

УДК 622.271.1:622.342.1

Ломов Михаил Андреевич
младший научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН,
680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51
e-mail: 9241515400@mail.ru

Константинов Александр Викторович
научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН
e-mail: alex-sdt@yandex.ru

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КУКИСВУМЧОРРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ*

Аннотация:

Разработка месторождений полезных ископаемых и подземное строительство в сложных горно-геологических условиях и на больших глубинах сопровождаются повышенным горным давлением.

Исследование свойств и состояния природно-технических систем требует проведения междисциплинарных исследований, подразумевающих обработку и совместный анализ различных данных, а также работу с инструментальными сетями наблюдений, измерительными системами и т.д., что требует разработки эффективных алгоритмов, технологий и высокопроизводительных компьютерных систем для работы с разнородными наборами научных данных, которые должны обеспечить комплексное решение задач по сбору, интеграции и обработке больших объемов информации.

В данной работе в целях установления основных факторов, определяющих проявления удароопасности и техногенной сейсмичности, приведен анализ данных мониторинга сейсмических и сейсмоакустических событий на Кукисвумчоррском месторождении (Хибинский массив, Мурманская область) с использованием разработанной цифровой модели природно-технической системы, которая позволяет более надежно выявлять и интерпретировать ранее неизвестные или слабо изученные геологические структуры горного массива, производить более точный анализ природы возникновения сейсмоакустических событий, заблаговременно оценивать и прогнозировать геомеханическое состояние геосреды, выделять потенциально удароопасные участки.

Ключевые слова: геомеханика, горное давление, напряженное состояние, горные удары, прогноз, методы, контроль, 3D моделирование.

DOI: 10.25635/2313-1586.2022.01.038

Lomov Mikhail A.
Junior Researcher,
Mining Institute, Far Eastern Branch of RAS,
680000 Khabarovsk, 51 Turgenev Str.
e-mail: 9241515400@mail.ru

Konstantiniv Aleksandr V.
Researcher,
Mining Institute, Far Eastern Branch of RAS
e-mail: alex-sdt@yandex.ru

RESULTS ANALYSIS OF SEISMIC MONITORING OF THE KUKISVUMCHORRSKOYE FIELD

Abstract:

The development of mineral deposits and underground construction in difficult mining and geological conditions and at great depths are accompanied by increased rock pressure.

The study of the properties and the condition of natural-technical systems requires interdisciplinary research involving the processing and joint analysis of various data, as well as dealing with instrumental observation networks, measuring systems, etc. This requires the development of effective algorithms, technologies and high-performance computer systems to work with heterogeneous sets of scientific data, which should provide a comprehensive solution to the problems of collecting, integrating and processing large amounts of information.

This paper, in order to establish the main factors determining the manifestations of impact hazard and technogenic seismicity, gives an analysis of monitoring data of seismic and seismoacoustic events at the Kukisvumchorrskoye field (Khibinsky massif, Murmansk region), using the developed digital model of the natural-technical system, which makes it possible to more reliably identify and interpret previously unknown or poorly studied geological structures of the mountain range, to make a more accurate analysis of the nature of the occurrence of seismoacoustic events, to assess and predict the geomechanical state of the geomeidia in advance, to identify potentially impact-prone areas.

Key words: geomechanics, rock pressure, state of stress, rock bursts, prediction, methods, control, 3D modeling.

* Исследования проведены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных ДВО РАН», финансируемого Российской Федерацией в лице Минобрнауки России по соглашению № 075-15-2021-663

Введение

Разработка месторождений полезных ископаемых и подземное строительство в сложных горно-геологических условиях и на больших глубинах сопровождаются повышенным горным давлением, которое проявляется в таких опасных формах, как сдвигание и обрушение участков массива, внезапные выбросы породы и газа, стрельания пород, горные и горно-тектонические удары, что нередко приводит к катастрофическим последствиям [1]. Проблема удароопасности на подземных рудниках становится все более актуальной с каждым годом. Проявления горного давления создают серьезную угрозу жизни работающим, снижают эффективность горного производства. Современный научный подход к решению этой проблемы заключается в моделировании процессов, позволяющих адекватно описывать состояние изменяющихся природно-технических систем с последующей верификацией результатов теоретических исследований инструментальными методами. Еще больший эффект приносит совместное применение натуральных и теоретических методов, объединенных общей идеологией и максимально адаптированных к условиям решаемой задачи [2 – 4].

В этой связи представляется весьма актуальной постановка научно-исследовательской работы, цель которой состоит в анализе данных мониторинга сейсмических и сейсмоакустических событий на Кукисвумчоррском месторождении (Хибинский массив, Мурманская область), полученных при помощи автоматизированной системы контроля сейсмичности массива (АСКСМ) и «Prognoz-ADS» КФ АО «Апатит» за 2020 г.

Анализ результатов сейсмического мониторинга

Горные работы на рудниках АО «Апатит» ведутся в удароопасных условиях. Одной из особенностей месторождения является наличие высоких тектонических напряжений, действующих практически вкрест простирания рудного тела, что в значительной мере обусловлено мощными радиальными разломами Хибинского массива (Саамским и Северным), ограничивающими месторождение по простиранию. Вмещающие породы и руды с высокими показателями прочности и упругости склонны к хрупкому разрушению. Еще одним важным фактором, определяющим геомеханическое состояние массива месторождения, является наличие разломных структур разного ранга, шпреуштейнизированных зон и мончикитовых даек [5, 6].

На рис. 1 приведена геолого-структурная модель рудника, созданная по маркшейдерским материалам предприятия в границах условной системы координат по осям: $X=+800/+1500$, $Y=+300/+1000$, $Z=+0/-500$. В данной модели также отображены сейсмические события в виде красных сфер с геологическим разломом по центру.

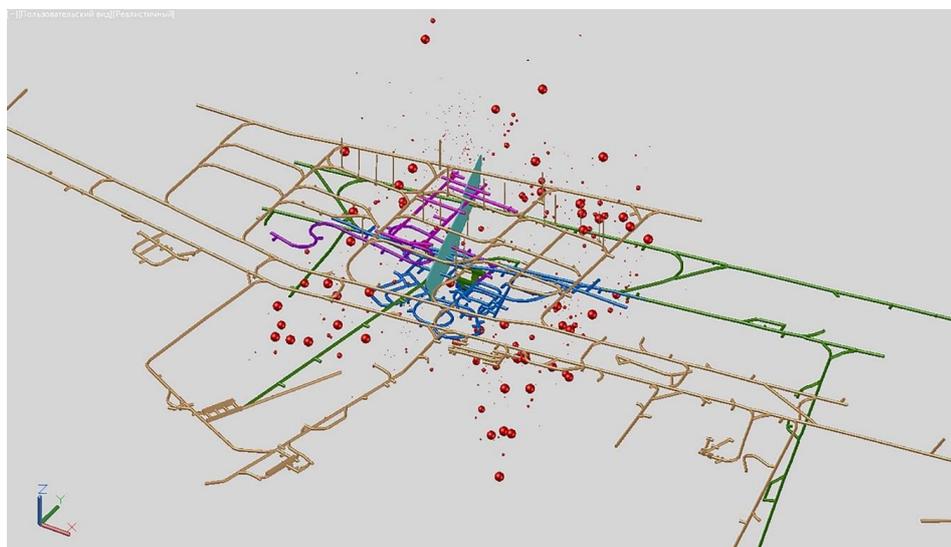


Рис. 1. 3D модель Кукисвумчоррского месторождения с подгруженными сейсмическими событиями в виде красных сфер с геологическим разломом по центру

В 2020 г. на Кукисвумчоррском месторождении было зарегистрировано 2592 сейсмических события с различной энергетикой (рис. 2).

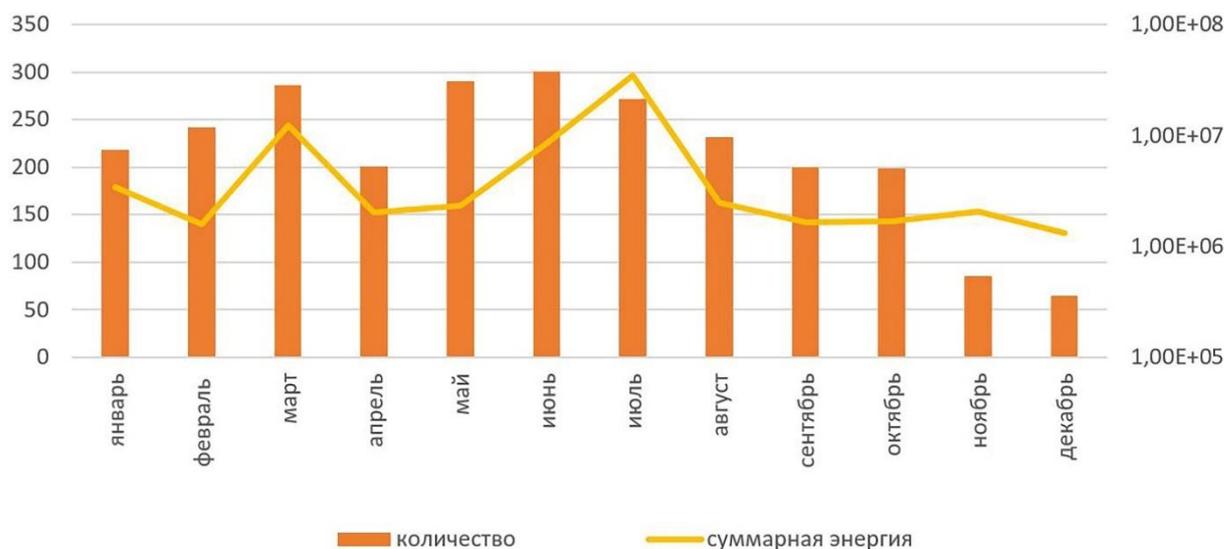


Рис. 2. Изменение суммарной энергии и количества сейсмических событий во времени в границах изучаемой области Кукисвумчоррского месторождения по результатам мониторинга в 2020 г.

В ходе визуального анализа выявлено полное соответствие положения концентрации сейсмических событий с разрывными нарушениями по висячему боку рудного тела и Мончикитовой дайки, что в полной мере объясняет природу возникновения акустических событий в данной области (рис. 3).

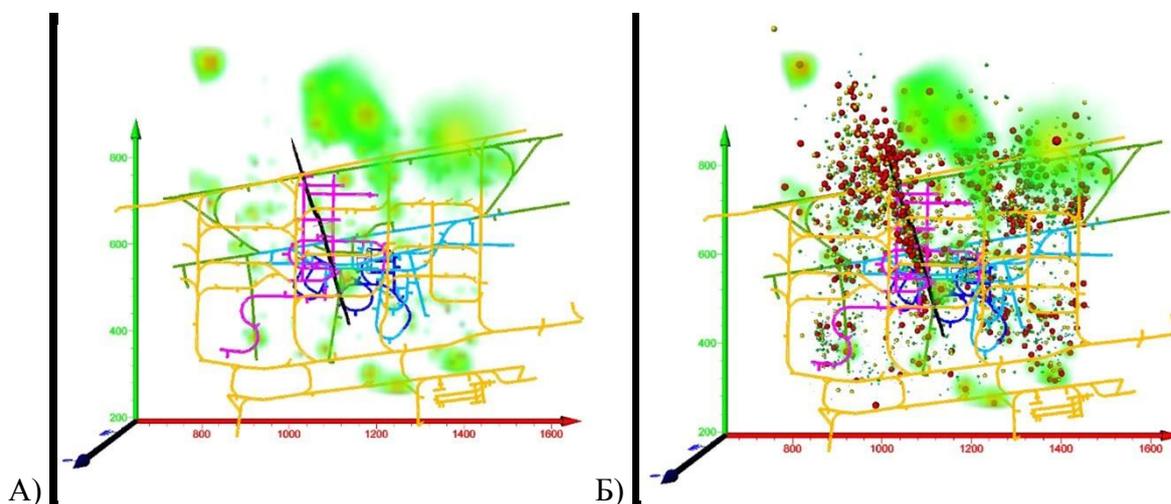


Рис. 3. 3D модель Кукисвумчоррского месторождения (вид сверху): А – с рассчитанными областями напряжений; Б – с подгруженными сейсмическими событиями

Для выделения потенциальных очагов крупных динамических проявлений горного давления использовалась методика, в основу которой положено предположение, что вся совокупность регистрируемых в массиве горных пород сейсмических событий представляет собой облако точек, среди которых есть фоновые (случайные) события, связанные между собой. Концентрация последних (кластер) в пределах ограниченного участка массива может служить признаком формирования очаговой зоны [7].

Применение данного метода в совокупности с разработанной цифровой моделью природно-технической системы отличается от известных тем, что в нем используются прямые измерения исследуемых характеристик, а также он позволяет более надежно выявить и интерпретировать ранее неизвестные или слабо изученные геологические структуры горного массива, устанавливать природу возникновения сейсмических событий. В этой связи можно предположить, что погрешности измерений будут меньше, а достоверность выше, чем можно предотвратить большее количество чрезвычайных ситуаций на горных предприятиях. К достоинствам способа можно отнести также снижение влияния человеческого фактора [8 – 10].

По результатам проведенного анализа массива данных выявлен ряд долгоживущих сейсмически активных зон (табл. 1). Наиболее интенсивно геомеханические процессы протекают в горном массиве в районе разрывного нарушения по висячему боку рудного тела и Мончикитовой дайки (кластер №1 и №2).

Таблица 1

Характеристика кластеров, полученных в результате анализа пространственно-временных закономерностей распределения очагов сейсмических событий

№	Средняя координата точек кластера (x, y, z)	Кол-во событий	Суммарная энергия, Дж	Среднее расстояние от центра кластера до сейсмических событий в его составе, м
1	1350.797, 706.811, -307.385	197	3350290,39	90,4
2	1062.792, 638.541, -205.971	196	929672,56	91,1
3	1236.741, 530.936, -342.553	75	2601408,13	105
4	854.172, 406.440, -371.885	71	1005441,59	35,7
5	1141.409, 374.106, -286.634	14	58740,77	34,1
6	1209.306, 820.934, -224.234	8	344897,75	27
7	953.294, 811.044, -170.104	7	62058,93	27,3
8	1367.005, 477.923, -325.153	18	92225,18	101,8
9	1020.663, 536.903, -287.311	10	30303,76	198,4

На рис. 4 приведена пространственная модель кластеров, полученная в результате анализа пространственно-временных закономерностей распределения очагов сейсмических событий.

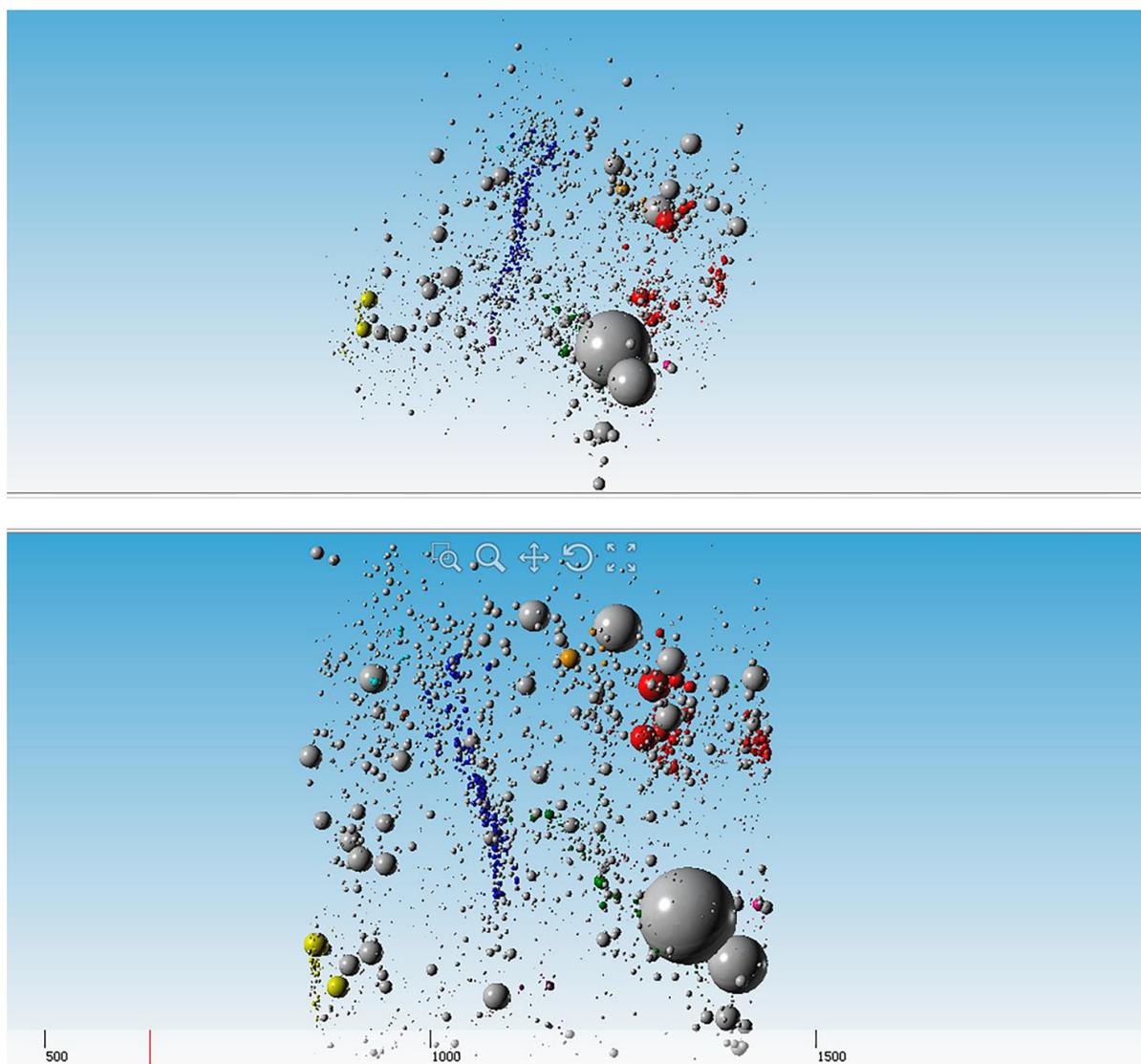


Рис. 4. 3D модель кластеров, полученных в результате анализа пространственно-временных закономерностей распределения очагов сейсмических событий

Заключение

Эффективность сейсмоакустического контроля в условиях действующего горнодобывающего предприятия во многом зависит от того, насколько успешно производится выделение естественных сигналов АЭ из общего потока регистрируемой акустики, на основе каких данных интерпретируется результат и насколько комплексным является обзор факторов для принятия решения о геомеханическом состоянии контролируемого массива горных пород.

Выявленные приведенным в данной работе методом участки массива могут быть подвержены дальнейшему анализу и более детальному изучению в целях:

- более надежного выявления и интерпретации ранее неизвестных или слабо изученных геологических структур горного массива;
- более точного анализа природы возникновения сейсмических событий;
- заблаговременной оценки и прогноза геомеханического состояния геосреды и выделения потенциально удароопасных участков;
- обеспечения безопасности работ на данном месторождении.

Список литературы

1. Петухов И.М., Батугина И.М., 1999. *Геодинамика недр*. Москва: Горная книга, 288 с.
2. Рассказов И.Ю., 2008. *Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона*. Москва: Закрытое акционерное общество "Горная книга", 325 с.
3. Трубецкой К.Н., Малышев Ю.Н., Пучков Л.А. и др., 1997. *Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли*. Москва: Академия горных наук, 478 с.
4. Ломов М.А., Константинов А.В., Терешкин А.А., 2019. Перспективные методы оценки и контроля геомеханического состояния массивов пород. *Проблемы недропользования*, № 4(23), С. 83 - 90. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.04.083
5. Козырев А.А., Семенова И.Э., Аветисян И.М., 2017. Геомеханическое обоснование выемки запасов глубоких горизонтов Кукисвумчоррского месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 4, С. 143 - 155.
6. Козырев А.А., Савченко С.Н., Панин В.И., Семенова И.Э., Рыбин В.В., Федотова Ю.В., Козырев С.А., 2019. *Геомеханические процессы в геологической среде горнотехнических систем и управление геодинамическими рисками*. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 470 с. DOI: 10.25702/KSC.978-5-91137-391-7
7. Rasskazov I.Ju., Saksin B.G., Potapchuk M.I. & Anikin P.A., 2018. The researches of burst-hazard on mines in Russian Far East. *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: Proceedings of the 2018 european rock mechanics symposium*, Vol. 1, PP. 153 - 166.
8. Ломов М.А., Сидляр А.В., 2021. Оценка факторов удароопасности Николаевского месторождения с помощью системы 3d моделирования результатов сейсмоакустического мониторинга. *Проблемы недропользования*, 1 (28), С. 64 - 72. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.01.064
9. Lomov M., 2020. *3D modeling system of seismoacoustic monitoring results at the Nikolaevskoye field*. *E3S Web of Conferences: 8, Khabarovsk, 08–10 сентября 2020 года*. Khabarovsk, P. 04008.
10. Zhang F., Yang Y., Pahlavan L., 2020. *Evaluation of Acoustic Emission Source Localization Accuracy in Concrete Structures, Structural Health Monitoring*. DOI: 10.1177/1475921720915625

References

1. Petukhov I.M., Batugina I.M., 1999. *Geodinamika neдр* [Geodynamics of the subsurface]. Moscow: Gornaya kniga, 288 p.
2. Rasskazov I.Yu., 2008. *Kontrol' i upravlenie gornym davleniem na rudnikakh Dal'nevostochnogo regiona* [Control and management of rock pressure in the mines of the Far Eastern region]. Moscow: Zakrytoe aktsionernoe obshchestvo "Gornaya kniga", 325 p.
3. Trubetskoi K.N., Malyshev Yu.N., Puchkov L.A. i dr., 1997. *Gornye nauki. Osvoenie i sokhranenie neдр Zemli* [Mining sciences. Development and preservation of the Earth interior]. Moscow: Akademiya gornykh nauk, 478 p.
4. Lomov M.A., Konstantinov A.V., Tereshkin A.A., 2019. *Perspektivnyye meto-dy otsenki i kontrolya geomekhanicheskogo sostoyaniya massivov porod* [Promising methods of assessment and control of the geomechanical state of rock massifs]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4(23), P. 83 - 90. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.04.083
5. Kozyrev A.A., Semenova I.E., Avetisyan I.M., 2017. *Geomekhanicheskoe obosnova-nie vyemki zapasov glubokikh gorizontov Kukisvumchorrskogo mestorozhdeniya* [Geomechanical equipment for the excavation of reserves of deep horizons of the Kukisvumchorrsky deposit]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 4, P.143 - 155.

6. Kozyrev A.A., Savchenko S.N., Panin V.I., Semenova I.E., Rybin V.V., Fedotova Yu.V., Kozyrev S.A., 2019. Geomekhanicheskie protsessy v geologicheskoi srede gornotekhnicheskikh sistem i upravlenie geodinamicheskimi riskami [Geomechanical processes in the geological environment of mining systems and geodynamic risk management]. Apatity: FITs KNTs RAN, 470 p. DOI: 10.25702/KSC. 978-5-91137-391-7

7. Rasskazov I.Ju., Saksin B.G., Potapchuk M.I. & Anikin P.A., 2018. The researches of burst-hazard on mines in Russian Far East. *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: Proceedings of the 2018 european rock mechanics symposium*, Vol. 1, PP. 153 - 166.

8. Lomov M.A., Sidlyar A.V., 2021. Otsenka faktorov udaroopasnosti Nikolaevskogo mestorozhdeniya s pomoshch'yu sistemy 3d modelirovaniya rezul'tatov seismoakusticheskogo monitoring [Assessment of the impact hazard factors of the Nikol'yevsky deposit using a 3D modeling system of seismic and acoustic monitoring results]. *Problemy nedropol'zovaniya*, 1 (28), P. 64 - 72. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.01.064

9. Lomov M., 2020. *3D modeling system of seismoacoustic monitoring results at the Nikolaevskoye field. E3S Web of Conferences: 8, Khabarovsk, 08–10 сентября 2020 года.* Khabarovsk, P. 04008.

10. Zhang F., Yang Y., Pahlavan L., 2020. *Evaluation of Acoustic Emission Source Localization Accuracy in Concrete Structures, Structural Health Monitoring.* DOI: 10.1177/1475921720915625