

УДК 622.235; 622.831

**ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ И СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ОБРУШЕНИИ
БЛОКОВ НА УДАРООПАСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ГОРНОЙ ШОРИИ**

А. А. Еременко¹, И. В. Машуков², В. А. Еременко³

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: yrembell@misd.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия

²Сибирский государственный индустриальный университет, E-mail: mashukov_nv@mail.ru,
ул. Кирова, 42, 654040, г. Новокузнецк, Россия

³Институт проблем комплексного освоения недр РАН, E-mail: eremenko@ngs.ru,
Крюковский тупик, 4, 111020, г. Москва, Россия

Дана оценка действия взрывов на интенсивность геодинамических и сейсмических явлений. Установлены основные закономерности распределения толчков при взрывании блоков. Проведены экспериментальные исследования по определению скоростей сейсмических колебаний земной поверхности на месторождениях Горной Шории.

Напряжения, сейсмические явления, массив горных пород, геодинамические явления, взрыв, скорость, удароопасность, энергетический класс

При переходе горных работ на глубины более 1000 м эксплуатация рудных месторождений резко ухудшается из-за сложных горно-геологических и геомеханических условий. Возникают подвижки массива по тектоническим нарушениям, наблюдается значительный рост горизонтальных напряжений [1–5]. Подземная разработка рудных тел на удароопасных железорудных месторождениях Горной Шории в данных условиях происходит с использованием следующих систем с обрушением руды и вмещающих пород: этажного принудительного обрушения; этажно-камерной без закладки и с закладкой выработанного пространства; подэтажного обрушения. Длина по падению и простиранию рудных тел колеблется соответственно от 8 до 1200 м и от 30 до 1300 м; падение крутое с углами от 70 до 85° [6].

Отработка рудных запасов осуществляется блоками. Для этого оформляются компенсационные камеры и отрезные щели, а также подсечные пространства с отбойкой панелей и целиков одиночными, параллельно-сближенными и веерными скважинными зарядами ВВ диаметром от 86 до 250 мм и массой от 2–3 кг до 350 т и более [7]. Взрывы вызывают геодинамические и сейсмические явления различной интенсивности в виде техногенных землетрясений, толчков, обрушения горных пород, заколообразования в выработках. В связи с понижением горных работ до глубины 900–1000 м возникла необходимость в проведении экспериментальных исследований и последующей оценки воздействия взрывных работ на интенсивность толчков и сейсмических колебаний земной поверхности в районе Таштагольского и Шерегешевского месторождений.

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Регистрация микросейсмических данных на сейсмических станциях Горно-Шорского и Таштагольского филиалов АО «Евразруда» осуществляется с использованием комплекта аппаратуры, включающего сейсмоприемники (СМ-3, СМ-3КВ и др.) и телеметрическую аппаратуру ТАППС [8, 9].

Региональный прогноз удароопасности по данным непрерывной регистрации сейсмических явлений основан на определении на участках шахтного поля активности событий, оценке энергии отдельных событий, суммарной сейсмической деформации и выявлении событий, представляющих непосредственную опасность для производства. В [9, 10] предложена градация сейсмоактивности по пяти уровням для обеспечения более точного и представления на карте прогноза удароопасности местоположения границ и энергетических центров напряженности (сейсмоактивных зон).

Методика регистрации сейсмических колебаний земной поверхности при массовых взрывах основана на записи аналоговых электрических сигналов сейсмоприемников на персональный компьютер. Переносная сеймостанция включает сейсмоприемники СМ-3КВ, коммутатор, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) модели Е-440, кабели к внешнему модулю АЦП и персональному компьютеру [11, 12]. Предложенная в [13] методика оценки уровня сейсмического воздействия массовых взрывов широко применяется на шахтах Таштагольского и Горно-Шорского филиалов АО «Евразруда». В [14] определены допустимые скорости колебаний грунта в основании охраняемых сооружений по данным РТМ 36.22.91 в зависимости от класса ответственности по СНиП 2.01.07-85 [15]. Группу грунтов определяют согласно ГОСТ 25100-95 [16].

В п. Шерегеш и г. Таштагол Кемеровской области жилые здания по конструктивным характеристикам относятся к бескаркасным с несущими стенами, по техническому состоянию — ко II классу ответственности. Допустимые скорости колебаний грунта для социальных зданий (больницы, детские сады, школы и др.) составляют 1 см/с, для жилых — 2 см/с.

ТЕХНОЛОГИЯ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ НА УЧАСТКАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования проводились при обрушении блоков № 1 (3 панель) в этаже $(-70) \div (\pm 0)$ м на Юго-Восточном участке Таштагольского месторождения и № 8 в этаже 185–255 м на Подрусловом участке Шерегешевского месторождения. Отработка блока № 1 выполнялась системой этажного принудительного обрушения с применением параллельно-сближенных скважин зарядов ВВ диаметром 105 мм. При взрывании блока (26.04.2015 г.) масса ВВ составила 139.1 т. Линия наименьшего сопротивления (ЛНС) равна 5 и 6 м; удельный расход ВВ — 0.6 кг/т.

Обрушение блока № 8 (12.06.2015 г.) осуществлялось с использованием этажно-камерной системы разработки. Масса ВВ составила 114.3 т. Максимальная масса ВВ, сниженная до 21.5 т, приходилась на интервал замедления 50 мс, что позволило за счет уменьшения расхода ВВ снизить амплитуду сейсмической волны при короткозамедленном взрывании. Так как блок располагался на глубине 500–600 м, удельный расход ВВ на отбойку снижен до 0.65 кг/т.

При обрушении блока № 1 на Юго-Восточном участке сейсмическая энергия взрыва составила $4.59 \cdot 10^6$ Дж. В шахтном поле зарегистрировано 139 толчков с энергетическими классами от 1 до 5. Основное число толчков (более 100) распределилось между 1 и 2 классами, которые не вызывали нарушений в выработках (рис. 1).

На карте сейсмической активности по плотности геодинамических явлений в пределах шахтного поля выделяются три аномальные зоны: в районе ортов № 3–11 (зона I) и ортов № 22–25 (зона II), а также на Северо-Западном участке (зона III) (рис. 2). На Юго-Восточном участке “аномальных” зон не наблюдается. Вследствие произошедших толчков в выработках отмечалось заколообразование. Для обеспечения безопасности очистных работ отработку рудных запасов с северного фланга месторождения перенесли на южный, где геомеханическая обстановка более благоприятная.

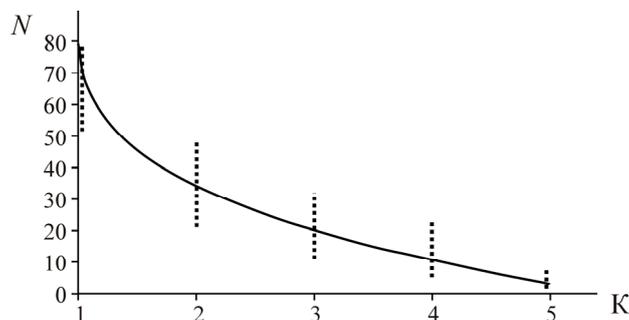


Рис. 1. Распределение количества толчков (N) по энергетическим классам (K) в течение года

При обрушении блока № 8 на Подрусловом участке сейсмическая энергия взрыва составила $2.43 \cdot 10^6$ Дж. После взрыва первый толчок с энергетическим классом 3 произошел через 28 с. Значения энергетического класса последующих событий на расстоянии от 50 до 800 м и более от очага взрыва колебались от 2 до 3 в течение первого часа. Установлено два периода снижения и период увеличения энергетического класса геодинамических явлений в течение 1 ч. Максимальное количество толчков (32) имело класс от 1 до 3.5 (рис. 3). Следует отметить, что толчки регистрировались в период времени, когда в шахте не находились горнорабочие. Снижению класса толчков способствовало наличие в блоке компенсационной камеры, в окрестности которой массив горных пород был разгружен.

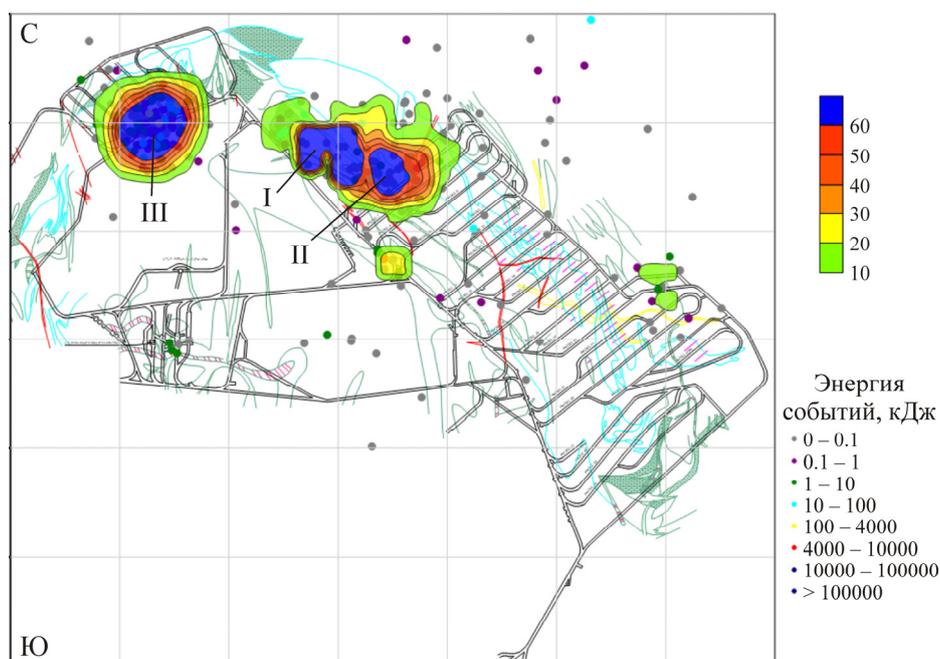


Рис. 2. Распределение зон концентрации толчков после обрушения блока № 1 (панель 3) Таштагольского месторождения, горизонты $(\pm 0) \div (-280)$ м за период 3 мес

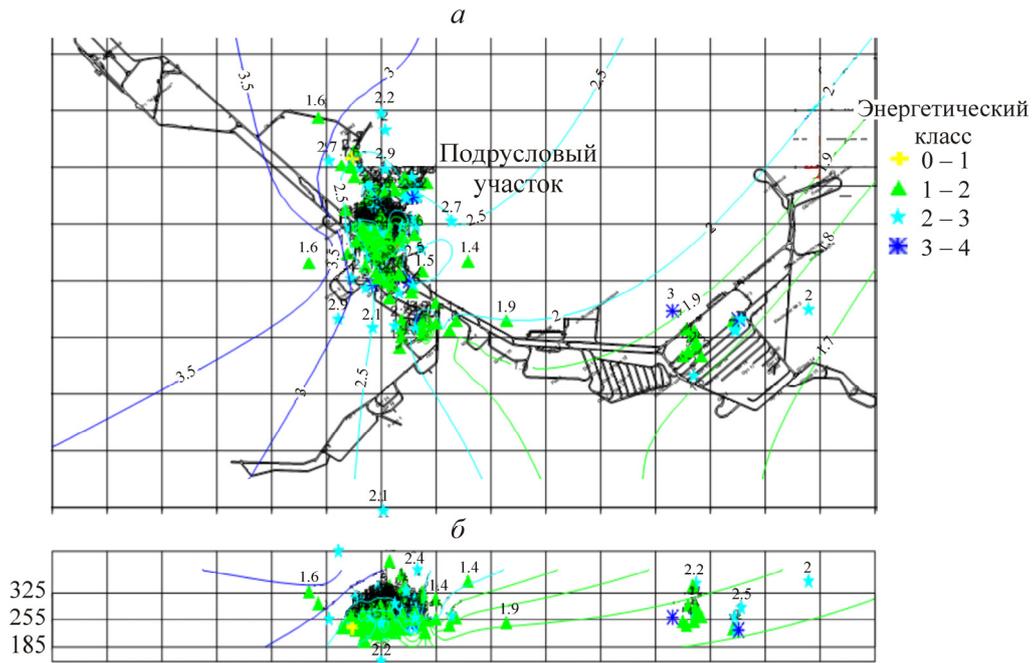


Рис. 3. Карта сейсмической активности после обрушения блока № 8 на Подрусловом участке Шерегешевского месторождения: а — на гор. +225 м; б — по глубине залегания; 185–325 — горизонты в шахте; 1–3.5 — энергетический класс толчков

ОЦЕНКА УРОВНЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВОВ НА ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Регистрация сейсмических колебаний на земной поверхности при взрыве блока № 1 осуществлялась в г. Таштагол путем установления датчиков в жилом девятиэтажном доме (пункт № 1) и в школе (пункт № 2). Расстояние от пункта наблюдения № 1 до места взрыва составило 4141 м, от пункта наблюдения № 2 — 1236 м. Определены максимальные значения вертикальных и горизонтальных скоростей сейсмических колебаний (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Параметры сейсмических колебаний от взрыва блока № 1 в г. Таштагол на расстоянии от 1 236 до 4 141 м

Пункт регистрации	Максимальная скорость сейсмических колебаний, см/с	Направление колебаний
Жилой дом (п. № 1)	0.02	Вертикальное (z)
	0.018	Горизонтальное в направлении массового взрыва (x)
	0.018	Горизонтальное, перпендикулярное направлению массового взрыва (y)
Школа (п. № 2)	0.27	Вертикальное (z)
	0.4	Горизонтальное в направлении массового взрыва (x)
	0.36	Горизонтальное, перпендикулярное направлению массового взрыва (y)

В измерениях по трем направлениям максимальные скорости сейсмических колебаний земной поверхности в пункте № 1 не превышали допустимые значения. Максимальная скорость сейсмических колебаний в вертикальном направлении здесь составила 0.02 см/с, что в 100 раз меньше предельно допустимой (рис. 4а). Максимальная скорость сейсмических колебаний в пункте № 2 была 0.4 см/с, что в 2.5 раза меньше предельно допустимой (рис. 4б, табл. 1).

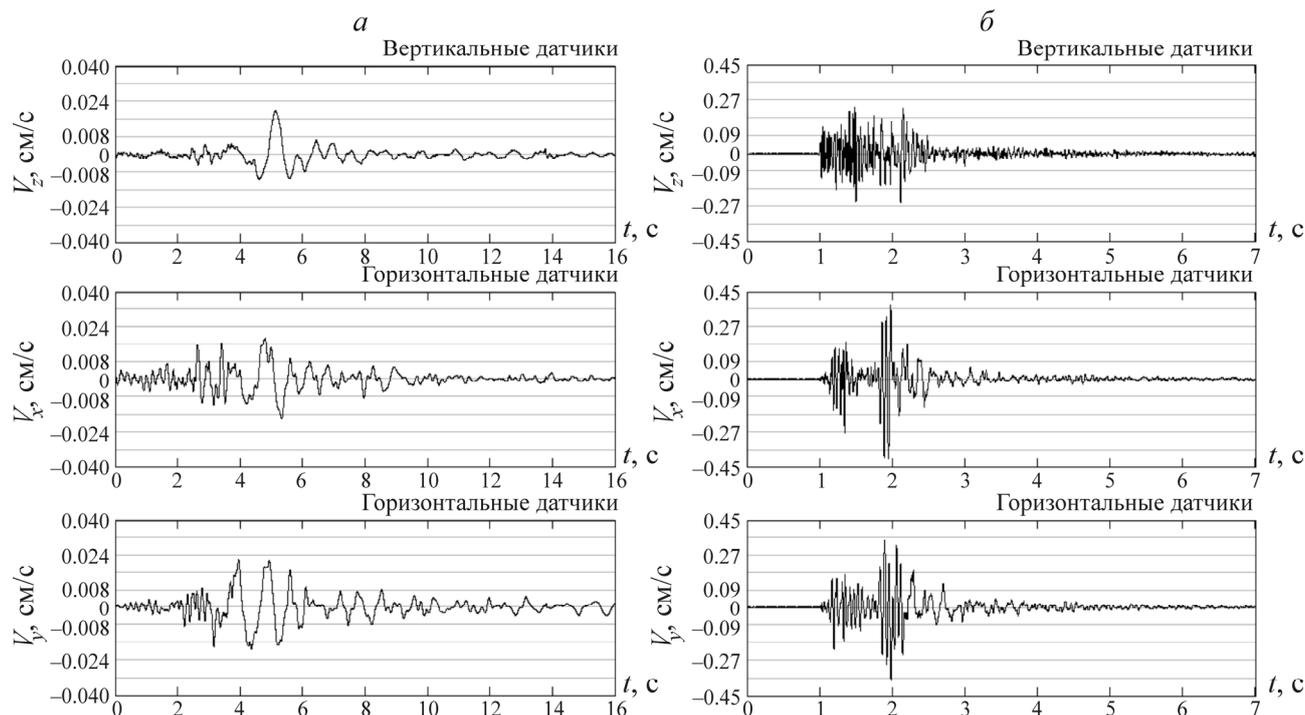


Рис. 4. Сейсмограммы скоростей сейсмических колебаний поверхности от массового взрыва: *a* — в пункте наблюдения № 1; *б* — в пункте наблюдения № 2

При обрушении блока № 8 в районе п. Шерегеш расстояние от пункта наблюдения № 3 (жилой дом) до места взрыва составляло 350 м, от пункта наблюдения № 4 (рудоуправление) до места взрыва — 1000 м. Результаты записи скоростей сейсмических колебаний земной поверхности приведены на рис. 5 и в табл. 2.

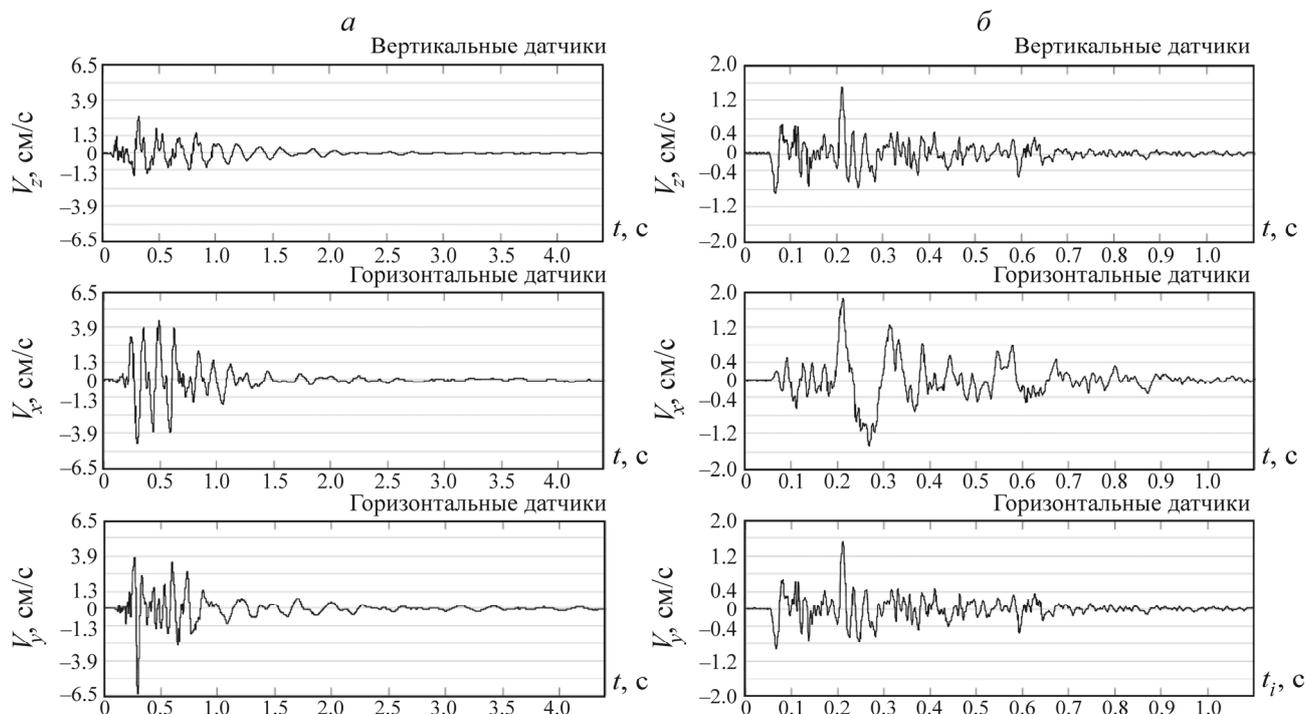


Рис. 5. Сейсмограммы скоростей сейсмических колебаний поверхности от массового взрыва: *a* — пункт наблюдения № 3 (жилой дом), *б* — пункт наблюдения № 4 (рудоуправление)

ТАБЛИЦА 2. Параметры сейсмических колебаний от взрыва блока № 8 в п. Шерегеш на расстоянии от 300 до 1 000 м

Пункт регистрации	Максимальная скорость сейсмических колебаний, см/с	Направление колебаний
Жилой дом (пункт № 3)	2.6	Вертикальное (z)
	4.55	Горизонтальное (x)
	6.5	Горизонтальное (y)
Рудоуправление (пункт № 4)	1.4	Вертикальное (z)
	1.8	Горизонтальное (x)
	1.5	Горизонтальное (y)

В измерениях по трем направлениям максимальные скорости сейсмических колебаний земной поверхности в п. Шерегеш превысили допустимые значения. Так, в горизонтальном направлении максимальная скорость составила 6.5 см/с в районе жилого дома и 1.8 см/с — в районе рудоуправления. Это выше предельно допустимых значений для жилых зданий и сооружений в 3.25 и в 1.8 раза соответственно.

ВЫВОДЫ

Дана оценка действия технологических взрывов при обработке удароопасных Таштагольского и Шерегешевского месторождений на интенсивность геодинамических явлений при отбойке блоков системами с обрушением руды и вмещающих пород на глубинах 400–600 м и более. Установлены основные закономерности распределения толчков на различных участках месторождений при взрывах: максимальное количество толчков с энергетическим классом от 1 до 5 происходит в период от первых секунд до 1–10 ч; формируются три аномальные зоны концентрации толчков протяженностью от 120 до 200 м в районе ведения очистных работ.

Максимальные значения скоростей сейсмических колебаний земной поверхности при взрывах на Таштагольском месторождении значительно меньше предельно допустимых, что соответствует последствиям проведения взрывов на меньших глубинах — от 400 до 500 м; на Шерегешевском месторождении скорости сейсмических колебаний в 1.8 и 3.25 раза превышают предельные значения для зданий и сооружений. Снижение скорости сейсмических колебаний земной поверхности при взрывании на глубинах 500–600 м можно достичь путем уменьшения массы зарядов ВВ по интервалам замедлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидоров Д. В. Методы оценки напряженного состояния и удароопасности рудных залежей // Сб. тр. науч.-практ. конф. “Геодинамика и современные технологии обработки удароопасных месторождений”. — Норильск, 2012. — С. 135–139.
2. Милетенко И. В., Милетенко Н. А., Одинцев В. Н. Оценка техногенной нарушенности раздельного целика // ГИАБ. — 2014. — № 6. — С. 41–47.
3. Бабкин Е. А., Какошина Л. В., Родионова Е. В., Мулев С. Н. Контроль и управление геомеханическими процессами на рудниках ЗФ ОАО ГМК “Норильский никель” // Сб. тр. науч.-практ. конф. “Геодинамика и современные технологии обработки удароопасных месторождений”. — Норильск, 2012. — С. 15–25.
4. Шабаров А. Н., Звездкин В. А., Галаов Р. Б., Наговицын Ю. Н. К вопросу исследования и выявления тектонически опасных зон Талнахского рудного узла // Сб. тр. науч.-практ. конф. “Геодинамика и современные технологии обработки удароопасных месторождений”. — Норильск, 2012. — С. 140–148.

5. **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.
6. **Еременко А. А., Еременко В. А., Гайдин А. П.** Совершенствование геотехнологии освоения железорудных удароопасных месторождений в условиях действия природных и техногенных факторов. — Новосибирск: Наука, 2008. — 312 с.
7. **Еременко А. А.** Совершенствование технологии буровзрывных работ на железорудных месторождениях Западной Сибири. — Новосибирск: Наука, 2013. — 192 с.
8. **Курленя М. В., Еременко А. А., Башков В. И.** Влияние взрывных работ на сейсмические и динамические явления при подземной разработке рудных удароопасных месторождений Сибири // Горн. журн. — 2015. — № 8. — С. 69–71.
9. **Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях Горной Шории, склонных и опасных по горным ударам.** — Новосибирск; Новокузнецк, 2015. — 73 с.
10. **Яковлев Д. В., Цирель С. В., Мулев С. Н.** Закономерности развития и методика оперативной оценки техногенной сейсмической активности на горных предприятиях и в горнодобывающих регионах // ФТПРПИ. — 2016. — № 2. — С. 34–47.
11. **Еременко А. А., Филиппов В. Н., Куликов В. И., Машуков И. В. и др.** Сейсмическое действие технологических взрывов на удароопасных месторождениях // Вестн. РАЕН. — Кемерово, 2005. — Вып. 7. — С. 148–158.
12. **Машуков И. В.** Регистрация сейсмических колебаний от подземных массовых взрывов // ГИАБ. — 2014. — № 4. — С. 216–221.
13. **Башков В. И., Еременко А. А., Машуков И. В.** Оценка сейсмического воздействия массового взрыва на здания в районе Таштагольского месторождения // ГИАБ. — 2016. — № 2. — С. 160–171.
14. **РТМ 36.22.91.** Определение критических параметров колебаний охраняемых объектов при взрывном дроблении фундаментов и обрушении зданий при реконструкции / сост. Л. М. Глозман, Н. А. Маковская, В. О. Изофов и др. — М.: Недра, 1982. — 30 с.
15. **СНиП 2.01.07-85.** Нагрузки и воздействия / Утв. постановлением Госстроя СССР от 29.08.1985 г. — № 135. — 45 с.
16. **ГОСТ 25100-95.** Грунты. Классификация / Введ. в действие постановлением Минстроя РФ от 20 февраля 1996 г. — № 18-10. — 30 с.

Поступила в редакцию 21/III 2016