

УДК 622.831

**ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД  
ПРИ ОТРАБОТКЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
В СЛОЖНЫХ ГОРНЫХ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

**А. А. Еременко<sup>1</sup>, В. П. Марысюк<sup>2</sup>, А. И. Конурин<sup>1</sup>,  
Т. П. Дарбинян<sup>2</sup>, И. В. Самосенко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,*

E-mail: EremenkoA1949@yandex.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>*ЗФ ПАО "ГМК "Норильский никель",*

E-mail: MarysyukVP@nornik.ru, пл. Гвардейская, 2, 663302, г. Норильск, Россия

Выполнены экспериментальные исследования по определению концентрации очагов сейсмических событий при разработке рудных запасов рудника Таймырский. Установлены особенности формирования и распределения этих зон в массиве горных пород при отработке панелей. Изучено влияние объема выработанного пространства на суммарную энергию сейсмических событий до и после затопления и откачки воды из шахт, что позволяет прогнозировать уровень удароопасности при дальнейшей отработке рудных запасов.

*Горная порода, сейсмические события, зоны концентрации, панели, рудное тело, система разработки, месторождение, энергия*

DOI: 10.15372/FTPRI20240404

EDN: GSTJFF

---

На территории Норильского промышленного района сосредоточены наиболее ценные запасы полиметаллических руд. Освоение осуществляется системами разработки с закладкой выработанного пространства [1–5]. В феврале 2021 г. при ведении работ на руднике Таймырский произошел прорыв воды с водоносного слоя на гор. – 350 м. В результате затоплению подверглись выработки на гор. – 1050 ÷ 1400 м. В настоящем исследовании по полученным данным с помощью системы РЕЛОС-Р/Ш-64-Н дана оценка особенностей формирования и распределения зон концентрации очагов сейсмических событий до и после затопления этих горизонтов. Система РЕЛОС-Р/Ш-64-Н применяется для измерения виброскорости микросейсмических и сейсмоакустических колебаний, возникающих при динамических проявлениях давления в массивах горных пород, а также для мониторинга потенциально опасных шахтных полей и их участков и прогнозирования степени удароопасности [6–11]. Система представляет собой совокупность первичных преобразователей, приемопередающих и электронно-вычислительных блоков, а также вспомогательных устройств, размещаемых в подземных выработках и на наземном стационарном посту (измерительно-вычислительном комплексе).

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РАЙОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ДО И ПОСЛЕ ЗАТОПЛЕНИЯ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА

Объектом исследования являются вскрытые богатые рудные залежи участка Большой Горст рудника Таймырский (рис. 1).

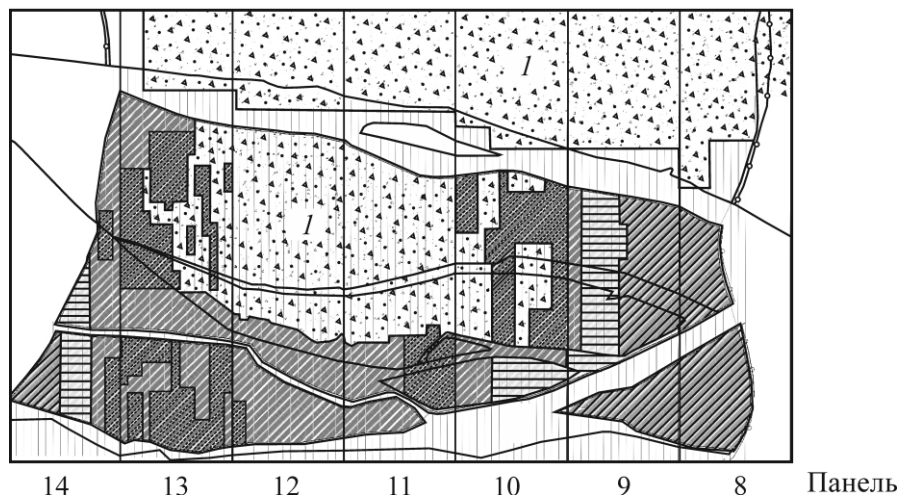


Рис. 1. Технологическая схема вскрытия богатых рудных залежей участка Большой Горст: 1 — отработанные участки богатой руды. Штриховкой показаны участки добычи руды в разные годы

До затопления рудника зарегистрировано более 8 тыс. сейсмических событий с суммарной энергией  $10^6$  Дж. На рис. 2 представлены девять зон сейсмической активности в шахтном поле, располагаемые в панелях рудных залежей. В процессе отработки рудных запасов до затопления активизировался район массива горных пород вокруг панелей в зонах 1, 5, 6, 8, где энергия событий изменялась от 5 до 10 тыс. Дж.

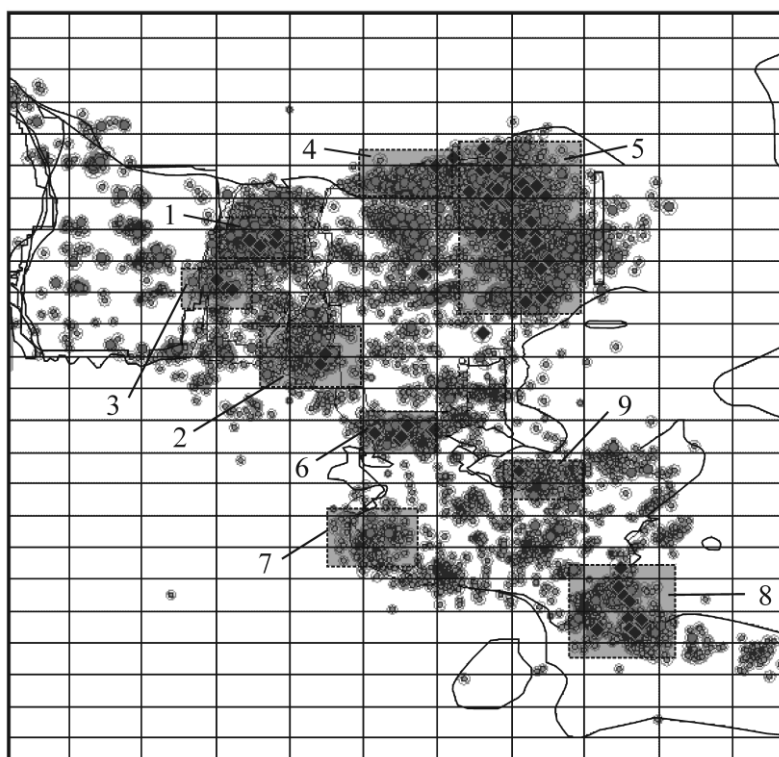


Рис. 2. Зоны сейсмической активности (1–9) с различной энергией, зарегистрированной до затопления рудника

После затопления выработок и откачки части воды из шахт произошло перераспределение сейсмической активности в семи зонах. В панелях 9, 10 произошло 1520 сейсмических событий (зона 1), из них 12 с энергией более 4500 Дж. В 2021 г. после затопления, по сравнению с 2020 г. до затопления, количество сейсмических событий с энергией до 70 Дж увеличилось с 119 до 330, с энергий 70–500 Дж — с 609 до 982, а с энергией 500–4500 Дж уменьшилось с 256 до 196 и с энергией 4500–10000 Дж — с 14 до 12. При отработке панелей суммарная сейсмическая энергия после затопления сначала снизилась в 1.5–5.0 раз, затем увеличилась в 1.3–7.0 раз (рис. 3).

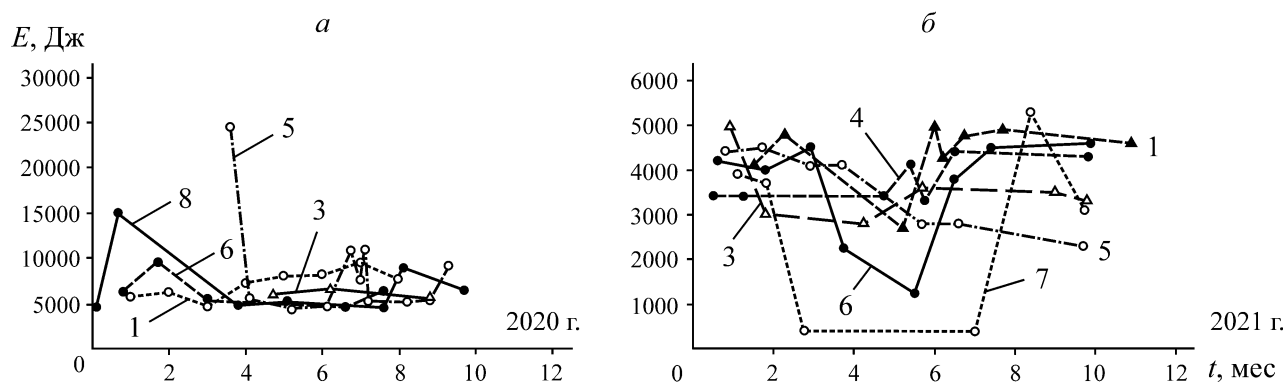


Рис. 3. Перераспределение сейсмической энергии событий до (а) и после (б) затопления:  
1–8 — панели

Сейсмические события с высокой плотностью распределения наблюдались перед фронтом ведения очистных работ и рассредоточенно после затопления (рис. 4).

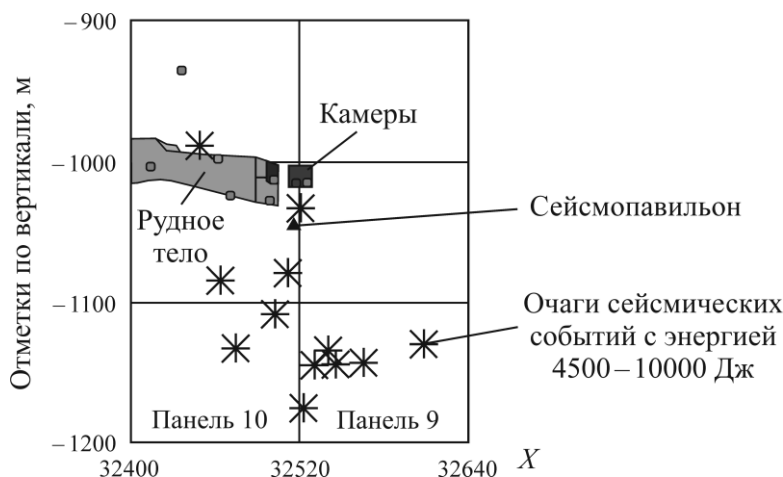


Рис. 4. Места расположения событий разной энергии при отработке панелей 9, 10

#### ВЫДЕЛЕНИЕ ЗОН СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ИССЛЕДУЕМЫХ УЧАСТКАХ РУДНИКА

После затопления отмечалось снижение максимальной, минимальной и средней энергии одного события на 48.6, 62.0 и 41.0% соответственно. В районе панелей 7–9 произошло 595 событий, из которых одно с энергией 4500 Дж и одно с энергией 10 тыс. Дж. По сравнению с предыдущим 2022 г. образовались десять новых зон сейсмической активности (рис. 5).

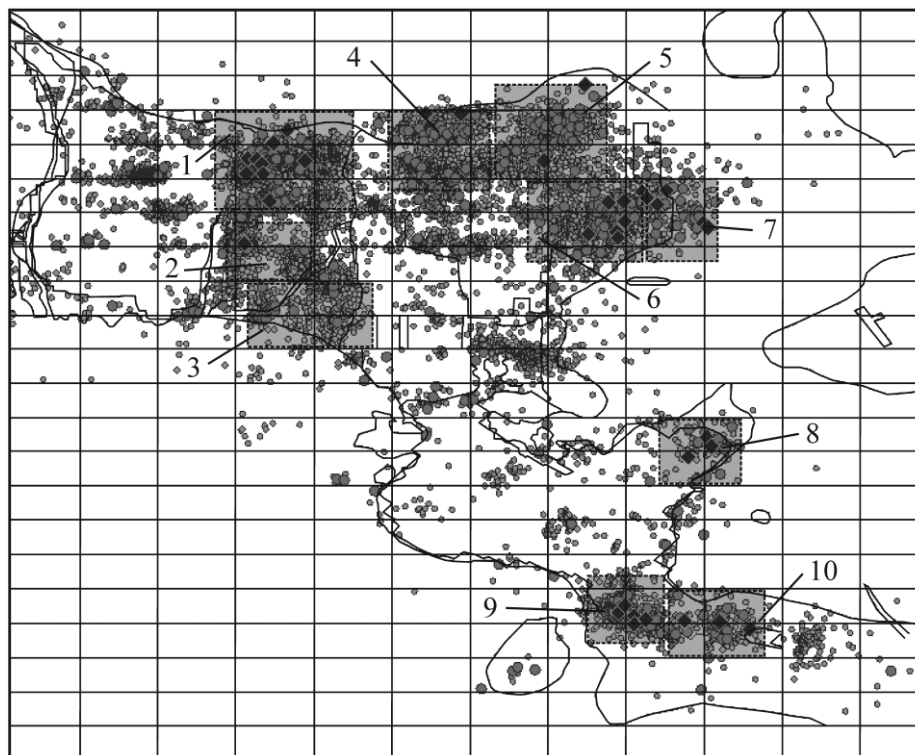


Рис. 5. Очаги сейсмических событий 1 – 10 в 2023 г.

Увеличение суммарной энергии по сравнению с предыдущим годом составило 44 %, причем сейсмические события регистрировались в кровле горных выработок (рис. 6).

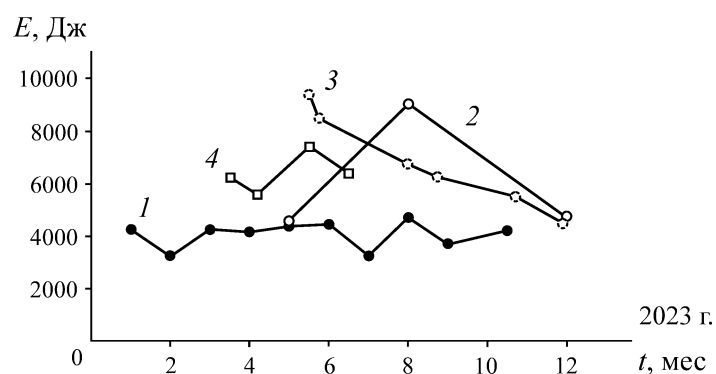


Рис. 6. Суммарная энергия в активных зонах при отработке панелей 7–9 (1), 10–11 (2), 24–25 (3) и 25–26 (4)

### ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ОТРАБОТКИ РУДНЫХ ЗАПАСОВ НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ СОБЫТИЙ

На глубине 1.02–1.60 км сейсмическая энергия изменялась от 110 до 6164 Дж (рис. 7). Отработка панели 12 спровоцировала на глубине 1.12–1.39 км сейсмические события с энергией 2750–7074 Дж. Высокую сейсмическую активность вызвала выемка панелей 8, 9, 11, 24–26 на глубине 1.2–1.4 км.

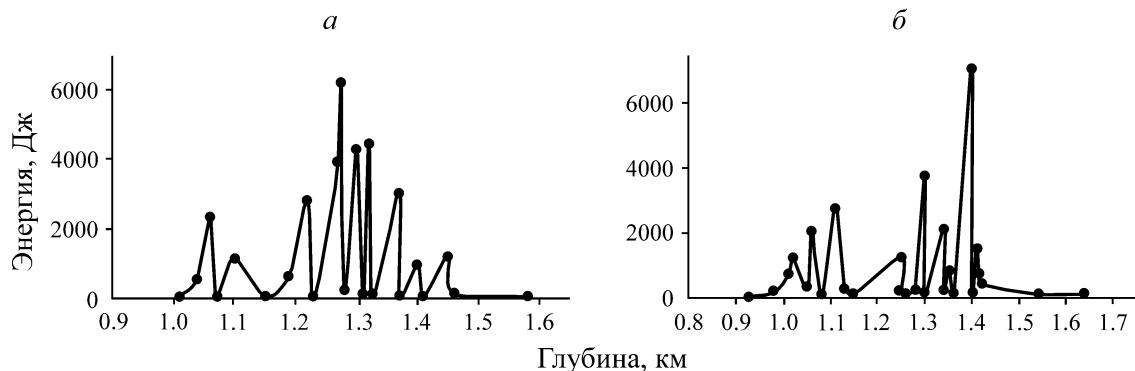


Рис. 7. Сейсмическая энергия событий с изменением глубины горных работ в панелях 8 (а) и 12 (б)

### ОБЪЕМ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА И СЕЙСМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ СОБЫТИЙ

В процессе отработки панелей объем выработанного пространства стал более 3500 тыс. м<sup>3</sup>, суммарная энергия сейсмических событий достигала  $2.28 \cdot 10^5$  Дж. Была выполнена оценка геодинамического состояния горных пород путем рассмотрения отношения суммарной энергии сейсмических событий к объему массива горных пород, где регистрировались события ( $K_c$ ). При выемке панелей 0, 2, 3, 6, 12–18, 20, 21, 23–25, 27 значения  $K_c$  соответственно составили 0.01; панелей 1, 5, 7, 10, 11, 19, 26 — 0.02; панели 8 — 0.03; панели 9 — 0.04 (рис. 8а). Выемка панелей 1, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 19, 26 способствовала активизации сейсмики в 2–4 раза. Отметим, что сейсмическая активность снизилась при отработке панелей 1, 11, 13, 27, увеличились — при выемке панелей 6, 7, 8, 9, 10, 26, 25, т. е. часть массива пород по геодинамическим явлениям перешла к опасным. Данный вывод особенно характерен для оценки панелей 8, 9, 10, 25. Уменьшение сейсмичности возможно посредством снижения интенсивности отработки данных панелей.

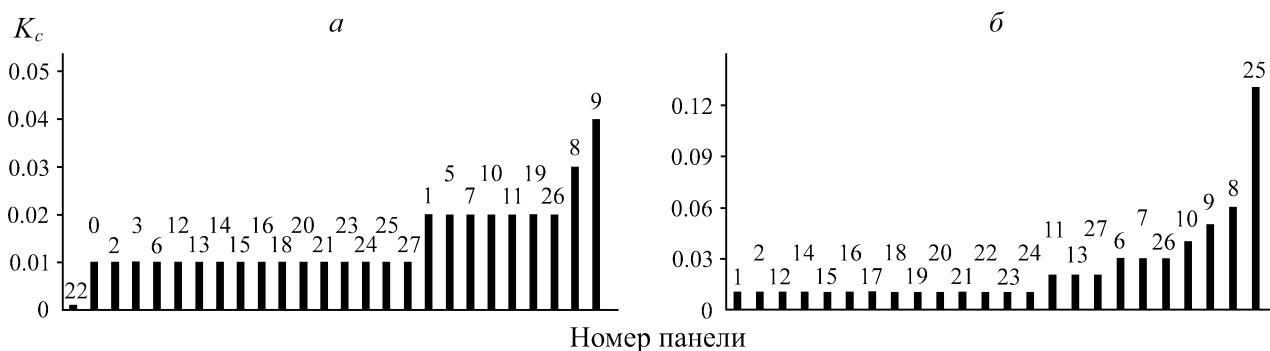


Рис. 8. Распределение показателя сейсмической активности  $K_c$  при отработке панелей 1–27 в первом (а) и втором (б) полугодиях 2023 г.

Изменение сейсмической активности после затопления обусловлено ростом трещиноватости массива из-за воздействия воды. Водонасыщение массива привело к снижению суммарной энергии сейсмических событий при увеличении их количества.

### ВЫВОДЫ

Выделены девять районов концентрации очагов сейсмических событий до затопления и семь после затопления. Отмечено снижение максимальной энергии одного события приблизительно на 50 %. После затопления в районе отработки панелей события регистрировались в кровле, почве и рудном теле. Отработка панелей до и после затопления горизонтов способ-

ствовала формированию зон сейсмической активности на глубине 0.95–1.40 км и более, при этом до затопления количество зон было меньше, а энергия сейсмических событий выше. После затопления количество зон увеличилось, их энергия снизилась.

Установлено влияние объема выработанного пространства на сейсмическую энергию событий. Отношение суммарной сейсмической энергии событий к объему массива горных пород, где располагались события, колебалось в пределах 0.01–0.13. Выемка панелей 8, 9, 10, 25 показала, что увеличение отношения суммарной сейсмической энергии событий к объему массива горных пород с 0.04 до 0.13 способствовало росту сейсмической активности в 1.5, 3, 13 раз.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Урванцев Н. Н. Открытие Норильска. — М.: Недра, 1981. — 174 с.
2. Горбачев С. А., Дарбинян Т. П., Баландин В. А. Становление и развитие рудника “Октябрьский” // Горн. журн. — 2015. — № 6. — С. 15–18.
3. Еременко А. А., Конурин А. И., Филиппов В. Н., Дарбинян Т. П. Обеспечение безопасности ведения горных работ в условиях освоения удароопасных месторождений Западной Сибири и Крайнего Севера // Научные основы безопасности горных работ: сб. Всерос. науч.-практ. конф. — М.: ИПКОН РАН, 2018. — С. 25–31.
4. Еременко А. А., Дарбинян Т. П., Айнбиндер И. И., Конурин А. И. Оценка геомеханического состояния массива горных пород на Талнахском и Октябрьском месторождениях // Горн. журн. — 2020. — № 1. — С. 82–86.
5. Рассказов И. Ю., Чебан А. Ю., Литвинова Н. М., Конарева Т. Г., Андрищенко А. С. Совершенствование схем добычи и переработки руд при освоении сложноструктурных месторождений // ФТПРПИ. — 2023. — № 2. — С. 57–67.
6. Звездин В. А., Зуев Б. Ю., Климкина В. М. и др. Исследование напряженно-деформированного состояния почвы разделительных массивов глубоких рудников Талнаха // Зап. Горн. ин-та. — 2010. — Т. 185. — С. 81–84.
7. Сергунин М. П., Дарбинян Т. П., Костенко И. А., Кузьмин С. В. Выполнение геофизических исследований на Талнахском и Октябрьском месторождениях сейсмическим методом // Горн. журн. — 2021. — № 2. — С. 11–15.
8. Козырев А. А., Савченко С. Н., Панин В. И., Семенова И. Э., Рыбин В. В., Федотова Ю. В., Козырев С. А. Геомеханические процессы в геологической среде горнотехнических систем и управление геодинамическими рисками. — Апатиты: КНЦ РАН, 2019. — 431 с.
9. Семенова И. Э., Жукова С. А., Журавлева О. Г. Развитие зон сейсмической активности в подработанной толще пород при комбинированной отработке месторождений Кировского рудника // ФТПРПИ. — 2022. — № 6. — С. 104–111.
10. Беседина А. Н., Гридин Г. А., Кочарян Г. Г., Морозова К. Г., Павлов Д. В. Активизация сейсмоакустических событий после массовых взрывов на железорудном месторождении Курской магнитной аномалии // ФТПРПИ. — 2024. — № 1. — С. 3–15.
11. Терешкин А. А., Рассказов И. Ю., Аникин П. А., Мигунов Д. С., Рассказов М. И. Совершенствование аппаратных и программно-методических средств экспресс-оценки удароопасности // Цифровые технологии в горном деле: тезисы докладов Всерос. науч.-техн. конф. — Апатиты, 2023. — С. 64–66.

Поступила в редакцию 17/IV 2024

После доработки 20/VI 2024

Принята к публикации 27/VI 2024