$	10.5	$3.9 \cdot 10^{12}$	$\sim 10^{11}$
Умбозеро	17.08.1999	300000	0.16	$2.4 \cdot 10^6$	11.8	$11.5 \cdot 10^{12}$	$\sim 10^{12}$

Видно, что энергия событий, рассчитанная по формуле сейсмического момента в очаге и зарегистрированная инструментально сейсмостанциями, с учетом точности определений параметров по формуле (1) и измеренных геометрических параметров событий, совпадают. Таким образом, расчеты показывают, что оценка энергии горно-тектонических ударов в рудниках по формуле сейсмического момента в очаге события вполне возможна.

Основное отличие горно-тектонических ударов и других геодинамических явлений в рудниках от землетрясений состоит в различии очагов этих событий в рудниках и в естественных землетрясениях. В сейсмологии очагом землетрясения в недрах земли считается область, внутри которой произошли необратимые деформации (трещины, разрывы сплошности пород). Аналогично, очагом техногенного землетрясения (горного, горно-тектонического удара) в руднике следует считать область проявления неупругих деформаций, т. е. трещин, вывалов, обрушений, появившихся в результате происшедшего геодинамического события. Размеры таких областей в рудниках устанавливаются в результате обследований по следам происшедших событий. На удароопасных месторождениях эти сведения приводятся в карточке горного (горно-тектонического) удара, которую должны составлять службы рудников в соответствии с действующими инструкциями.

В работе [15] введено понятие очага горно-тектонического удара, под которым подразумевается область проявления неупругих деформаций пород в горных выработках, проявившаяся в результате события. Для удобства сравнения различных геодинамических событий предложен показатель поперечного размера очага события [16]:

$$L = \sqrt{S}, \quad (4)$$

где  $L$  — условный поперечный размер очага геодинамического события, м;  $S$  — площадь очага, т. е. площадь проявления неупругих деформаций в горных выработках вследствие события, м<sup>2</sup>.

В работах [15, 16] установлена зависимость между энергией горно-тектонических ударов с поперечными размерами их очагов:

$$k = \lg E = 3.26L + 8.3, \quad (5)$$

где  $E$  — энергия события, Дж;  $L$  — условный поперечный размер очага события, км.

Из формулы (5) видна прямо пропорциональная зависимость между размерами очага горно-тектонических ударов и энергией события. В определенной степени формула (5) выражает закон самоподобия сейсмических процессов на разных масштабных уровнях [17]. В соответствии с этим законом показатель  $L$  может характеризовать другие формы динамических проявлений горного давления — горные удары, шелушения, стреляния и др. Необходимо отметить, что формула, подобная (5), получена в [18] для солевых рудников:

$$\log S_d = 0.8M - 3.90, \quad (6)$$

где  $S_d$  — площадь обрушения, км<sup>2</sup>;  $M$  — магнитуда события.

Однако в [18] не учтен такой важный параметр, как глубина разработки, который в условиях солевых месторождений играет весьма важную роль.

На основании мировых данных об обрушениях на солевых месторождениях, была получена следующая зависимость энергии сейсмических событий от глубины разработки [10]:

$$M_L = 0.0026H + 3.35, \quad (7)$$

где  $M_L$  — энергия сейсмического события при обрушении в солерудниках, выраженная магнитудой  $M_L$ ;  $H$  — глубина обрушения, м.

Для рудных месторождений с гравитационно-тектоническим типом естественного напряженного состояния массивов зависимость энергии геодинамических событий от глубины разработки не установлена [10].

Горно-тектонические удары и сходные с ними по выделенной энергии техногенные землетрясения при горных работах — самые мощные геодинамические явления в рудниках. Энергетический уровень горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений не бывает выше  $E = 10^{12}$  Дж [10], т. е. по магнитудному уровню не бывает  $M > 5.0-5.5$ . Это обусловлено тем обстоятельством, что шахтные (рудничные) поля имеют ограниченные размеры. Протяженность шахтных полей обычно не превышает 10 км, а по объему — не более 5 км<sup>3</sup>. Поэтому в рудниках не может накопиться потенциальной энергии больше для того, чтобы произошло сейсмическое событие с энергией  $E > 10^{12}$  Дж.

Приведем определения динамических проявлений горного давления в рудниках [1, 10]. Формы геодинамических проявлений горного давления в горных выработках рудников построены по порядку убывания их энергетических характеристик и размеров проявлений в выработках. Такой порядок соответствует закону самоподобия сейсмических процессов на разных масштабных уровнях [17], формуле сейсмического момента в очаге (1) и формуле зависимости энергии события от размеров его очага (5). Как следует из формулы сейсмического момента в очаге события (1), его энергия прямо пропорционально зависит от величины подвижки  $\delta$  и площади подвижки  $S$ . Для наиболее мощных событий — горно-тектонических ударов в рудниках — установлены характерные величины подвижки в очаге (табл. 1, 2). На основании закона самоподобия сейсмических процессов на разных масштабных уровнях можно оценить величину подвижки при всех формах динамических явлений, см: горно-тектонический удар, техногенное землетрясение ~ 10, горный удар 1–2, микроудар, толчок 0.5–1.0, стреляние, динамическое заколообразование 0.1–0.5, шелушение пород 0.05–0.1.

Сейсмические (динамические) события в выработках более мелкого энергетического класса (микроудары, толчки, стреляние пород) могут происходить без образования трещин разрыва, в отличие от горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений, но с проявлениями раз-

рушения пород вблизи контура выработок. Как известно, проявления разрушений хрупких горных пород происходят при уровне относительных деформаций  $1 \cdot 10^{-4}$ . При поперечных размерах горных выработок 2–4 м абсолютная деформация пород составляет 0.2–0.4 мм. Столь малые величины деформаций, даже при разрушении пород на контуре выработок, обычно остаются незаметными, если не применять специальные высокоточные измерения. Поэтому вместо величины подвижек по трещине целесообразно определять энергетический уровень горного давления в выработках по суммарной площади этих проявлений. Тогда в соответствии с законом самоподобия сейсмического процесса на разных масштабных уровнях официальные проявления сейсмичности в рудниках [1] могут быть квалифицированы следующим образом (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3. Параметры динамических проявлений горного давления в рудниках

Вид проявлений	Энергетические параметры			Характерная площадь подвижки в очаге или проявлений в выработках, м <sup>2</sup>
	магнитуда $M_L$	энергетический класс, $k$	энергия, Дж	
Горно-тектонический удар, техногенное землетрясение	3–5	9–12	$10^9 - 10^{12}$	более 100 000
Горный удар	1–3	6–9	$10^6 - 10^9$	~ 100
Микроудар, толчок	0–1	4–6	$10^4 - 10^6$	10–50
Стреляние, заколообразование	–1–2	2–4	$10^2 - 10^4$	2–10
Шелушение	–2–3	0–2	1–10	1–2

Примечание. Энергия проявлений горного давления в выработках может уточняться по результатам фактических измерений.

Представленная классификация позволяет количественно отличать динамические проявления горного давления в рудниках, поскольку в официальном документе [1] таких различий не дано. Принципиальное отличие классификации геодинамических явлений в рудниках (табл. 3) от классификаций, предложенных ранее в [2–4], состоит в том, что они рассчитаны на разные виды действующих в массиве напряжений. Классификации в [2–4] рассчитаны на разрушающее действие вертикальных напряжений, обусловленных весом толщ покрывающих пород. Классификация в них осуществляется только по количеству энергии, выделившейся при том или ином событии, но без привязки к конкретным горно-геологическим условиям рудников [19]. В условиях угольных и солевых месторождений эти классификации, вероятно, могут иметь место. Однако в условиях рудных месторождений, где главную роль играют горизонтальные тектонические напряжения, эти классификации применены быть не могут. Поэтому в работе [19] не приведено конкретных примеров привязки указанных классификаций для объяснения примеров проявлений горного давления.

Предлагаемая классификация исходит из превалирующего действия в массивах рудников горизонтальных тектонических сил, основана на конкретных примерах проявления горно-тектонических ударов в условиях действующих рудников и поэтому удовлетворяет современным условиям удароопасных рудных месторождений. Разработанная классификация, в той или иной мере должна быть введена в действующие инструктивные документы для эксплуатации этих месторождений.

## ВЫВОДЫ

В современной инструкции Ростехнадзора РФ по предупреждению опасности горных ударов в рудниках отсутствуют количественные критерии разделения различных форм проявлений горного давления, а сама инструкция устарела, поскольку единственной причиной горных ударов в ней считается вес толщ покрывающих пород. Основная причина динамических прояв-

лений в рудниках — горизонтальные тектонические напряжения, обусловленные горообразовательными процессами в литосфере. На всех удароопасных рудных месторождениях России горизонтальные тектонические напряжения в массивах играют главную роль.

Поскольку в закономерностях проявления естественной и шахтной сейсмичности нет разницы, определены энергетические характеристики двух наиболее мощных горно-тектонических ударов в рудниках России по формулам сейсмического момента в очаге землетрясений. Показано, что рассчитанные энергетические характеристики этих событий соответствуют практике, поэтому оценку сейсмических проявлений в рудниках возможно проводить по сейсмологическим закономерностям.

На основании закона о самоподобии сейсмического процесса на разных масштабных уровнях, энергетических и геометрических характеристиках горно-тектонических ударов предложена новая классификация геодинамических явлений для рудников. В предложенной классификации каждый из видов явлений охарактеризован энергетическим уровнем и площадью (объемом) проявлений в горных выработках.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Federal norms** and rules in the field of industrial safety “Regulations on safe mining operations at rockburst-prone and rockburst-hazardous deposits” (approved by Order, of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of December 2, 2013 no. 576). [**Федеральные нормы** и правила в области промышленной безопасности “Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам” (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 2 декабря 2013 г. № 576).]
2. **Shemyakin E. I., Kurlenya M. V., and Kulakov G. I.** On the classification of rockbursts, *Journal of Mining Science*, 1986, no. 5, pp. 2–11. [**Шемякин Е. И., Курленя М. В., Кулаков Г. И.** К вопросу о классификации горных ударов // ФТПРПИ. — 1986. — № 5. — С. 2–11.]
3. **Smirnov V. A., Ivanov-Rostovtsev A. T., and Kolotilo L. G.** Interblock self-regulation in hierarchy of structures, *Proceedings of the Academy of Sciences*, 1992, vol. no. 4, pp. 664–666. [**Смирнов В. А., Иванов-Ростовцев А. Т., Колотило Л. Г.** Межблоковая саморегуляция в иерархии структур // ДАН. — 1992. — № 4. — С. 664–666.]
4. **Turchaninov I. A., Iofis A. M., and Kasparian E. V.** *Fundamentals of rock mechanics*, Leningrad, Nedra, 1977, 503 pp. [**Турчанинов И. А., Иофис А. М., Каспарьян Э. В.** Основы механики горных пород. — Л.: Недра, 1977. — 503 с.]
5. **Benevsky Z.** *Mining pressure management: translated from English*, Moscow, Mir, 1990, 254 pp. [**Бенявски З.** Управление горным давлением. — М., Мир, 1990. — 254 с.]
6. **Reference book** for the services of forecasting and prevention of rockbursts in mines, edited by P. V. Egorov, Moscow, Nedra, 1995, 240 pp. [**Справочное пособие** для служб прогноза и предотвращения горных ударов на шахтах и рудниках / Под ред. П. В. Егорова. — М.: Недра, 1995. — 240 с.]
7. **Lovchikov A. V.** The difference in the hazards of rockbursts in mines and coal quarries, *Fundamental and Applied Mining Science*, 2017, no. 4, pp. 105–111. [**Ловчиков А. В.** Различие в опасности горных ударов на рудниках и угольных шахтах // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2017. — № 4. — С. 105–111.]
8. **Turchaninov I. A., Markov G. A., Ivanov V. I., and Kozyrev A. A.** Tectonic stresses in the Earth’s crust and the stability of mine workings, Leningrad, Nauka, 1978, 256 pp. [**Турчанинов И. А., Марков Г. А., Иванов В. И., Козырев А. А.** Тектонические напряжения в земной коре и устойчивость горных выработок. — Л.: Наука, 1978. — 256 с.]
9. **Global patterns** of tectonic stress, *Zoback Mary Lou, Zoback Mark D., Amadei Y. and et al, Nature*, 1989, vol. 341, no. 6240, pp. 291–298.

10. **Lovchikov A. V.** The strongest earthquakes and tectonic rockbursts in the mines of Russia, Palmarium Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, 2016, 141 pp. [**Ловчиков А. В.** Сильнейшие землетрясения и горно-тектонические удары в рудниках России // Palmarium Academic Publishing, Саарбрюкен, Германия, 2016. — 141 с.]
11. **Setting** of seismic effects, Problems of engineering seismology, 1993, issue 34, Moscow, Nauka, pp. 5–94. [**Задание** сейсмических воздействий // Вопросы инженерной сейсмологии. — М.: Наука. 1993. — Вып. 34. — С. 5–94.]
12. **Nikonov A. A.** Earthquakes (Past, Modernity, Forecast), Moscow, Znaniye, 1984 (Science and Progress), 192 pp. [**Никонов А. А.** Землетрясения (прошлое, современность, прогноз). Сер. Наука и прогресс. — М.: Знание, 1984. — 192 с.]
13. **Gibovicz S. J.** Keynote lecture: The mechanism of Seismic events induced by mining, a review, Rockburst and seismicity in mines, Rotterdam, Balkema, 1990, pp. 3–27.
14. **The Mountain Encyclopedia**, vol. 5, Moscow, Soviet Encyclopedia, 1991, 263 pp. [**Горная энциклопедия**. Т. 5. — М.: Советская энциклопедия, 1991. — 263 с.]
15. **Lovchikov A. V.** Parameters of the focal points of the strongest tectonic rockbursts in the mines of Russia, Mining Journal, 2000, no. 2, pp. 9–11. [**Ловчиков А. В.** Параметры очагов сильнейших горно-тектонических ударов на рудниках России // Горный журнал. — 2000. — № 2. — С. 9–11.]
16. **Lovchikov A. V.** Estimation of geodynamic danger of deposits by energy of seismic occurrences in mines, Mining Journal, 2004, no. 10, pp. 43–47. [**Ловчиков А. В.** Оценка геодинамической опасности месторождений по энергии сейсмических проявлений в рудниках // Горный журнал. — 2004. — № 10. — С. 43–47.]
17. **Sadovsky M. A., Bolkhovitinov L. G., and Pisarenko V. F.** Deformation of geophysical medium and seismic process, Moscow, Nauka, 1987, 100 pp. [**Садовский М. А., Болховитинов Л. Г., Писаренко В. Ф.** Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. — М.: Наука, 1987. — 100 с.]
18. **Malovichko A. A., Malovichko D. A., Dyagilev R. A., and Shulakov D. J.** Keynote Lecture: Multi Scale Seismicity at Potash Mines, Fifteen Years of the Seismic Monitoring at Verkhnekamskoje Deposit. Proceeding of the 8th International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines (RaSim8). Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, Mining Institute of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Obninsk-Perm, 2013, pp. 463–473.
19. **Forecasting** and prevention of rockbursts in mines, Edited by I. M. Petukhov, A. M. Plyin, K. N. Trubetskoj, Moscow, Publishing House AGN, 1997, 376 pp. [**Прогноз** и предотвращение горных ударов на рудниках / Под ред. И. М. Петухова, А. М. Ильина, К. Н. Трубецкого. — М.: Изд-во АГН, 1997. — 376 с.]