

УДК 622.831

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

**АВАРИИ В ГОРНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РОССИИ,
ПРОИЗОШЕДШИЕ ВСЛЕДСТВИЕ
ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ
В ГОРНОМ МАССИВЕ.
КОНТРОЛЬ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ
НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «ЮЖНОЕ»
(ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)***

Аннотация:

В России, а также во многих странах наблюдается тенденция к усложнению условий разработки полезных ископаемых. Практически все горнодобывающие предприятия относятся к опасным производственным объектам. Россия занимает одно из лидирующих мест в мире в горной промышленности, но, к сожалению, и на ее территории происходят аварии, влекущие травмы и гибель работников. Несчастные случаи на горнодобывающем предприятии могут возникать по разным причинам, в том числе это касается изменения геомеханического и геодинамического состояния разрабатываемого массива горных пород, где в результате горных работ или горных ударов могут инициироваться динамические проявления горного давления, вследствие которых могут пострадать люди.

В первой части данной работы приведен анализ и сопоставление источников по авариям в горной промышленности в России за 2017 – 2022 гг., показывающий, что несчастные случаи на горнодобывающем предприятии могут возникать по разным причинам. Эта проблема присутствует в нашей стране, люди погибают, травмируются, и данная тенденция сохраняется. Более подробно рассмотрена статистика по авариям, произошедшим вследствие динамических проявлений в горном массиве.

В второй части описана разработка и установка измерительных средств для создания геодинамического полигона для комплексного геомеханического мониторинга удароопасности и техногенной сейсмичности в Дальнегорском рудном районе, в частности, проектирование с использованием программы «AntennaCalc» и объемной цифровой модели месторождения сети геофонов и установка на опасном по горным ударам Южном месторождении автоматизированной системы горного давления «Prognoz-ADS».

Ключевые слова: геомеханика, горное давление, напряженное состояние, горные удары, прогноз, методы, контроль, статистика смертности.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.01.085

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

**ACCIDENTS IN THE MINING INDUSTRY IN
RUSSIA THAT OCCURRED AS A RESULT
OF DYNAMIC MANIFESTATIONS
IN THE MOUNTAIN RANGE. CONTROL
OF MOUNTAIN PRESSURE
AT THE YUZHNOYE FIELD
(PRIMORSKY KRAI)**

Abstract:

In Russia, as well as in many countries, there is a tendency of conditions complication for the minerals development. Almost all mining enterprises are classified as hazardous production facilities. Russia occupies one of the leading places in the world in the mining industry, but, unfortunately, accidents occur on its territory, resulting in injuries and death of workers. Accidents at a mining enterprise can occur for various reasons, including changes in the geomechanical and geodynamic state of the rock mass under developing, where dynamic manifestations of rock pressure can be initiated by mining operations or rock impacts, as a result of which people may suffer.

The first part of this work provides an analysis and comparison of sources on accidents in the mining industry in Russia for 2017-2022, showing that accidents at a mining enterprise can occur for various reasons. This problem is present in our country, people are dying and being injured and this trend continues. Statistics on accidents that occurred as a result of dynamic manifestations in the mountain range are considered in more detail.

The second part of the work describes the development and installation of measuring instruments for the creation of a geodynamic polygon for complex geomechanical monitoring of impact hazard and technogenic seismicity in the Dalnegorsky ore region. In particular, it shows the design with use of the "AntennaCalc" program and a volumetric digital model of the geophone network field and the installation of an automated mountain pressure system "Prognoz-ADS" at the Southern field, which is dangerous for mountain impacts.

Key words: geomechanics, rock pressure, state of stress, rock bursts, prediction, methods, control, mortality statistics.

* 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

В России, как и во многих других странах, прослеживается тенденция усложнения условий освоения месторождений по мере истощения запасов, расположенных на небольших глубинах и в благоприятной горно-геологической обстановке. Особенно это касается изменения геомеханического и геодинамического состояния разрабатываемого массива горных пород и прилегающих участков земной коры, где в результате горных работ могут инициироваться динамические проявления горного давления, катастрофические горные удары и даже техногенные землетрясения, существенно ухудшающие безопасность горных работ и их эффективность.

Несчастные случаи на горнодобывающем предприятии могут возникать по разным причинам.

В данной работе приведен анализ и сопоставление источников по авариям в горной промышленности в России за 2017 – 2022 гг., а также приведен пример работы по снижению риска удароопасности и техногенной сейсмичности в Дальнегорском рудном районе.

Аварии в горной промышленности в России

Несчастные случаи на горнодобывающем предприятии могут возникать по разным причинам, включая выбросы взрывоопасных природных газов, особенно рудничного газа или метана, взрывы пыли, обрушение очистных забоев, сейсмичность, вызванную горными работами или горными ударами, наводнения или общие механические ошибки из-за неисправностей оборудования и механизмов, а также нарушение техники безопасности [1 – 5].

Россия занимает одно из лидирующих мест в мире в горной промышленности, но, к сожалению, и на ее территории происходят несчастные случаи. За последние 5 лет в нашей стране пострадало как минимум 220 человек, из них погибло 129, а 91 получили тяжелые травмы.

На рис. 1 приведен результат анализа и сопоставления источников по авариям в горной промышленности за 2017 – 2022 гг. в процентном соотношении от общего количества происшествий. Материал для сбора статистики и последующего его анализа в данной работе формировался на основе пресс-релизов и общедоступных отчетов Ростехнадзора Российской Федерации, а также публикаций различных изданий средств массовой информации.



Рис. 1. Процентное соотношение причин несчастных случаев в горной промышленности России в зависимости от общего количества за 2017 – 2022 гг.

Исходя из проделанной работы видно, что наибольшее число травм и человеческих жертв происходит по причине выбросов взрывоопасных природных газов и/или

взрыва угольной пыли. Примером такой катастрофы может служить взрыв на шахте «Листвяжная», принадлежащей компании АО ХК «СДС-Уголь» (Кемеровская область, Россия), произошедший 25 ноября 2021 г. В результате происшествия погиб 51 человек.

Далее более подробно остановимся на авариях, произошедших вследствие динамических проявлений в горном массиве.

Проблема удароопасности на подземных рудниках мира, России и Дальнего Востока становится все более актуальной с каждым годом. Горное давление часто проявляется в таких опасных формах, как сдвигание и обрушение, внезапный выброс горных пород, горно-тектоническое воздействие. Особенностью динамических проявлений горного давления, особенно горных и горно-тектонических воздействий, является их быстрое протекание и большая разрушительная сила. Они несут угрозу жизни работающим, снижают эффективность горного производства, могут причинить значительный материальный и репутационный ущерб горнодобывающим компаниям, а в некоторых случаях приводят к потере запасов полезных ископаемых из-за огромного количества разрушенных шахт и провалов на поверхности, что приводит к невозможности последующих работ на месторождении, а иногда и к экологической угрозе [6 – 7].

В России впервые горный удар был зарегистрирован в 1944 г. в Кизеловском угольном бассейне.

Результаты анализа и сопоставления источников по авариям в горной промышленности в России, произошедшим вследствие динамических проявлений в горном массиве, а также повлекшим гибель или травмы людей за 2017 – 2022 гг., представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

**Аварии в горной промышленности в России,
произошедшие вследствие динамических проявлений в горном массиве,
а также повлекшие гибель или травмы людей за последние 5 лет**

Дата	Город/Область/Организация	Вид аварии	Последствия
1	2	3	4
23.04.2017	Россия, Челябинская область, шахта «Центральная»	обрушение	2 человека погибли, 1 человек госпитализирован
23.06.2017	Россия, Коми, шахта «Интинская»	обрушение	1 человек погиб, 2 человека госпитализировано
13.07.2017	Россия, Североуральский городской округ, шахта «Ново-Кальинская»	обрушение	1 человек погиб
20.07.2017	Россия, Коми	обрушение	2 человека госпитализировано
29.07.2017	Россия, Якутия, Рудник «Мир»	обрушение	1 человек погиб
14.09.2017	Россия, Коми	обрушение	1 человек погиб
08.12.2017	Россия, Свердловская область, Североуральск	горный удар	1 человек погиб
07.02.2018	Россия, Кемеровская область, шахта «Осинниковская»	обрушение	1 человек погиб
30.04.2018	Россия, Тандинский район	обрушение	1 человек погиб
21.05.2018	Россия, Ростовская область, шахта «Октябрьская-Южная»	обрушение	1 человек погиб

Окончание табл. 1

1	2	3	4
13.06.2018	Россия, Алтайский край, Корбалихинский рудник	обрушение	1 человек погиб, 1 человек госпитализирован
15.08.2018	Россия, Свердловская область, Краснотурьинск	обрушение	1 человек погиб
19.09.2018	Россия, Челябинская область, Пластовский район	обрушение	1 человек погиб
15.10.2018	Россия, Пермский край, пос. Сараны	обрушение	1 человек госпитализирован
28.11.2018	Россия, Якутия, шахта «Денисовская»	обрушение	1 человек погиб
12.02.2019	Россия, шахта «Талдинское- Кыргайское», Кемеровская область	обрушение	1 человек погиб, 1 человек госпитализирован
04.06.2019	Россия, Кузбасс, шахта «Распадская»	обрушение	1 человек погиб
17.07.2019	Россия, шахта «Анжерская-Южная», Кузбасс	обрушение	1 человек погиб
11.08.2019	Россия, рудник «Сарылах», Оймяконский район, Якутия	обрушение	1 человек погиб
21.08.2019	Урал, шахта «Ново-Кальинская», АО СУБР	горный удар/обрушение	1 человек погиб
30.08.2019	Рудник «Урупский», Карачаево-Черкесия	обрушение	1 человек госпитализирован
25.09.2019	Россия, Оренбургская область, руд- ник Гайский горно-обогатительный комбинат	обрушение	1 человек погиб
10.10.2019	Россия, шахта «Северная», ПАО «Коммунарковский рудник», Хакасия	обрушение	1 человек госпитализирован
30.04.2020	Россия, пос. Калья, Свердловская область	обрушение	4 человека госпитализировано
19.05.2020	Россия, Североуральск, Свердловская область	горный удар/обрушение	2 человека госпитализировано
15.08.2020	Россия, Коми, шахта «Воргашорская»	обрушение	4 человека погибло
14.09.2020	Россия, Кемеровская область, шахта «Чергинская-Коксовая»	обрушение	2 человека погибло
22.11.2020	Россия, Кемеровская область, Новокузнецкий район	обрушение	1 человек погиб
05.01.2021	Россия, Чукотка, Эгвекинот, Иуль- тинский район	обрушение	1 человек погиб
06.01.2021	Россия, Камчатка, Асачинское золо- торудное месторождение	обрушение	2 человека погибло
07.01.2021	Россия, Тува, шахта в «Лунсин»	обрушение	1 человек погиб
17.01.2021	Россия, Тува, Тоджинский район	обрушение	1 человек погиб
22.01.2021	Россия, Кемеровская область, Ленинск-Кузнецкий округ, шахта им. Тихова	обрушение	3 человека погибло
14.02.2021	Россия, Кемеровская область, Куз- басс, штрек шахты «Юбилейная»	обрушение	1 человек погиб
07.03.2021	Россия, Кемеровская область, Беловской район	обрушение	1 человек погиб
05.07.2022	Россия, Кемеровская область, г. Междуреченск, объект «шахта угольная»	горный удар	1 человек погиб, 3 человека госпитализировано

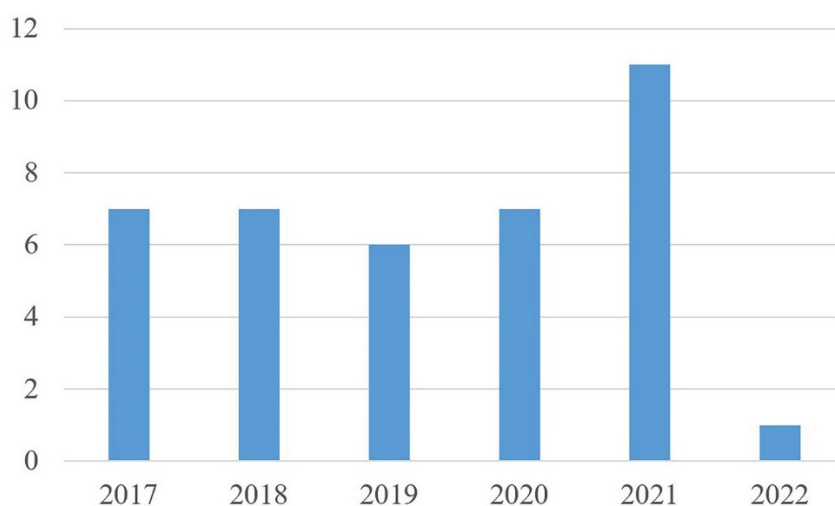


Рис. 2. Количество летальных исходов в год, произошедших из-за динамических проявлений в горном массиве

По итогам работы видно, что несчастные случаи на горнодобывающем предприятии могут возникать по разным причинам. Эта проблема присутствует в нашей стране, люди погибают, травмируются, и данная тенденция сохраняется. Следовательно, необходимость обеспечения безопасности на горнодобывающем предприятии представляется весьма актуальной, в частности в области снижения риска опасного проявления горного давления.

Разработка и установка измерительных средств для создания геодинамического полигона для комплексного геомеханического мониторинга удароопасности и техногенной сейсмичности в Дальнегорском рудном районе

Важным этапом создания в Дальнегорском рудном районе геодинамического полигона для комплексного геомеханического мониторинга удароопасности является установка АСКГД «Prognoz-ADS» на Южном месторождении, на котором первые горные удары с тяжелыми последствиями имели место на глубинах 150 – 170 м, и по этому показателю оно выделяется не только на Дальнем Востоке, но и в мире. На месторождении в последние годы ежегодно регистрируется до 100 и более динамических проявлений горного давления, включая толчки в глубине массива (рис. 3).

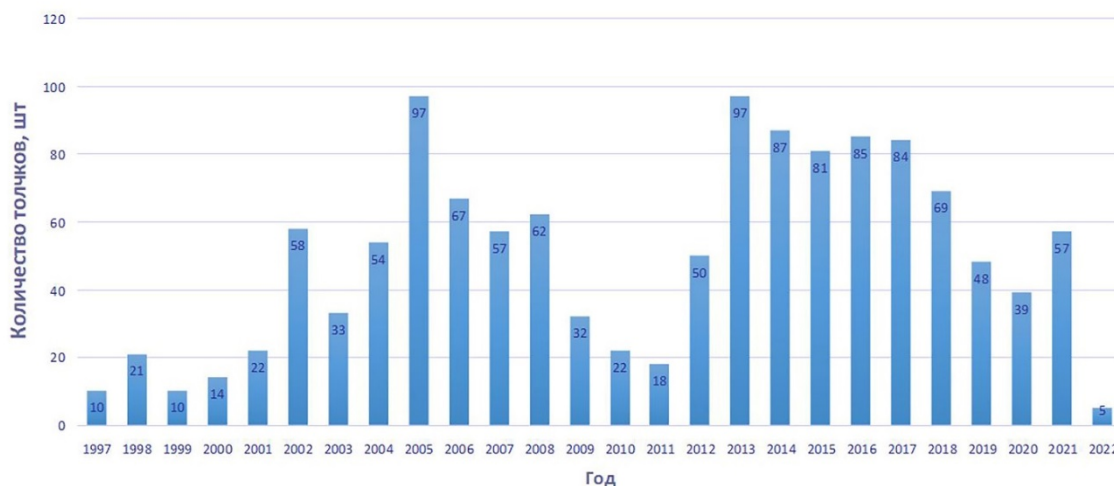


Рис. 3. Распределение количества толчков на Южном месторождении в 1997 – 2022 гг.

Установка АСКГД «Prognoz-ADS» на Южном месторождении позволит, с одной стороны, выявить закономерности формирования удароопасности и техногенной сейсмичности в его массиве, особенно в зонах разломов тектонических нарушений «Эльдорадо» и «Рудный», и, с другой стороны, свяжет эту систему с комплексом оборудования на расположенном в 20 км к юго-востоку Николаевском месторождении, давая возможность исследовать региональные предвестники опасных геодинамических процессов [8 – 10].

Оценка прогнозируемой погрешности расчета координат сейсмоакустических событий для проектируемой сети геофонов месторождения Южное была произведена с помощью разработанной в ИГД ДВО РАН программы «AntennaCalc»*. Программа позволяет рассчитывать оптимальную конфигурацию наблюдательной сети геофонов системы «Prognoz-ADS» в массиве горных пород с учетом его геолого-тектонического строения.

По результатам расчетов и с использованием объемной цифровой модели месторождения были обоснованы число приемных преобразователей и конфигурация наблюдательной сети геофонов, позволяющих уверенно регистрировать в пределах предполагаемой зоны контроля акустические события с энергией 25 – 50 Дж. Согласно расчетам выбранная схема установки датчиков, учитывающая также горно-техническую ситуацию, должна обеспечить надежный контроль участка горного массива в этаже гор. 387... 480 м на расстоянии 200 м с западной и 170 м с восточной стороны от разлома Эльдорадо.

При увеличении энергии сейсмоакустических событий от 25 до 50 Дж объем области высокоточной локации (с ошибкой до 1 – 3 м) изменяется от 2,06 млн м³ до 5,73 м³.

Более крупные сейсмоакустические события с энергией 100 Дж и более позволят лоцировать их с высокой точностью на расстоянии 200 м с западной и восточной стороны от разлома Эльдорадо, пересекающего зону контроля. При этом объем области высокоточной локации составит 11,28 млн м³.

Сформированная для условий месторождения Южное конфигурация приемной антенны АСКГД «Prognoz-ADS» на начальном этапе состоит из 16 разнесенных в пространстве геофонов, что позволяет с западной стороны от тектонически активного разлома «Эльдорадо» уверенно контролировать отработку блоков 1 и 2, а также часть блока 3 в этаже гор. 480 и 387 м, в том числе весь транспортный съезд с горизонта 480 до 387 м.

За время пусконаладочных работ в период с 3 по 8 декабря 2022 г. в зоне контроля АСКГД зарегистрировано 15 АЭ-событий с энергией от 50 до 120 Дж, не связанных с технологическими помехами. События распределяются в участке ведения горных работ в блоке 1 в этаже 450 – 427 м. Непрерывное накопление данных позволит в следующих отчетных периодах получить новые экспериментальные данные о геомеханических процессах в массиве Южного месторождения.

В дальнейшем предполагается существенно расширить наблюдательную сеть АСКГД, чтобы обеспечить контроль массива горных пород в районе очистных блоков с 4-го по 8-й западной части месторождения, отработка которых планируется на горизонтах ниже 440 м в 2023 – 2025 гг.

Заключение

В процессе выполнения исследований по проблеме предотвращения горных ударов и снижения геодинамического риска при разработке месторождений получены следующие основные результаты:

1. Приведены результаты анализа и сопоставления источников по авариям в горной промышленности в России, повлекшие гибель или травмы людей за последние 5 лет. В работе показаны различные причины смерти работников и отдельно выделены происшествия, возникшие вследствие динамических проявлений в горном массиве. По

* Программа «AntennaCalc» зарегистрирована 10.03.2021 г. Свидетельство регистрации № 2021664641.

итогах работы видно, что несчастные случаи на горнодобывающих предприятиях возникают по разным причинам. Эта проблема присутствует в нашей стране, люди погибают, травмируются, и данная тенденция сохраняется. Следовательно, необходимость обеспечения безопасности на горнодобывающем предприятии представляется весьма актуальной, в частности в области снижения риска опасного проявления горного давления.

2. На опасном по горным ударам Южном месторождении установлена АСКГД «Prognoz-ADS», обеспечивающая измерение параметров акустической активности массива горных пород в частотном диапазоне 0,5 – 12 кГц. Число приемных преобразователей и конфигурация наблюдательной сети геофонов, позволяющих уверенно регистрировать в пределах предполагаемой зоны контроля акустические события с энергией 25 – 50 Дж, были научно обоснованы по результатам расчетов с использованием программы «AntennaCalc» и объемной цифровой модели месторождения.

Список литературы

1. Liang W.Z., Dai B., Zhao G.Y., Wu H., 2020. A scientometric review on rockburst in hard rock: two decades of review from 2000 to 2019. *Geofluids*, Vol. 17.
2. Farhadian Hadi, 2021. A new empirical chart for rockburst analysis in tunnelling: Tunnel rockburst classification (TRC). *International Journal of Mining Science and Technology*, Vol. 31(4), P. 603 – 610.
3. Feng J., Wang E., Ding H., Huang Q., Chen X., 2020. Deterministic seismic hazard assessment of coal fractures in underground coal mine: A case study. *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, Vol. 129, P. 105921.
4. Li C., Ma M., Zhu L., Meng G. and Chen, 2017. Geomechanical types and mechanical analyses of rockbursts. *Engineering Geology*, Vol. 222, P. 72 – 83.
5. Sun F., Fan J., Guo J., Shi X., Liu X., Zhu B., Zhang H., 2021. Rockburst proneness criterion based on energy principle. *Gaoya Wuli Xuebao. Chinese Journal of High Pressure Physics*, Vol. 35(3).
6. Liang W.Z., Dai B., Zhao G.Y., Wu H., 2020. A scientometric review on rockburst in hard rock: two decades of review from 2000 to 2019. *Geofluids*, Vol. 17.
7. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В., 1989. *Основы механики горных пород*. Ленинград: Недра, 488 с.
8. 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. DOI 10.1051/e3sconf/202019204008. – EDN PSMEBW.
9. 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.
10. Potapchuk M., Kursakin G., Kryukov V., Lomov M., 2018. Justification of safe and effective working conditions for pit reserves of "Pioner" gold deposit. *Problems of Complex Development of Georesources: electronic resource, Khabarovsk, 25–27 сентября 2018 года*. Khabarovsk: EDP Sciences, P. 02013. DOI 10.1051/e3sconf/20185602013.

References

1. Liang W.Z., Dai B., Zhao G.Y., Wu H., 2020. A scientometric review on rockburst in hard rock: two decades of review from 2000 to 2019. *Geofluids*, Vol. 17.
2. Farhadian Hadi, 2021. A new empirical chart for rockburst analysis in tunnelling: Tunnel rockburst classification (TRC). *International Journal of Mining Science and Technology*, Vol. 31(4), P. 603 – 610.

3. Feng J., Wang E., Ding H., Huang Q., Chen X., 2020. Deterministic seismic hazard assessment of coal fractures in underground coal mine: A case study. *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, Vol. 129, P. 105921.
4. Li C., Ma M., Zhu L., Meng G. and Chen, 2017. Geomechanical types and mechanical analyses of rockbursts. *Engineering Geology*, Vol. 222, P. 72 – 83.
5. Sun F., Fan J., Guo J., Shi X., Liu X., Zhu B., Zhang H., 2021. Rockburst proneness criterion based on energy principle. Gaoya Wuli Xuebao. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, Vol. 35(3).
6. Liang W.Z., Dai B., Zhao G.Y., Wu H., 2020. A scientometric review on rockburst in hard rock: two decades of review from 2000 to 2019. *Geofluids*, Vol. 17.
7. Turchaninov I.A., Iofis M.A., Kaspar'ian E.V., 1989. Osnovy mekhaniki gornyx porod [Fundamentals of rock mechanics]. Leningrad: Nedra, 488 p.
8. Lomov M., 2020. 3D modeling system of seismoacoustic monitoring results at the Nikolaevskoye field. E3S Web of Conferences: 8, Khabarovsk, 08–10 sentyabrya 2020 goda. Khabarovsk, P. 04008. DOI 10.1051/e3sconf/202019204008. – EDN PSMEBW.
9. Lomov M.A., Sidlyar A.V., 2021. Otsenka faktorov udaroopasnosti Nikolaevskogo mestorozhdeniya s pomoshch'yu sistemy 3D modelirovaniya rezul'tatov seismoakusticheskogo monitoringa [Assessment of the impact hazard factors of the Nikolaevskoye field using a 3D modeling system of the results of seismic and acoustic monitoring]. Problemy nedropol'zovaniya, № 1(28), P. 64 – 72. DOI 10.25635/2313-1586.2021.01.064.
10. Potapchuk M., Kursakin G., Kryukov V., Lomov M., 2018. Justification of safe and effective working conditions for pit reserves of "Pioner" gold deposit. Problems of Complex Development of Georesources: electronic resource, Khabarovsk, 25–27 sentyabrya 2018 goda. Khabarovsk: EDP Sciences, P. 02013. DOI 10.1051/e3sconf/20185602013.