

ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ЛАЗЕРНЫМ ДЕФОРМОМЕТРОМ НА «НИКОЛАЕВСКОМ» РУДНИКЕ И МЕСТОРОЖДЕНИИ «АНТЕЙ»

Луговой В.А., Цой Д.И., Терешкин А. А., Рассказов М.И.

*Хабаровский Федеральный Исследовательский центр
Дальневосточного отделения РАН, г. Хабаровск
denis.tsoi@mail.ru*

Освоение месторождений твердых полезных ископаемых на современном этапе происходит в усложняющихся горно-геологических и геомеханических условиях [1–4].

В процессе создания многоуровневой системы комплексного геодинамического мониторинга в 2012 г. в горной выработке (квершлаг Ф-400) на месторождении «Антей» ПАО «ППГХО» на глубине 300 м. был установлен 50-метровый лазерный деформометр [5, 6].

В III квартале 2022 г. введен в эксплуатацию лазерный деформометр в районе действующего Николаевского рудника АО «ГМК «Дальполиметалл» [7]. Он размещен на горизонте -320 м Николаевского рудника в районе рудной залежи «Жерловая» по горной выработке штрек Разведочный 3 на отметке -323 м.

Конструктивно обе системы выполнены одинаково [7]. Длина рабочего плеча – 50 м, точность измерений 0,1 нм.

Результаты измерений микродеформаций земной коры записываются в виде часовых файлов с частотой 500 Гц, что позволяет исследовать сигналы в полосе от 0 (условно) до 250 Гц. В дальнейшем проводится их обработка на основе современных методов спектрального и статистического анализа. Выполненная обработка позволяет выявить особенности деформаций земной коры в зоне контроля лазерного деформометра.

Регистрация крупных удаленных землетрясений.

На рисунке 1а представлена характерная запись лазерным деформометром деформационных колебаний горного массива месторождения Антей от крупного удаленного землетрясения магнитудой 7,8, произошедшего в заливе Аляска (США), 23 января 2018 г.

Расстояние от очага землетрясения до деформометра составляет 5750 км. **Параметры сигнала:** амплитуда – 5,2 мкм; длительность события 21 мин 20 сек; в результате землетрясения произошло резкое увеличение смещения с 0,9 мкм до 6,1 мкм, предвестником землетрясения выступает поведение сигнала в течение первых суток (значительное снижение зарегистрированно-го смещения).

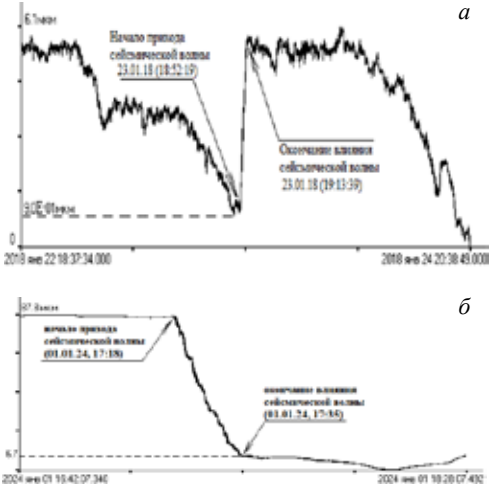


Рис. 1. Участок записи сигнала, вызванного землетрясением на западном побережье Хонсю, Япония. (а – 19.06.19 на месторождении «Антей», б – Николаевское месторождение)

На рисунке 1б изображен участок записи лазерного деформометра, на котором отражено влияние сейсмической волны от землетрясения на массив горных пород Николаевского месторождения, произошедшее 01.01.2024 г. недалеко от о. Хонсю, Япония.

Параметры сигнала: в результате этого воздействия магнитудой 7,3, амплитуда составила около 80 мкм, при этом расстояние от эпицентра события до места установки системы составило 772 км, полоса частот (с большим энергетическим весом сигналов) 36–70 Гц (рис. 2).

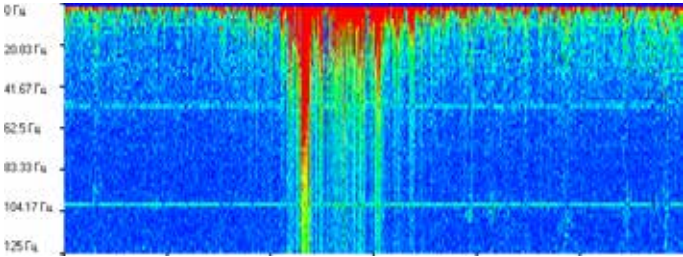


Рис. 2. Динамическая спектрограмма (землетрясение 01.01.2024 г., о. Хонсю, Япония)

Результаты анализа влияния удаленных землетрясений на геодинамическую активность массива горных пород, полученные с участием многоканальной автоматизированной геоакустической системой контроля горного давления “PROGNOZ ADS”, представлены на рисунке 3.

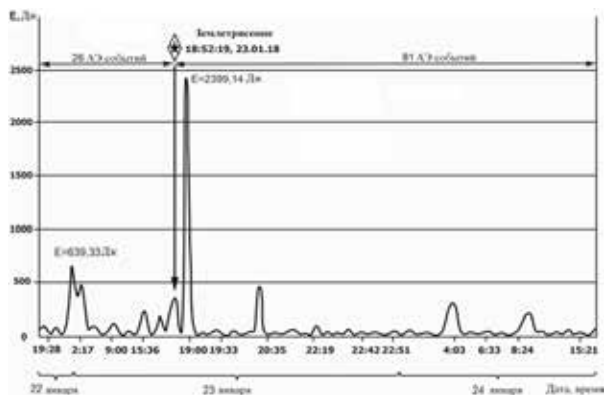


Рис. 3. График геоакустической активности до и после землетрясения

Регистрация горных ударов.

С точки зрения исследования возможности регистрации предвестников высокоэнергетических сейсмособытий в горном массиве особый интерес представляет анализ деформационных сигналов, сопутствующих горному удару в контролируемой деформометром зоне, зарегистрированному 29 февраля 2016 года на месторождении «Антей».

Запись деформационного сигнала от горного удара лазерным деформометром (рис. 4) охватывает интервал времени от 26 февраля до 13 марта 2016 года. Децимация при анализе сигнала порядка 10 000, что определяет частотный диапазон анализа до 50 мГц.

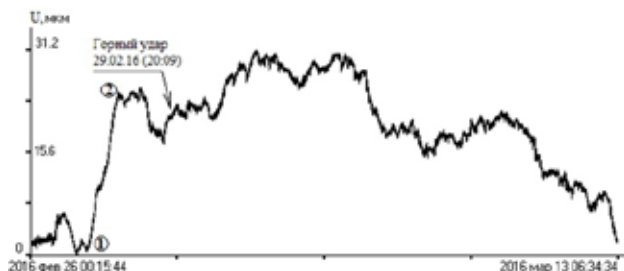


Рис. 4. Двухнедельная запись лазерного деформометра

Интересным представляется участок записи, отмеченный цифрами 1 и 2. Его следует интерпретировать, как значительное сжатие горного массива, предшествующее горному удару. Цифра 1 – начало сжатия – 27 февраля 13 часов 33 мин. Цифра 2 – окончание сжатия – 28 февраля 19 часов 57 мин. Таким образом, примерно за 1,5 суток до удара зафиксировано anomальное поведение горного массива в зоне контроля лазерного деформометра.

Такое anomальное поведение деформационной волны за 1,5 суток до момента развития горного удара указывает на возможность прогноза момента возникновения горного удара и возможность принятия адекватных мер для обеспечения безопасности проводимых работ.

Далее представлены горные удары, зарегистрированные деформационной системой на Николаевском руднике, г. Дальнегорск.

На рисунке 5 представлен участок записи лазерного деформометра, на котором зафиксирован горный удар, произошедший 04.12.2023 в 2:15 по местному времени.

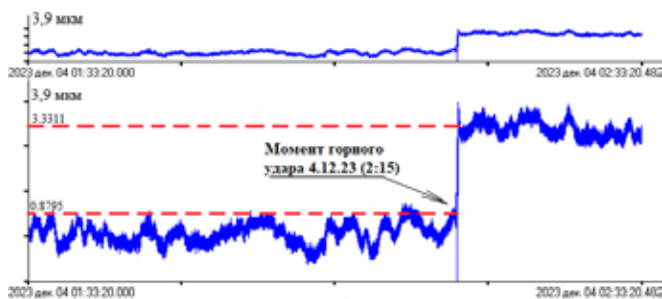


Рис. 5. Фрагмент записи лазерного деформометра

Параметры сигналов: амплитуда возрастает с 0,88 до 3,33 мкм. Динамическая спектрограмма показывает: до момента удара сигналы (шумы) наблюдаются в низкочастотной области спектра в полосе от 0 (условно) до 1 Гц. После горного удара спектр энергетически значимых сигналов смещается в высокочастотную область спектра, в полосу (150–160) Гц.

Несколько иная картина наблюдалась при регистрации горного удара 17.01.2024 г. **Параметры сигналов:** в течение первых 45 минут амплитуда равномерно уменьшается с 1,72 мкм до 0. В

следующие 30 минут быстро возрастает до 5 мкм; горный удар наблюдается через 38 минут после момента резкого возрастания сигнала. Длительность события – 8 с. До момента наступления момента удара шумы наблюдаются в низкочастотной области спектра в полосе от 0(условно) до 1 Гц. Примерно за 10 минут до удара смещаются в полосу 1-25 Гц. Во время удара энергетически значимая частота порядка 125 Гц.

Выводы. Результаты измерений лазерным деформометром на массивах Краснокаменского и Дальнегорского месторождений свидетельствуют о следующем:

- выявлены особенности поведения сигналов лазерного деформометра при регистрации землетрясений и горных ударов, что может быть использовано при прогнозе этих событий;
- совместный анализ результатов измерений лазерным деформометром и системой геоакустического контроля “PROGNOZ ADS” позволяет следить за динамикой энергетических и частотных характеристик сигналов геоакустической эмиссии, направлением ее распространения в массивах, что позволяет прогнозировать появление опасных для работы участков в горной выработке;
- для дальнейших исследований актуальной является задача обнаружения и регистрация медленных деформационных волн, которые могут являться триггерным механизмом высокоэнергетических событий и как полагают авторы [8] деформационную раскачку следует искать в сигналах с периодами (0,5-2) часа, полосе частот (1,5-5,5) •10⁻⁴ Гц за 1,5-2 суток перед сейсмособытиями.

Литература

1. Jiakun Lv, Zhijun Wan, Yongjie Yang, Junhui Wang, Yuan Zhang, Sifei Liu. Failure characteristics and stability control technology of dynamic pressure roadway affected by the mining activity: A case study, Engineering Failure Analysis. 2022. V. 131. 105857. ISSN 1350-6307. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105857>.
2. Geomechanical justification of security measures in the development of the South Khingan deposit of manganese ore / M.I. Rasskazov, M.I. Potapchuk, G.A. Kursakin, D.I. Tsoi // Problems of Complex Development of Georesources: electronic resource, Khabarovsk, 25–27 сентября 2018 года. – Khabarovsk: EDP Sciences, 2018. – P. 02014. – DOI 10.1051/e3sconf/20185602014.
3. Изучение горно-геологических особенностей и определение физико-механических свойств горных пород золоторудного месторождения Делькен / М.И. Рассказов, М.И. Потапчук, Д.И. Цой [и др.] // Проблемы недропользо-

- вания. 2020. № 2(25). С. 116-126. DOI 10.25635/2313-1586.2020.02.116. EDN YLSJIW.
4. Изучение горно-геологических особенностей и определение физико-механических свойств горных пород золоторудного Албынского месторождения / М.И. Рассказов, Д.И. Цой, В.Г. Крюков [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 5-2. С. 146-161. DOI 10.25018/0236_1493_2021_52_0_146. EDN NZBQBT.
 5. Исследование влияния длиннопериодных деформационных волн на геоакустическую активность горного массива / Д.И. Цой, М.И. Рассказов, А.В. Гладырь [и др.] // Проблемы недропользования. 2019. № 4(23). С. 66-73. DOI 10.25635/2313-1586.2019.04.066.
 6. Особенности применения лазерных деформографов классического и маятникового типов / Г.И. Долгих, С.Г. Долгих, В.В. Овчаренко [и др.] // Фотоника. 2021. Т. 15. № 6. С. 474-483. DOI 10.22184/1993-7296.FRos.2021.15.6.474.483.
 7. Цой Д.И. Технические возможности лазерного деформографа при размещении в подземной горной выработке / Д.И. Цой, М.И. Рассказов, А.А. Терешкин // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр, Москва, 25–29 июня 2018 года. – Москва: Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 2018. – С. 136-139.
 8. Ларионов И.А., Шевцов Б.М. Геоакустическая эмиссия и деформации осадочных пород. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России, Петропавловск-Камчатский, 11-17 октября 2009г.