

М.В. Рыльникова*, Н.А. Митишова

ФГБУН Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова
РАН, Москва, Россия

*e-mail: geo-science@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КОЛЧЕДАНЫХ РУД

Аннотация. Сульфидные руды играют чрезвычайно важное значение в развитии минерально-сырьевой базы России, как источник редких, цветных и благородных металлов. В статье обоснована актуальность решения проблемы снижения рисков взрывов сульфидной пыли с учетом изменения минерально-сырьевого баланса запасов золото-сульфидных месторождений. Однако, разработка месторождений сульфидных руд сопряжена с опасностью возникновения взрывов сульфидной пыли, развитием окислительных процессов, приводящих к самовозгоранию. Для повышения безопасности разработки сульфидсодержащих месторождений авторами разработаны новые методические подходы к оценке взрывоопасности сульфидной пыли, основанные на комплексировании модельных, лабораторных и натурных экспериментов с комплексным анализом результатов. Разработанная методика изучения основных факторов пылевзрывобезопасности является неотъемлемой составной частью системы промышленной безопасности, так как она обеспечивает возможность прогноза, оценки и оперативного определения состояния потенциальных источников пожаро-взрывоопасности при разработке колчеданных месторождений.

Ключевые слова: колчеданные руды, подземная разработка, саморазогрев, возгорание, сульфидная пыль, взрыв.

Актуальность проблемы самовозгорания колчеданных руд и взрывов сульфидной пыли в настоящее время возросла не только в России, но и за рубежом, так как произошли существенные изменения в минерально-сырьевой базе ведущих мировых производителей металлов [1–3]. Так, например, почти две трети запасов золота России заключено в коренных золоторудных месторождениях, ведущее положение среди которых занимают золото-кварцевые, золото-сульфидно-кварцевые и золото-сульфидные объекты. Важную роль играют золото-серебряные месторождения и золото-полисульфидные руды. Еще почти четверть российских запасов золота сконцентрирована в рудах комплексных месторождений, среди которых преобладают медноколчеданные и сульфидные медно-никелевые [3].

Колчеданные руды являются одними из основных видов сырья, которые имеют большое экономическое значение для горной промышленности и являются ценным ресурсом. Извлеченные из сульфидных руд ценные компоненты широко применяются в промышленном производстве изделий, например, таких как автомобильные детали, электронное оборудование и ювелирные изделия.

Наиболее распространёнными сульфидными минералами являются пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит и другие. Из-за химической активности серы, слагающей сульфидные минералы, они подвергаются самовозгоранию, воспламенению и взрыву. Окисление сульфидных руд и пород кислородом воздуха является необратимой и характерной для сульфидов экзотермической реакцией [4], которую необходимо учитывать при добыче и переработке сульфидсодержащих полезных ископаемых для предотвращения самовозгорания руд и взрывов сульфидной пыли. Последствиями самовозгорания колчеданных руд и взрывов сульфидной пыли являются ухудшение санитарно-гигиенических условий труда, выделение ядовитых газов, повышение температуры воздуха в

выработках, поломка горного оборудования, потеря ценности полезных ископаемых, снижение видимости, загазованность горных выработок, что может привести к возникновению травматизма и аварийным ситуациям. В целом, процессы добычи, транспортировки, хранения и переработки колчеданных руд сопряжены с угрозой жизни персонала и значительными материальными потерями, что определяет необходимость изучения, прогнозирования и предотвращения развития подобных процессов и разработки мероприятий, направленных на снижения риска возникновения аварийных ситуаций.

В горной промышленности предопределяющим фактором возникновения взрыва сульфидной пыли и самовозгорания руды является минералогический состав, а именно содержание серы в колчеданных рудах. Начиная с 20-го века, отечественными и зарубежными учеными велась активная работа по изучению взрывчатых свойств сульфидной пыли и процессов окисления сульфидов кислородом воздуха [4-9]. Более, чем за 100 лет были изучены физико-химические свойства колчеданных руд, термодинамические параметры процессов воспламенения и взрыва аэрозолей сульфидов, горючие и взрывчатые свойства пылей, закономерности процессов её воспламенения под действием ударно-воздушной волны. Установлены особенности процесса окисления сульфидов в массиве и в раздробленном состоянии и факторы, сопутствующие им, а также разработан ряд профилактических мероприятий [1-6; 10-13]. Расширялась теоретическая и лабораторная база исследований, изучена специфика процессов окисления, возгорания сульфидных руд и пород и взрыва пыли, накоплены новые знания в области пожаро- взрывобезопасности при разработке месторождений колчеданных руд.

На базе выполненных ранее исследований были сформированы технические решения для обеспечения безопасной отработки медно-колчеданных месторождений с учетом технологии ведения работ и их масштабов. Однако, не смотря на значительный объем выполненных исследований, до сих пор не в полной мере представляется возможным спрогнозировать и предупредить процесс окисления сульфидов с последующим взрывом сульфидной пыли или самовозгоранием.

Основываясь на ранее выполненных научных исследованиях [1-13], изучении нормативных документов в области безопасной отработки колчеданных месторождений коллективом автором ИПКОН РАН [14-16] разработан алгоритм оценки склонности сульфидной пыли к взрывоопасности. Очевидно, что при эксплуатации рудника, необходимо в индивидуальном порядке производить оценочные, лабораторные и исследовательские работы по изучению взрывоопасности сульфидной пыли. Однако, не определен объем, порядок и последовательность проведения таких работ. То есть процесс изучения взрывоопасности пыли колчеданных руд не регламентирован на законодательном уровне. Для устранения, рассмотренного выше недостатка и правильной оценки пылевой обстановки при разработке месторождений колчеданных руд, а также при оценке эффективности применения противопылевых мероприятий на рудниках необходимо устранить недостатки, присущие применяемым методам оценки.

Поэтому разработка методики изучения взрывоопасности сульфидной пыли, включающей комплексирование известных лабораторных методов с авторской методикой, является весьма актуальной.

Схематически последовательность алгоритма проведения исследований по оценке склонности сульфидной пыли к взрывоопасности приведена на рисунке 1.

Основными технологическими операциями при проведении исследований являются:

- подготовка образцов – изготовление шлифов, измельчение образцов руд и пород до рабочей фракции;

- рассев образцов руд и пород, представленных на исследование, с получением различных классов крупности в ходе первичной дезинтеграции с оценкой гранулометрического состава формируемых пылевых частиц в диапазоне от -40 до 250 мкм;

• Науки о Земле

- лабораторные исследования по определению термической активности, температуры самовоспламенения, изучению содержания серы в различных классах крупности.

Методика оценки склонности сульфидной пыли к взрывоопасности, апробированная на ряде месторождений колчеданных руд – Шануч, Омчак, Сарылах, Сентачан, Сибайское, доказала свою работоспособность.

Важнейшим условием реализации программы-методики изучения факторов и процессов развития взрывов сульфидной пыли является наличие регламентированного технического порядка по осуществлению своевременного контроля и оценки рисков возникновения взрыва сульфидной пыли. Для эффективного функционирования системы мониторинга состояния безопасности на производственных предприятиях необходима разработка системы комплексных наблюдений за состоянием производственного объекта, позволяющие всесторонне оценить уровень взрыво и пожароопасности горного предприятия.



Рисунок 1. Алгоритм проведения оценки склонности сульфидной пыли к взрывоопасности

Концептуально оценка склонности сульфидной пыли к возникновению взрывоопасной ситуации должна базироваться на проведении лабораторных исследований по изучению геологических, структурных, химических и физических свойств пыли сульфидных минералов и на контроле описанных выше горно-технических факторов взрывоопасности.

Разработана и апробирована методика изучения главных факторов пылевзрывобезопасности для сульфидных руд и пород, которая является составной частью системы промышленной безопасности. В рамках развития научно-методических и практических основ безопасного ведения подземных горных работ разработанная методика [14-15] обеспечивает возможность комплексного анализа и оценки состояния потенциальных источников опасности, позволяет оперативно выявлять результаты воздействия различных факторов, вызывающих формирование взрывоопасной обстановки и повышенные риски при эксплуатации месторождения колчеданных руд.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Rao Y. Z., Tian C. S., Xu W., Xiao C.Y., Yuan B.Y. and Yu Y. Explosion Pressure and Minimum Explosible Concentration Properties of Metal Sulfide Ore Dust Clouds // *Journal of Chemistry* V. 2020, Article ID 7980403. <https://doi.org/10.1155/2020/7980403>
- [2] Hong R., Liu H., Xiang C., Song Y., Lv C. Visualization and analysis of mapping knowledge domain of oxidation studies of sulfide ores // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. V. 27. P. 5809–5824. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07226-z>.
- [3] Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2018 году, М.: Минприроды России, 2019. 424 с.
- [4] Скочинский А.А., Огиевский В.М. Рудничные пожары // М.: Горное дело, ООО «Киммерийский центр». – 2011 (перераб. и дополнено). – 375 с.
- [5] Веселовский В.С., Виноградова Л.Н., Орлеанская Г.Н. и др. Физические основы самовозгорания угля и руд // М.: Наука. – 1972. 148 с
- [6] Огиевский В.М., Шапатин В.А. О воспламеняемости сульфидной пыли при разработке колчеданных руд. Ж.: Цветные металлы. 1934. №8. с.27-34.
- [7] Bent H.C. Fire prevention at Noranda // *Mines Canading Mining Journal*. 1957. - №9.
- [8] Safety management of underground combustible sulphide dust // *Guideline*. Department of Industry and Resources / MOSHAB Approved. - December 1997. - Document №: ZMI578XC, Australia/
- [9] Чернявский Э.И., Захаров В.А., Зайцева И.Н., Алешин А.С., Бекчиу В.Н. Изучение взрывчатых свойств сульфидной пыли // *Труды ин-та Унипромедь*. – 1965. - Вып. VIII. – С. 115-121.
- [10] Параманов Г.П. Предупреждение взрывов сульфидной пыли на колчеданных рудниках // СПб.: СПГТИ, 1999. - 130 с.
- [11] Горинов С.А., Маслов И.Ю. Особенности применения аммиачно-селитренных взрывчатых веществ в сульфидсодержащих горных породах // *ГИАБ*. – 2017. - №12 (спец. Выпуск 33). – 24 с.
- [12] Тетерев Н.А., Ермолаев А.И., Кузнецов А.М. Взрывы сульфидной пыли // *ГИАБ*. 2018. №12 (спец. Выпуск 63). 20 с.
- [13] Матвиенко Н.Г., Воронюк А.С. Основы обеспечения безопасности освоения газоносных и склонных к самовозгоранию рудных месторождений // *ГИАБ*. – 2012. – №ОВ1. С. 160–171.
- [14] Рыльникова М.В., Митишова Н.А. Методика исследований взрывоопасности убогосульфидных руд при подземной отработке колчеданных месторождений // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2019. – № 9. – С. 41–51. DOI: 10.25018/02361493-2019-09-0-41-51.
- [15] Rylnikova M., Fedotenko V., Mitishova N. Influence of structural and textural features of ores and rocks on mine dust explosion hazard during development of pyrite deposits // *E3s web of conferences VIII International scientific conference “Problems of Complex Development of Georesources”*. 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202019203017
- [16] Рыльникова М.В., Айнбиндер Г.И., Митишова Н.А., Гаджиева Л.А. Исследование закономерностей возгорания сульфидных руд и пород при комбинированной разработке месторождений // *Известия Тульского государственного университета «Науки о земле» / Изд-во ТулГУ*, 2020. – № 2. – С. 341-356.

REFERENCES

- [1] Rao Y. Z., Tian C. S., Xu W., Xiao C.Y., Yuan B.Y. and Yu Y. Explosion Pressure and Minimum Explosible Concentration Properties of Metal Sulfide Ore Dust Clouds // *Journal of Chemistry V.* 2020, Article ID 7980403. <https://doi.org/10.1155/2020/7980403>
- [2] Hong R., Liu H., Xiang C., Song Y., Lv C. Visualization and analysis of mapping knowledge domain of oxidation studies of sulfide ores // *Environmental Science and Pollution Research.* 2020. V. 27. P. 5809–5824. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07226-z>.
- [3] Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossiiskoi Federatsii v 2018 godu, M.: Minprirody Rossii, 2019. 424 s.
- [4] Skochinskii A.A., Ogievskii V.M. Rudnichnye požary // M.: Gornoe delo, OOO «Kimmeriiskii tsentr». – 2011 (pererab. i dopolnenno). – 375 s.
- [5] Veselovskii V.S., Vinogradova L.N., Orleanskaya G.N. i dr. Fizicheskie osnovy samovozgoraniya uglya i rud // M.: Nauka. – 1972. 148 s.
- [6] Ogievskii V.M., Shapatin V.A. O vosplamenyayemosti sul'fidnoi pyli pri razrabotke kolchedannykh rud. Zh.: Tsvetnye metally. 1934. №8. s.27-34.
- [7] Bent H.C. Fire prevention at Noranda // *Mines Canading Mining Journal.* 1957. - №9.
- [8] Safety management of underground combustible sulphide dust // *Guideline.* Department of Industry and Resources / MOSHAB Approved. - December 1997. - Document №: ZMI578XC, Australia/
- [9] Chernyavskii E.I., Zakharov V.A., Zaitseva I.N., Aleshin A.S., Bekchiu V.N. Izuchenie vzryvchatykh svoystv sul'fidnoi pyli // *Trudy in-ta Unipromed'.* – 1965. - Vyp. VIII. – S. 115-121.
- [10] Paramanov G.P. Preduprezhdenie vzryvov sul'fidnoi pyli na kolchedannykh rudnikakh // SPb.: SPGGI, 1999. - 130 s.
- [11] Gorinov S.A., Maslov I.Yu. Osobennosti primeneniya ammiachno-selitrennykh vzryvchatykh veshchestv v sul'fidsoderzhashchikh gornykh porodakh // *GIAB.* – 2017. - №12 (spets. Vypusk 33). – 24 s.
- [12] Teterev N.A., Ermolaev A.I., Kuznetsov A.M. Vzryvy sul'fidnoi pyli // *GIAB.* 2018. №12 (spets. Vypusk 63). 20 s.
- [13] Matvienko N.G., Voronyuk A.C. Osnovy obespecheniya bezopasnosti osvoeniya gazonosnykh i sklonnykh k samovozgoraniyu rudnykh mestorozhdenii // *GIAB.* – 2012. – №OV1. S. 160–171.
- [14] Ryl'nikova M.V., Mitishova N.A. Metodika issledovaniya vzryvoopasnosti ubogosul'fidnykh rud pri podzemnoi otrabotke kolchedannykh mestorozhdenii // *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'.* – 2019. – № 9. – S. 41–51. DOI: 10.25018/02361493-2019-09-0-41-51.
- [15] Ryl'nikova M., Fedotenko V., Mitishova N. Influence of structural and textural features of ores and rocks on mine dust explosion hazard during development of pyrite deposits // *E3s web of conferences VIII International scientific conference “Problems of Complex Development of Georesources”.* 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202019203017
- [16] Ryl'nikova M.V., Ainbinder G.I., Mitishova N.A., Gadzhieva L.A. Issledovanie zakonornostei vozgoraniya sul'fidnykh rud i porod pri kombinirovannoi razrabotke mestorozhdenii // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta «Nauki o zemle» / Izd-vo TulGU,* 2020. – № 2. – S. 341-356.

М.В. Рыльникова*, Н.А. Митишова

Академик Н.В. Мельников атындағы Жер қойнауын кешенді игеру мәселелері институты,
Мәскеу, Ресей

*e-mail: geo-science@mail.ru

КОЛЧЕДАН РУДАЛЫ КЕН ОРЫНДАРЫН ЖЕРАСТЫ ТӘСЛІМЕН ИГЕРУ КЕЗІНДЕ ӨРТ-ЖАРЫЛЫС ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ АСПЕКТІЛЕРІ

Аңдатпа. Сульфидті кендер сирек кездесетін, түсті және асыл металдардың көзі ретінде Ресейдің минералды-шикізат базасын дамытуда өте маңызды рөл атқарады. аАлайда сульфид кендерінің кен орындарын игеру сульфид шаңының жарылу қаупімен, өздігінен жануға әкелетін тотығу процестерінің дамуымен байланысты. Мақалада алтын-сульфид кен орындары қорларының минералды-шикізат балансының өзгеруін ескере отырып, сульфид шаңының жарылу қаупін азайту мәселесін шешудің өзектілігі негізделген.

Құрамында сульфид бар кен орындарын игеру қауіпсіздігін арттыру үшін авторлар нәтижелерді кешенді талдаумен модельдік, зертханалық және заттай эксперименттерді кешендеуге негізделген сульфидті шаңның жарылыс қауіптілігін бағалаудың жаңа әдістемелік тәсілдерін әзірледі. Шаң-жарылыс қауіпсіздігінің негізгі факторларын зерттеудің әзірленген әдістемесі өнеркәсіптік қауіпсіздік жүйесінің ажырамас құрамдас бөлігі болып табылады, өйткені ол колчедан кен орындарын игеру кезінде ықтимал өрт-жарылыс қауіпі көздерінің жай-күйін болжау, бағалау және жедел анықтау мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

Негізгі сөздер: колчедан кендері, жер асты өңдеу, өздігінен қыздыру, жану, сульфидті шаң, жарылыс.

M.V. Rynnikova*, N.A. Mitishova

Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow,
Russia

*e-mail: geo-science@mail.ru

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF ENSURING FIRE AND EXPLOSION SAFETY IN THE UNDERGROUND DEVELOPMENT OF PYRITE ORE DEPOSITS

Abstract. Sulfide ores play an extremely important role in the development of the mineral resource base of Russia, as a source of rare, non-ferrous and precious metals. However, the development of sulfide ore deposits is associated with the risk of sulfide dust explosions, the development of oxidative processes that lead to spontaneous combustion of ores. The article substantiates the urgency of solving the problem of reducing the risks of sulfide dust explosions, taking into account changes in the mineral balance of gold-sulfide deposits. To improve the safety of the development of sulfide-containing deposits, the authors developed new methodological approaches to the assessment of the explosion hazard of sulfide dust, based on the integration of model, laboratory and field experiments with a comprehensive analysis of the results. The developed methodology for studying the main factors of dust and explosion safety is an integral part of the industrial safety system, as it provides the possibility of forecasting, evaluating and promptly determining the state of potential sources of fire and explosion hazard in the development of pyrite deposits.

Keywords: pyrite ores, underground mining, self-heating, fire, sulfide dust, explosion.