

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ УДАРООПАСНОСТИ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ

Разумов Е.Е., аспирант гр. ФПа-201, I курс
Рукавишников Г.Д., зав. центром геодинамических наблюдений
(АО «ВНИМИ»)

Климко В.К., заведующий Таштагольским территориальным
сектором (АО «ВНИМИ»)

Научный руководитель: Простов Сергей Михайлович, д.т.н., профессор
Кузбасский государственный технический университет
им. Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Шерегешевское железорудное месторождение входит в Кондомскую группу железорудных месторождений и совместно с Шалымским образует Шерегешевско-Шалымское рудное поле. Месторождение отнесено к III группе сложности по геологическому строению. Вмещающие породы и руды относятся к крепким и устойчивым. Крепость горных пород по шкале Протодьяконова изменяется от $f = 8 - 10$ (известняки) до $f = 14 - 18$ (руды, скарны, порфириты, сиениты), редко до $f = 20$ (роговики). Рудная зона разбита разрывными нарушениями сбросо-сдвигового типа с углами падения $40-85^\circ$ и амплитудами смещения 40-300 метров. Залегает согласно с вмещающими породами, имеет в основном субширотное простирание и погружается с востока на запад на глубину от 200 м до 900 м от поверхности. Протяженность рудной зоны по простиранию 3,5 км, мощность изменяется от 40 до 300 м.

Установлено, что в массиве пород Шерегешевском месторождении вне зоны влияния очистных работ максимальное сжимающее напряжение в массиве пород σ_1 ориентировано по азимуту 125° в северо-западном направлении и равняется $2,6 \gamma H$, напряжение $\sigma_2 = 1,4 \gamma H$; $\sigma_3 = \gamma H$. В зоне влияния очистных работ напряжение σ_1 ориентировано по азимуту 50° и имеет значение $5 \gamma H$, $\sigma_2 = 3,8 \gamma H$, $\sigma_3 = \gamma H$.

По физико-механическим свойствам пород и руд, уровню напряжений, действующих в массиве горных пород, наличию горных ударов на Шерегешевском месторождении участок Главный с горизонта (+325) м и ниже, а остальные участки - с горизонта (+255) м и ниже относятся к «опасным» по горным ударам.

На шахте применяется микросейсмический метод для региональной оценки напряжённо-деформированного состояния массива. Для регистрации сейсмических событий в пределах шахтного поля используется автоматизированная микросейсмическая система «Релос-64Ш».

АС «Релос» предназначена для проведения, микросейсмических и сейсмоакустических наблюдений за состоянием шахтных полей горнорудных предприятий и обеспечивает: регистрацию сейсмосигналов от внешних сей-

смических воздействий, микросейсмических и сейсмоакустических сигналов, возникающих при динамических проявлениях горного давления в контролируемых массивах горных пород; непрерывную, помехоустойчивую передачу зарегистрированных сигналов на пункт сбора информации; селекцию сигналов на фоне технологических и электрических помех, накопление данных наблюдения, расчёт характеристик сигналов; определение параметров сейсмических, микросейсмических и сейсмоакустических явлений; определение очагов повышенной опасности в контролируемых массивах горных пород.

Основные технические характеристики системы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики АС «Релос-64Ш»

Наименование параметра	Релос-64Ш
Кол-во информационных каналов, шт.	64
Диапазон энергий регистрируемых микросейсмических и сейсмоакустических явлений, Дж	10-10 ⁷ *
Погрешность определения координат гипоцентров событий, м	10 (2)*
Погрешность определения энергий событий, %	40*
Полоса частот регистрируемых упругих колебаний, Гц	2-500
Динамический диапазон регистрируемых сигналов Дб не менее, (с возможностью расширения до -96 дБ)	56
Регулировка чувствительности в пределах, Дб (с шагом 6 Дб)	60-120
Период дискретизации сигналов, мс	0,5
Время записи предистории, с	0,7
Дальность передачи сигналов на центральный пункт сбора информации, км	8

* - в зависимости от конфигурации сети наблюдений.

Начиная 2015 года, в условиях Шерегешского месторождения проводится опытно-промышленная эксплуатация методики ВНИМИ по оценке степени удароопасности, на основании данных регистрации сейсмических событий. Анализ сейсмической активности проводился с помощью специально разработанного во ВНИМИ пакета программного обеспечения «GITS2», которое позволяет работать с каталогами сейсмических событий, строить карты сейсмоактивности на подгружаемых планах горных работ, формировать статистические данные. Методика обработки сейсмической информации и используемые критерии прогноза удароопасности приведены в работе [1].

За 2020 г. системой «Релос-64Ш» было зафиксировано 5025 сейсмических событий. 30 из зарегистрированных событий имели энергию свыше 1000 Дж. Максимальная энергия одного события наблюдалась 15.10.2020 20:13:01 (по Гринвичу) и составила 6385566 Дж. Средняя энергия сейсмических событий составила 1468 Дж. Так же сейсмостанцией было зарегистрировано 788 технологических взрывов с энергией от 1000 до 3000000 Дж.

16 октября 2020 года в первую смену в результате воздействия сильного сейсмического события в районе выработки орт 34-34а гор. +185 м в горных выработках на гор. +160 м в блоке 2 участка «Новый Шерегеш» произошли отслоения кусков горной массы, которые привели к несчастному случаю, травмирован один горнорабочий (рис. 1).

Причиной обрушения горной массы с кровли выработки является сейсмический эффект динамического явления, произошедшего 16.10.2020 г. в 03 час 13 мин 01 с энергией $6,4 \times 10^6$ Дж с координатами $X=28915$, $Y=17244$ и вертикальной отметкой +190 м в верхней части рудного тела, обрабатываемого блоками 1-5 горизонтов +160 и +185 м вблизи его краевой части в зоне возможного влияния границы обработанного пространства.



Рис. 1 – Выкопировка с плана горных выработок горизонта +160 м.
● - места обрушения горной массы в выработки.

Микросейсмическим методом с 22 часов 00 мин 15.10.2020 до 03 часов 58 мин 16.10.2020 в массиве, вмещающем блоки 1 – 3 гор. +185 и +160 м было зарегистрировано 110 динамических явлений с энергией от $1,0 \times 10^3$ Дж до $6,4 \times 10^6$ Дж в отметках от +105 м до +350 м, из них 11 явлений с энергией выше 1000 Дж. Максимальному динамическому явлению с энергией $6,4 \times 10^6$ Дж предшествовало 7 явлений с энергией свыше 10^3 Дж.

На рисунке 2 представлены графики изменения прогностических параметров N , E и F за период с 1 октября по 31 октября 2020 г.

На графике распределения числа событий в сутки (рис. 2.а) прослеживается «волнообразный» характер сейсмической активности. Начиная с конца сентября число событий в сутки начинает резко возрастать. 15 октября отмечено самое высокое значение параметра N – 333 события за сутки. График изменения параметра N демонстрирует повышение числа событий за сутки

перед пиковыми значениями, приходящимися на даты возникновения крупных событий.

График суммарной энергии сейсмических событий за сутки (рис. 2.б) представлен на логарифмической шкале по вертикальной оси. В таком представлении хорошо прослеживается волнообразный характер сейсмоэнерговыведения. Периоды максимума и минимума сейсмоэнерговыведения в целом совпадают с аналогичными периодами на графике изменения параметра N . В среднем суммарная энергия за сутки колеблется в пределах 100-1000 Дж.

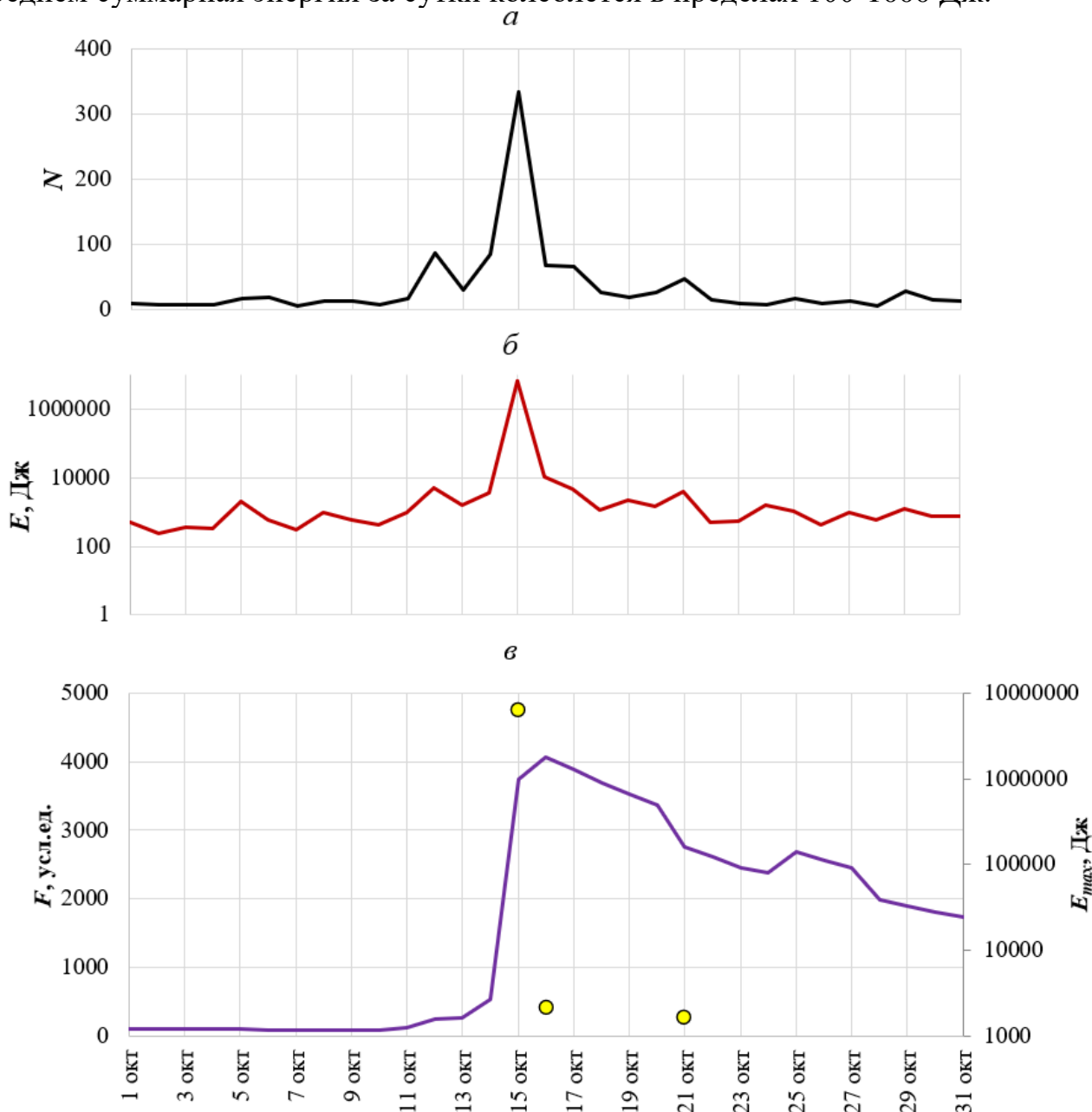
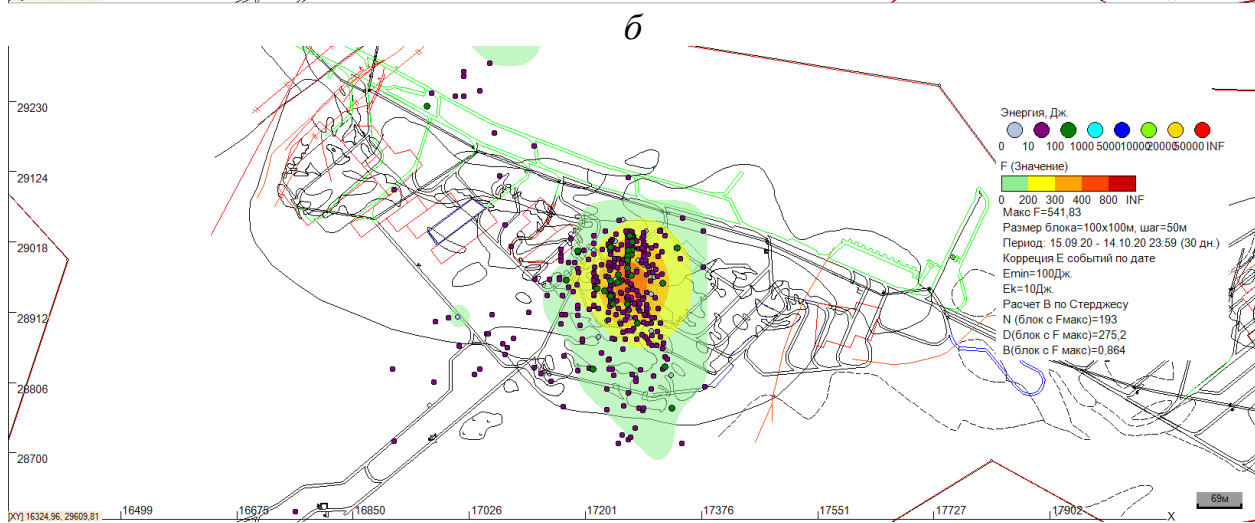
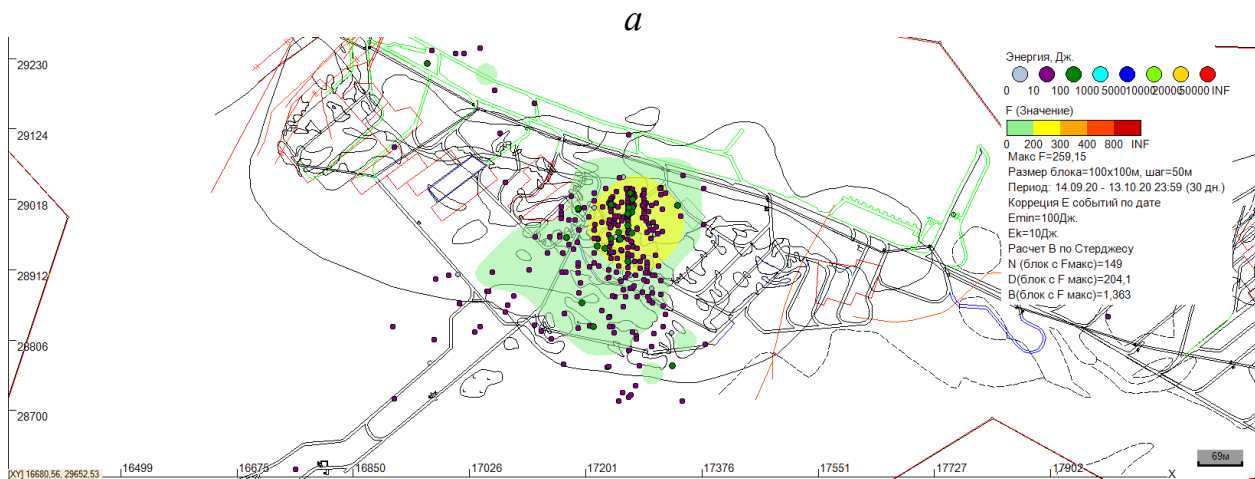


Рис. 2 – График изменения уровня параметров N (число событий за сутки) (а); E (суммарная энергия событий за сутки) (б); – изменения прогностического параметра F (коэффициент удароопасности) (в):
 ● - сейсмические события с энергией > 1000 Дж

График изменения прогностического параметра F (рис. 2.б) также отражает волнообразный характер сейсмической активности. На график, представленный на рис.3, нанесены сейсмические события с энергией выше 1000 Дж (в логарифмическом масштабе по правой вертикальной оси). Хорошо прослеживается повышение уровня F в период регистрации крупных и особо крупных событий. Период минимальных значений F совпадает с периодами минимальных значений параметров N и E .

Произведен анализ развития зоны удароопасности за 3 дня до даты регистрации крупного события. Карты зон удароопасности представлены на рис. 3.



б

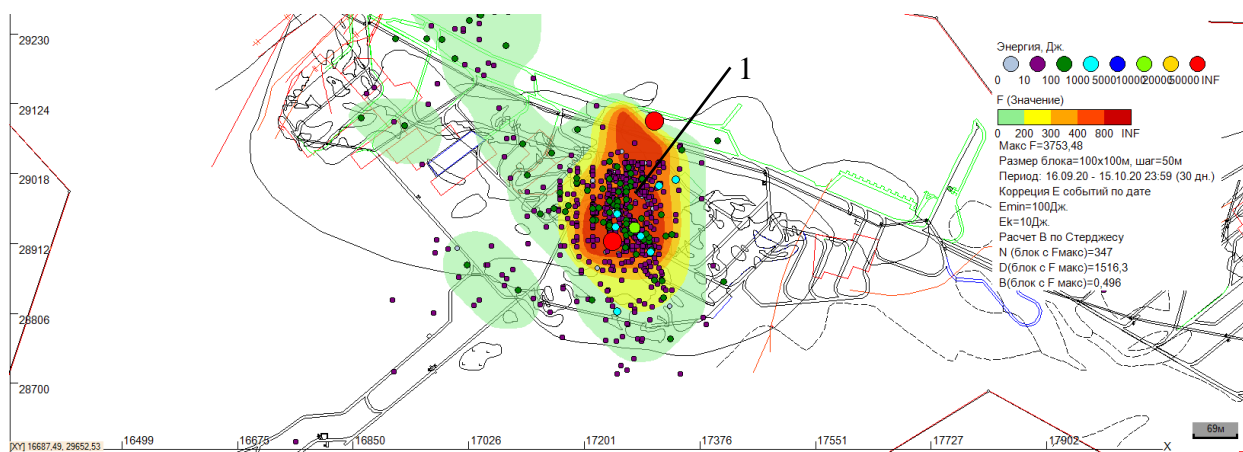


Рис. 3 – Карта распределения зон удароопасности по критерию F на на 13.10.2020 г. (а), на 14.10.2020 г. (б), 15.10.2020 г. (в):
1 – зона удароопасности

Из построения карт зон удароопасности по критерию F следует, что удароопасная зона начала свое формирование в обрабатываемых блоках 1-5 за несколько дней до самого крупного сейсмического события.

Приведенные экспериментальные данные позволяют сделать следующие выводы.

1. Динамика изменения параметров сейсмической активности N , E , F взаимосвязана с формированием в массиве горных пород очагов концентрации напряжений – возможных источников опасных сейсмических явлений.

2. Критические значения сейсмических параметров для условий Шерегешского рудника соответствуют: $N > 80 \text{ сут}^{-1}$; $E > 5000 \text{ Дж/сут}$; $F > 400$.

Список литературы:

1. Разумов, Е.Е.. Основные принципы построения систем сейсмического мониторинга / Е.Е. Разумов, С.М. Простов // Горный журнал. – 2021. - №1. С. 8-12.