



**ОЦЕНКА ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД  
В ШАХТНОМ ПОЛЕ КАЗСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**А. А. Еременко, В. Н. Филиппов, С. М. Смирнов**

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала, E-mail:eremenko@.ru,  
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Дана оценка горно-геологических и геомеханических условий разработки эксплуатационных горизонтов участка Центральные Штоки Казского месторождения. Осуществлен анализ проявлений горного давления в динамической форме и диагностика напряженно-деформированного состояния горного массива. Представлены результаты измерений уровня приращений деформаций методом глубинных и контурных реперов и определена категория удароопасности по разным горизонтам. Выполнены замеры напряженно-деформированного состояния массива прибором СБ-32М по параметрам акустической эмиссии. Проведена корректировка временных критериев оценки удароопасности массива горных пород на основе сопоставления результатов регистрации параметров акустической эмиссии и уровня напряжений, полученным по результатам приращения деформаций по станциям глубинных и контурных реперов. Разработан проект по установке мобильного сейсмомониторинга для регистрации событий в зоне влияния очистных работ.

*Горное давление, геодинамические явления, прогноз удароопасности, дискование керна, акустическая эмиссия, сейсмомониторинг. шахтное поле*

**ASSESSMENT OF GEODYNAMIC ACTIVITY OF THE ROCK MASS  
IN THE MINE FIELD OF THE KAZSKY DEPOSIT**

**A. A. Eremenko, V. N. Filippov, and S. M. Smirnov**

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
E-mail: E-mail: eremenko@ngs.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

A brief assessment of the mining, geological and geomechanical conditions for the development of production horizons of the Central Stocks section of the Kazskoye field is given. The analysis of rock pressure manifestation in a dynamic form is carried out. The stress-strain state of the rock mass has been diagnosed. The measurement results of strain increment level using depth and contour benchmarks are presented and the category of rockburst hazard is determined for different horizons. The stress-strain state of the rock mass was measured with the SB-32M device according to the parameters of acoustic emission. The time criteria for assessing the rockburst hazard were adjusted on the basis of comparing the results of recording the parameters of acoustic emission and the level of stresses obtained from the strain increment results at the stations of deep and contour benchmarks. A project has been developed for the installation of mobile seismic monitoring for recording events in stoping influence zone.

*Rock pressure, geodynamic phenomena, rockburst hazard forecast, core diskings, acoustic emission, seismic monitoring. mine field*

Казское железорудное месторождение относится к Тельбесскому рудному району Горной Шории к контактово-метасаматической группе [1, 2]. Рудная залежь вскрыта на глубине свыше 400 м от поверхности и имеет сложное строение. Ее размеры по простиранию достигают 1400 м, по падению — около 500 м. Лежащий бок имеет крутое падение (57°), висячий — пологое

(около 30°). В настоящее время горные работы сосредоточены в Северной и Южной зонах участка Центральные Штоки [3 – 5]. Схема вскрытия Казского месторождения показана на рис. 1. Отработка запасов руды ведется системой этажного принудительного обрушения в зажатой среде (полузажатой) с отбойкой руды глубокими скважинами [6].

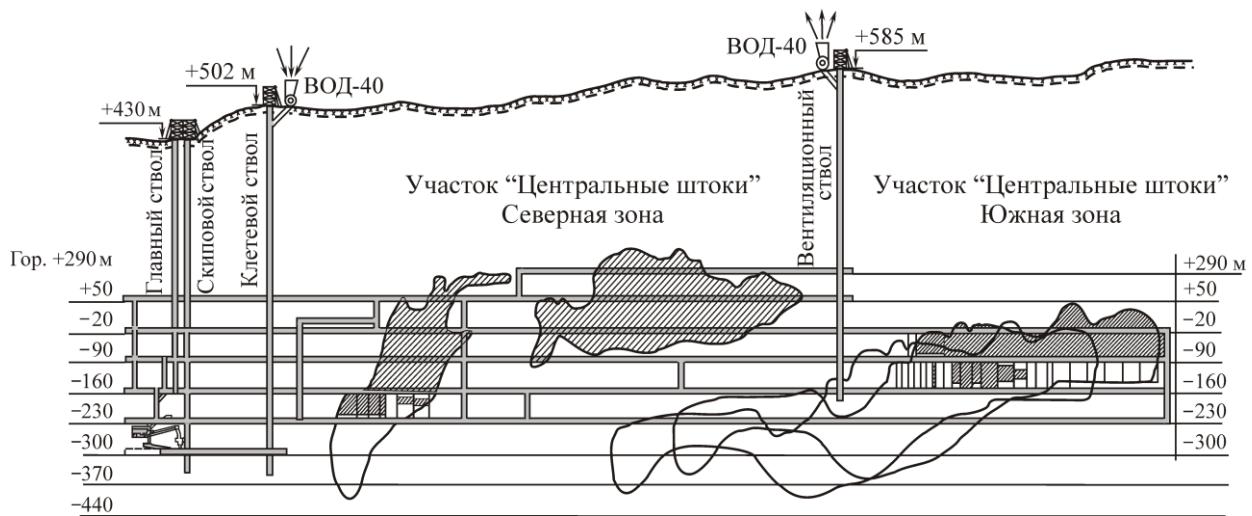


Рис. 1. Схема вскрытия Казского месторождения

По физико-механическим свойствам вмещающие породы и руды прочные, высокомодульные, хрупко разрушаются, способны накапливать значительную энергию, удароопасны [7 – 10]. По эксплуатационным горизонтам гор. –90 ÷ –230 м установлена приуроченность динамических явлений к разрывным нарушениям и контактам разномодульных пород. Казское месторождение с критической глубиной –600 м отнесено к склонным по горным ударам.

В зоне влияния очистных работ напряжения определены методом щелевой разгрузки на всех горизонтах шахты. Данные уровней напряжений вне зоны и в зоне влияния очистных работ представлены в табл. 1. Проведенный анализ и оценка проявлений горного давления показали наличие значительного количества геодинамических явлений горного давления в подземных выработках.

ТАБЛИЦА 1. Уровень напряжений вне и в зоне влияния очистных работ

Горизонт, глубина, м	Главные нормальные напряжения, МПа					
	Вне зоны влияния очистных работ			В зоне влияния очистных работ		
	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$
Гор. +120, 330	–21.3	–3.6	–8.9	–31.2	–19.6	–8.9
Гор. +50, 400	–27.9	–20.6	–10.8	–38.1	–23.9	–10.8
Гор. –20, 470	–32.0	–5.2	–13.0	–73.6	–31.3	–12.7
Гор. –90, 540	–53.7	–36.0	–14.6	–78.1	–38.6	–14.6
Гор. –160, 610	–54.6	–36.0	–16.5	–87.5	–42.9	–16.5
Гор. –230, 680	–18.1	–46.0	–18.4	–97.5	–47.8	–18.4
Гор. –300, 750	–75.1	–50.8	–20.3	–107.6	–52.8	–20.3

Для оценки относительной хрупкости пород и руд определены коэффициенты удароопасности  $K_1$  и  $K_2$ , характеризующие склонность материала к разрушению за счет упругой энергии, накопленной в нем, которые рассчитываются по формулам:

$$K1 = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{II}}, \quad K2 = \frac{E}{M}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_y$ ,  $\varepsilon_{II}$  — соответственно упругая и полная энергия;  $E$  — модуль упругости;  $M$  — модуль спада горной породы.

Приняты критерии оценки пород по категориям удароопасности: для удароопасных  $K1 > 0.7$  и  $K2 > 1.0$ , для неудароопасных  $K1 < 0.7$  и  $K2 > 1.0$ . К удароопасным породам гор. –90, –160, –230 м участка Центральные Штоки отнесены диориты, скарны, порфириды, граниты, роговики и магнетитовая руда.

Наличие высоких напряжений, удароопасных пород и руд приводит к тому, что начиная с гор. +50 м и ниже до гор. –300 м на месторождении отмечены случаи проявлений горного давления в виде стреляния, интенсивного заколообразования и толчков. Эти геодинамические явления зарегистрированы при проведении горных работ в основании технологических блоков, проходке откаточных выработок, массовых и технологических взрывах [11]. В течение года проведено 35 массовых и технологических взрывов по блокам и камерам. При отбойке массива горных пород этих блоков спровоцировано 12 толчков максимальным классом от 6.0 до 8.9.

Для прогноза удароопасности при подземной разработке рудных тел используется комплекс геомеханических и геофизических методов, из которых базовым является метод, основанный на дисковании керна при бурении скважин [12]. Однако этот метод достаточно трудоемок и не позволяет оперативно оценить удароопасность на участке ведения горных работ. Широкое распространение получают акустические методы [13, 14].

Определение категории удароопасности по параметрам акустической эмиссии (АЭ) осуществляется с помощью портативной аппаратуры СБ-32М, регистрирующей микроразрушения (шумность) массива в полосе частот 10–40 кГц с автоматическим выводом на световое табло результатов регистрации импульсов АЭ по нескольким уровням (каналам) в зависимости от амплитуды сигнала. При проведении измерений датчик устанавливается в шпур в зоне ненарушенных пород на глубине не менее 0.7 м и не более 1.5 м. В каждой точке замеры АЭ проводят в течение 20 мин с отсчетом количества импульсов с табло прибора через каждую минуту. Результаты замера заносят в “Бланк замера”. При наличии технологических помех при замерах отмечают интервалы, в которых они возникали. Для производства замеров выбирают время без помех от работы технологического оборудования.

Измерения АЭ проведены в горных выработках на гор. –160 и –230 м. К основным параметрам процесса АЭ относятся средняя активность ( $Na_1$  — число импульсов за пятнадцатисекундный интервал) и показатель амплитудного распределения импульсов  $b$ . Для расчета параметров используются результаты замеров на индикаторе прибора СБ-32М: первым на индикаторе отображается количество импульсов  $a_1$ , превышающих первый амплитудный уровень за весь период регистрации; вторым — количество импульсов  $a_2$ , превышающих второй уровень; третьим — продолжительность замера  $T$  в минутах.

Среднюю активность АЭ ( $Na_1$ ) рассчитывают по формуле

$$Na = \frac{a_1}{T \cdot 4} \text{ импульсов за 15 с.} \quad (2)$$

Продолжительность измерений (весь период регистрации  $T$ ) должна составлять 20 мин, чтобы минимальное число пятнадцатисекундных интервалов при отсутствии помех было не менее 80. Показатель амплитудного распределения акустической эмиссии  $b$  рассчитывается по формуле

$$b = \frac{a_1}{a_2}. \quad (3)$$

Большое влияние на шумность массива оказывают взрывные работы. Поэтому измерения проводились не ранее чем через 2 ч и не позднее чем через 5–10 ч после взрывных работ. Категория удароопасности участков массива горных пород определялась согласно разработанной методике по значениям  $Na_1$  и  $b$  в замеры (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. Критерии удароопасности по параметрам акустической эмиссии

Категория удароопасности участка	Средняя активность АЭ $Na_1 = 0.25$	Показатель амплитудного распределения
Опасно	$Na_1 \geq 3$	$b < 4$
Опасно	$Na_1 \geq 3$	$b > 4$
Неопасно	$Na_1 < 3$	$b$ — любое

При измерениях параметров АЭ возможна оценка изменения уровня НДС массива на конкретном участке с малым интервалом времени между измерениями. Так, например, в районе станции на гор. –230 м произведены измерения параметров акустической эмиссии в течение нескольких дней. На данном участке было зафиксировано 290 сигналов на первом и 139 на втором каналах. Расчетная величина средней активности акустической эмиссии  $Na_1$ , равная  $290/80 \leq 3.625$ , и показатели амплитудного распределения  $A_2(b) = 290/139 = 2.08$ ,  $b \leq 4$  указывают на категорию “опасно”. В дальнейшем, при повторном измерении на этом же участке показатель  $Na_1$  указал на категорию “неопасно”. Это свидетельствует о сложном характере изменения уровня напряжений в массиве горных пород Казского месторождения.

Проведенные исследования показали, что методика определения параметров АЭ в подземных выработках Казской шахты при использовании прибора СБ-32М работоспособна и надежна. Ею можно пользоваться при прогнозировании категории удароопасности совместно с другими геофизическими методами.

Для создания регионального прогноза удароопасности совместно с НЦ “Автоматика” (г. Красноярск) разработан проект по установке мобильного сейсмомониторинга для регистрации событий в зоне влияния очистных работ. Предложен комплекс “Релос-Р/Л”, который обеспечивает в рамках единого комплекса аппаратно-программных и методических средств регистрацию широкополосных микросейсмических и сейсмоакустических сигналов, возникающих при геодинамических явлениях в массивах горных пород, а также регистрацию внешних сейсмических воздействий, непрерывный мониторинг потенциально опасных участков шахтных полей в автоматическом режиме и автоматизированную обработку информации для оценки и прогнозирования степени их удароопасности на базе сейсмостанции “Таштагол”.

В основу структуры двухуровневого автоматизированного комплекса “Релос-Р/Л” положен принцип последовательного обнаружения и оконтуривания очагов напряженного состояния массивов горных пород на контролируемых территориях и объектах. Для организации сбора и анализа информации о микросейсмических и сейсмоакустических событиях энергетической и частотный диапазон регистрируемых толчков разделен на два поддиапазона. При этом измерениями охватываются события с энергией от 10 до  $10^7$  Дж в диапазоне частот 0.25–500 Гц. Регистрация событий в каждом поддиапазоне осуществляется с помощью специализированных сетей наблюдения, различие в параметрах регистрируемых геодинамических явлений обуславливает их разное функциональное назначение. Технические показатели двухуровневого комплекса “Релос-Р/Л” представлены в табл. 3.

Низкочастотная сеть наблюдения обеспечивает регистрацию сейсмических и микросейсмических явлений в полосе частот 0.25–100 Гц в диапазоне энергий  $10^2$  до  $10^7$  Дж на территории до 10 км<sup>2</sup> с точностью определения координат гипоцентров явлений до 50 м и предназначена

для крупномасштабной оценки состояния массивов горных пород контролируемых территорий. Высокочастотная сеть наблюдений позволяет регистрировать микросейсмические и сейсмоакустические явления в полосе частот 1 – 500 Гц в диапазоне  $10^{-1} - 10^4$  Дж и обеспечивает более детальную оценку состояния наиболее опасных подземных выработок в массиве горных пород объемом 0.1 – 0.2 км ( $300 \times 300 \times 300$  м) с точностью определения координат до 5 м и менее. Структурная схема комплекса “Релос-Р/Л” для Казского месторождения приведена на рис. 1.

ТАБЛИЦА 3. Технические показатели комплекса “Релос-Р/Л”

Количество информационных каналов, шт.	32
Диапазон энергий регистрируемых микросейсмических явлений, Дж	$10 - 10^8$
Полоса частот с/сигналов, регистрируемых низкочастотной сетью наблюдения, Гц	0.25 – 100
Диапазон энергий регистрируемых сейсмоакустических сигналов, Дж	$10^{-1} - 10^4$
Полоса частот с/сигналов, регистрируемых высокочастотной сетью наблюдения, Гц	2 – 500
Динамический диапазон регистрируемых сигналов Дб не менее, (с возможностью расширения до 96 дБ)	50
Регулировка чувствительности с/телеметрических каналов в пределах, Дб (с шагом 6 Дб)	40 – 82
Период дискретизации с/сигналов, мс	0.5
Время записи предыстории с/сигналов, с	0.7
Погрешность определения координат гипоцентров микросейсмических явлений, м	$\pm 25$
Погрешность определения координат гипоцентров с/акустических явлений, м	$\pm 3$
Погрешность определения энергий микросейсмических и сейсмоакустических явлений, %	40

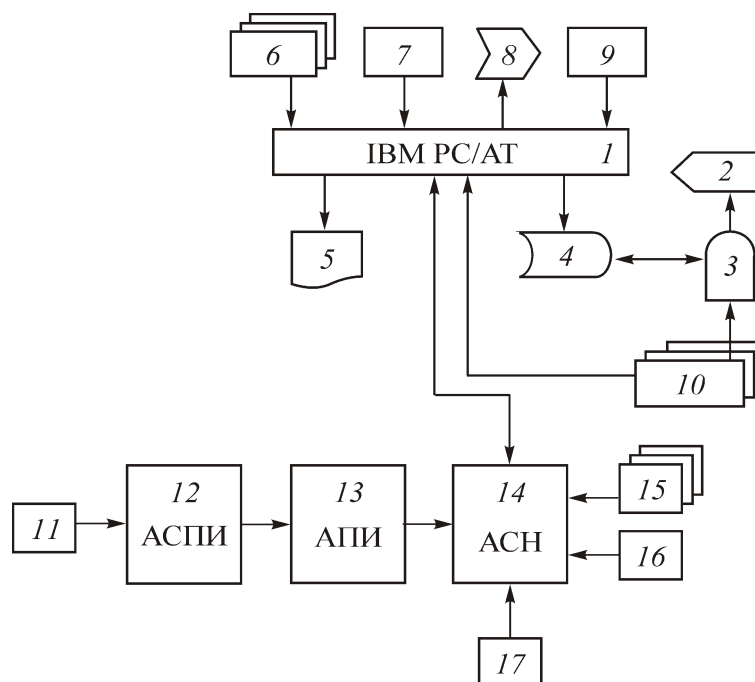


Рис. 2. Структура информационных потоков комплекса “Релос-Р/Л”: АРМ оператора, ПЭВМ IBM PC/AT; 1 — клавиатура (пульт); 2 — оператор компьютера (интерпретатор); 3 — монитор (визуализация информации); 4 — машинный документ (нормативно-справочная информация — НСИ); 5 — пакет прикладных программ; 6 — системные программы; 7 — печатающие устройства; 8 — пакет программного обеспечения поддержки сети; 9 — документы методического обеспечения; 10 — датчики (источники потоков сигналов); 11 — аппаратура сбора и передачи информации телеметрическая; 12 — аппаратура приема информации телеметрическая; 13 — аппаратура селекции и накопления сигналов; 14 — пакет программ поддержки; 15 — пакет системных программ; 16 — пакет программ аппаратуры селекции и накопления сигналов

Лингвистическое обеспечение построено на языках FORTRAN, PASCAL, СИ, DELPHI. Для организации взаимодействия информационных потоков с техническими средствами измерений предложена схема установки комплекса датчиков: в горных выработках монтировать только сеть подземных павильонов и аппаратуру селекции сейсмических сигналов. Аппаратуру обработки и интерпретации разместить на сейсмостанции “Таштагол”, используя для связи корпоративную LAN сеть между шахтами (скорость передачи данных до 100 МБит/с. Объем одного файла сейсмической записи составляет 15 кБайт, количество сигналов — до 250 шт. в сутки).

#### ВЫВОДЫ

Причинами повышенного горного давления на Казской шахте являются высокая сейсмическая активность региона, сложное залегание рудного массива, влияние взрывных работ, перераспределения напряжений от действия сил тектонического происхождения, наличие пород и руд, способных накапливать энергию и хрупко разрушаться под нагрузкой. Установлены коэффициенты удароопасности пород  $K_1$  и  $K_2$ , которые характеризуют склонность материала к разрушению за счет упругой энергии, накопленной в массиве: для удароопасных пород и руд  $K_1 > 0.7$  и  $K_2 > 1.0$ , для неудароопасных  $K_1 < 0.7$  и  $K_2 > 1.0$ .

Исследования показали, что методика определения параметров акустической эмиссии в подземных выработках Казской шахты с помощью прибора СБ-32М работоспособна и надежна. Предложена система автоматизированного регионального контроля за напряженно-деформированным состоянием массива в подземных условиях. Использование систем мониторинга на Казской шахте повысит уровень безопасности ведения горных работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Eremenko A. A., Eremenko V. A., and Gaidin A. P.** Mining and geological and geomechanical conditions for the development of iron ore deposits in the Altai-Sayan folded region, *Novosibirsk, Science*, 2009, 224 pp. [**Еременко А. А., Еременко В. А., Гайдин А. П.** Горно-геологические и геомеханические условия разработки железорудных месторождений в Алтае-Саянской складчатой области. — Новосибирск: Наука, 2009. — 224 с.]
2. **Eremenko A. A., Filippov V. N., Nikitenko S. M., and Khristolyubov E. A.** Features of the development of iron ore deposits of Gornaya Shoria, *Journal of Mining, Science*, 2017, no. 5, pp. 86–87. [**Еременко А. А., Филиппов В. Н., Никитенко С. М., Христоролюбов Е. А.** Особенности освоения железорудных месторождений Горной Шории // ФТПРПИ. — 2017. — № 5. — С. 86–87.]
3. **Gritsuk Ya. M.** The newest tectonics and geodynamics of the western part of the Altai Sayan mountain-folded region, *Methods of remote research for solving natural problems, Materials of the IV session of the scientific coordination meeting on aerospace research of natural resources*, Novosibirsk, 1986 [**Грицук Я. М.** Новейшая тектоника и геодинамика западной части Алтае Саянской горно-складчатой области // Методы дистанционного исследования для решения природоведческих задач: материалы IV сессии науч.-координац. совещ. по аэрокосмическим исследованиям природных ресурсов. — Новосибирск, 1986.]
4. **Orlov V. P.** Kazskoe deposit, Iron ore base of Russia, digest of articles, Moscow, Ministry of Natural Resources of the Russian Federation CJSC “Geoinformmark” 1998, pp. 564–570. [**Орлов В. П.** Казское месторождение // Железорудная база России: сборник трудов. — М.: МПР РФ ЗАО “Геоинформмарк”, 1998. — С. 564–570.]
5. **Kurlenya M. V., Eremenko A. A., Schrepp B. V.** Geomechanical problems of the development of iron ore deposits in Siberia, *Novosibirsk, Nauka*, 2001, 183 pp. [**Курленя М. В., Еременко А. А., Шрепп Б. В.** Геомеханические проблемы разработки железорудных месторождений Сибири. — Новосибирск, Наука, 2001. — 184 с.]

6. **Freydin A. M., Neverov S. A., Neverov A. A., and Konurin A. I.** To the substantiation of the choice and determination of the parameters of geotechnologies of ore extraction taking into account the type of stress-strain state of rocks, *Fundamental and applied problems of mining sciences*, 2017, vol. 4, no. 3, pp. 180–185. (in Russian) [**Фрейдin А. М., Неверов С. А., Неверов А. А., Конуриh А. И.** К обоснованию выбора и определению параметров геотехнологий добычи руд с учетом вида напряженно-деформированного состояния горных пород // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. — 2017. — Т. 4. — № 3. — С. 180–185.]
7. **Egorov P. V.** Prevention of rock bursts, Kemerovo, Kuzbass State Technical University, 1985, 91 pp. [**Егоров П. В.** Предупреждение горных ударов. — Кемерово: КузПИ, 1985. — 91 с.] Improvement of geotechnology for the development of rockburst-hazardous iron ore deposits under the influence of natural and man-made factors
8. **Sinkevich N. I.** Investigations of the stress state of rock massifs and manifestations of rock pressure in a geodynamically hazardous region, *Labor safety in industry*, 2011, no. 1, pp. 35–40. [**Синкевич Н. И.** Исследования напряженного состояния массивов горных пород и проявлений горного давления в геодинамически опасном регионе // *Безопасность труда в промышленности*. — 2011. — № 1. — С. 35–40.]
9. **Shabarov L. A.** The concept of geodynamic modeling of deposits, *Mining information and analytical bulletin*, 2001, no. 6, pp. 55–65. [**Шабаров Л. А.** Концепция геодинамического моделирования месторождений // *ГИАБ*. — 2001. — № 6. — С. 55–65.]
10. **Batugina I. M.** Geodynamic zoning of deposits in the design and operation of mines, Moscow, Nedra, 1988, 166 pp. [**Батугина И. М.** Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников. — М.: Недра, 1988. — 166 с.]
11. **Tsinker L. M., Smirnov S. M., and Veselov A. I.** Geodynamic and structural-tectonic zoning of the bowels of the mine fields of the iron ore deposits of Gornaya Shoria and Khakassia, *Science-intensive technologies for the development and use of mineral resources: collection of works of the International. scientific and practical conference*, Novokuznetsk, Siberian State Industrial University, 2012, pp. 75–79 [**Цинкер Л. М., Смирнов С. М., Веселов А. И.** Геодинамическое и структурно-тектоническое районирование недр шахтных полей железорудных месторождений Горной Шории и Хакасии // *Научоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. статей Междунар. Науч.-практ. конф.* — Новокузнецк, СибГИУ, 2012. — С. 75–79.]
12. **Lobanova T. V., Trofimova O L., and Lobanov S. A.** Modern geodynamic processes in the area of iron ore deposits of Gornaya Shoria, *Science-intensive technologies for the development and use of mineral resources: collection of works of the International. scientific and practical conference*, Novokuznetsk, 2012, pp. 88–95. [**Лобанова Т. В., Трофимова О. Л., Лобанов С. А.** Современные геодинамические процессы в районе железорудных месторождений Горной Шории // *Научоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф.* — Новокузнецк, 2012. — С. 88–95.]
13. **Storozhenko A. G.** Basic principles of forecasting rock burst hazard by acoustic emission method, *Forecast and prevention of rock bursts in the development of ore deposits*, Collection of Materials of the coordination meeting on the problem of rock bursts at ore deposits, Frunze, “Ilim”, 1986, pp. 45–48. [**Стороженко А. Г.** Основные принципы прогноза удароопасности горных пород методом акустической эмиссии // *Прогноз и предотвращение горных ударов при разработке рудных месторождений: сб. материалов координационного совещания по проблеме горных ударов на рудных месторождениях*. — Фрунзе: Изд-во “Илим”, 1986. — С. 45–48.]
14. **Aksenov A. A., Ozhiganov I. A.** Prediction of rock burst hazard and assessment of the stress state of the massif of ore deposits using the acoustic emission method, *Mining Journal*, 2011, no. 7, pp. 40–43. [**Аксенов А. А., Ожиганов И. А.** Прогноз удароопасности и оценка напряженного состояния массива рудных месторождений с использованием метода акустической эмиссии // *Горный журнал*. — 2011. — № 7. — С. 40–43.]