УДК 553.986

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ САМОВОЗГОРАНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ФИЛИЗЧАЯ

♦♦♦♦♦

DEVELOPMENT OF THE SPONTO-COMBUSTION ORE DEPOSITS OF FILIZCHAYA

Алиева Марал Гасан
кандидат технических наук,
доцент,
Азербайджанский государственный ниверситет
Нефти и Промышленности
maral.aliyeva.5252@mail.ru

Алийева Интизар Теюб
доктор ф. наук,
Азербайджанский государственный университет
Нефти и Промышленности
intizaraliyeva@inbox.ru

Халилов Алиш Мехман
Азербайджанский государственный университет
Нефти и Промышленности
elissxelilov@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена изучению причин и условий возникновения эндогенных пожаров в результате самовозгорания сульфидных руд, что затрудняет горные работы, наносит большой материальный ущерб национальной экономике и часто приводит к человеческим жертвам. На территории Азербайджана имеются сульфидно-полиметаллические месторождения, запасы которых были подтверждены еще во времена СССР. Из этих месторождений месторождение Филизчай является самым уникальным по своим запасам и рудному составу. Другие месторождения, прилегающие к рудничному месторождению, не могут разрабатываться отдельно из-за малых запасов [1, 2]. Геологический анализ показывает, что рудные массы в месторождении Филизчай часто имеют термодинамическую нестабильность. Это считается важным фактором, создающим потенциальные риски в процессе хранения и переработки руд. Явление самовозгорания руды приводит к локальным перегревам внутри месторождения, распространению вредных газов в атмосферу и деградации почвенных участков. Вопросы, связанные с этими методами, требуют исследований в направлении оптимизации технологии разработки месторождений и минимизации экологического ущерба [3]. В рудничном месторождении сульфидные минералы, такие как пирит и марказит, часто выделяют тепло при реакции с кислородом воздуха. Это тепло изначально провоцирует микро-локальное тепло и со временем приводит к большему количеству случаев горения. Такие факторы, как относительная влажность окружающей среды, кислородное обеспечение и минералогический состав рудной массы, оказывают серьезное влияние на скорость и интенсивность этого процесса. Несвоевременное обнаружение таких процессов может привести к возникновению важных технических повреждений на месторождениях, даже к образованию сцен абсолютного горения [5, 8].

Aliyeva Maral Hasan
Candidate of Technical Sciences,
associate professor,
Azerbaijan State University
Oil and Industry
maral.aliyeva.5252@mail.ru

Aliyeva Intizar Teyub
Doctor of Sciences,
Azerbaijan State University
of Oil and Industry
intizaraliyeva@inbox.ru

Khalilov Alish Mehman
Azerbaijan State University
Oil and Industry
elissxelilov@gmail.com

Annotation. The article is devoted to the study of the causes and conditions of endogenous fires resulting from spontaneous combustion of sulfide ores, which complicates mining operations, causes great material damage to the national economy and often leads to human casualties. There are sulfide-polymetallic deposits on the territory of Azerbaijan, the reserves of which were confirmed during the Soviet era. Of these deposits, the Filizchay deposit is the most unique in its reserves and ore composition. Other deposits adjacent to the mine deposit cannot be developed separately due to small reserves [1, 2]. Geological analysis shows that ore masses in the Filizchay deposit often have thermodynamic instability. This is considered an important factor creating potential risks in the process of ore storage and processing. The phenomenon of spontaneous combustion of ore leads to local overheating inside the deposit, the spread of harmful gases into the atmosphere and the degradation of soil areas. The issues related to these methods require research in the direction of optimizing the technology of deposit development and minimizing environmental damage [3]. In a mine deposit, sulphide minerals such as pyrite and marcasite often release heat when reacting with atmospheric oxygen. This heat initially provokes micro-local heat and over time leads to more combustion events. Factors such as the relative humidity of the environment, oxygen supply and the mineralogical composition of the ore mass have a significant impact on the speed and intensity of this process. Untimely detection of such processes can lead to the occurrence of important technical damage at deposits, even to the formation of absolute combustion scenes [5, 8].

Ключевые слова: рудник, добыча полезных ископаемых, сульфид, окисление, минеральное сырье, руда и нерудные месторождения, термодинамика.

Keywords: mine, mining, sulfide, oxidation, mineral raw materials, ore and nonmetallic deposits, thermodynamics.

Введение. Способность руд к самовозгоранию часто связана с окислением содержащихся в них сульфидных минералов. Этот процесс часто происходит в результате реакции накопления тепла и испарения. Случай самовозгорания руд может оказать как негативное, так и положительное влияние на горные работы. К негативным воздействиям относятся тепло и газы, образующиеся в результате реакций, угрожающие здоровью работников. Также образующаяся кислая вода может ослабить структуру месторождений, ускорить коррозию оборудования [7].

Окисление и тепловыделение сульфидных минералов. Самовозгорание руд в основном связано с окислением содержащихся в них сульфидных минералов. Этот процесс особенно обусловлен такими минералами, как пирит (FeS_2) и марказит. Реакция этих минералов с кислородом в воздухе производит тепло. Эти реакции экзотермичны, то есть образуют тепло:

$$4FeS_2 + 11O_2 + 6H_2O \rightarrow 4FeSO_4 + 4H_2SO_4.$$

В результате этого процесса образуется как тепло, так и серная кислота (H_2SO_4). Тепло накапливается и приводит к повышению температуры в рудной массе и, как следствие, к автокаталитарным реакциям. Но обратная сторона этой реакции заключается в том, что серная кислота может портить рудные месторождения, создавать кислотные потоки воды, влияющие на окружающую среду. Кроме того, эти реакции затрудняют ход горных работ, так как рабочие могут столкнуться с высокой температурой и потенциально вредными газами. Марказит, как и пирит, реагирует с кислородом и водой. Марказит – это другая кристаллическая форма пирита, но скорость его окисления выше. Это связано с тем, что центрит химически более нестабилен. Окисление марказита происходит быстрее, что может привести к ускорению процесса самовозгорания. В результате полученного тепла температура внутри рудного месторождения повышается, и реакции идут быстрее [10].

Термодинамическое накопление тепла. Тепло, вызванное окислением сульфидных минералов, не легко распространяется в рудном месторождении, так как теплопроводность этих видов месторождений обычно слаба. В результате тепло накапливается и приводит к повышению температуры внутри рудные месторождения. Повышение температуры ускоряет реакцию горения. В результате этого термодинамического процесса руда самовоспламеняется.

Положительная сторона этого состояния заключается в том, что, хотя использование тепловой энергии может в какой-то мере облегчить добычу, она имеет больше негативных последствий. Таким образом, неконтролируемое повышение температуры может изменить структуру месторождения и даже привести к угрозе взрыва. Кроме того, при высоких температурах некоторые ценные минералы расщепляются и обесцениваются, что приводит к снижению общего экономического потенциала месторождения.

Влияние влаги и кислорода на реакцию. Это основные факторы, ускоряющие окисление минералов сульфида влаги и кислорода. Когда кислород достигает рудных месторождений, сульфидные минералы реагируют с ним, образуя тепло. При этом влажная среда ускоряет эти реакции, так как вода позволяет растворять кислород и вступать в контакт с минералами. В результате сульфидные минералы быстрее реагируют с кислородом, образуя больше тепла.

Негативные эффекты: в результате этого процесса может произойти неконтролируемое повышение температуры. Кроме того, образовавшиеся потоки кислотных вод могут привести к загрязнению окружающей среды, ухудшению качества подземных вод.

Положительные эффекты: При добыче можно использовать в качестве источника энергии без окисления, контролируя попадание влаги и кислорода в руду. Однако такой подход требует высокотехнологичного оборудования.

Исследование самовозгорания руда

Наиболее часто используемым методом при исследовании способности руд к самовозгоранию является программируемое окисление (ТПО). Для характеристики окисления образцов сульфидных руд, взятых с месторождения Филизчайный руды, применяется стандартный метод ТРО (окисление с программой температуры). Простой контейнер (U-труба) заполнен небольшим количеством сульфидной руды Филизчай с диапазоном частиц 10–60 мг и наибольшим размером частиц менее 350 μ.м. Этот образец размещен в печи, оснащенной специальным оборудованием для контроля температуры. Для измерения температуры образца в контейнер помещается термопара (датчик температуры). Существующий воздух в контейнере был удален вакуумным насосом. Для реализации метода ТРО непрерывный поток газа 5 % O_2. Не из контейнера осуществлялся со скоростью 25 мл/мин. Состав газовой смеси непрерывно измеряется детектором теплопроводности (TCD) на выходе контейнера образца. Когда окисление происходит при определенной температуре, происходит расход кислорода, и это фиксируется через детектор.

Затем образец нагревают в духовке и повышают температуру с 30 °С до 1000 °С с увеличением до 10 °С в минуту. На последнем этапе образец хранился при 1000 °С в течение 60 минут. Эта практика предоставляет важную информацию для изучения окисляющих свойств сульфидных руд, извлеченных из месторождения Филизчай.

Сульфидные руды считались микротрещинами и их поверхность была неровной. Определение микроструктурных поверхностных свойств тестовых образцов, особенно распределение площади поверхности и размера пористости, может сыграть важную роль в понимании адсорбционной способности, поверхностной активности и каталитических свойств. В этом исследовании справедливо предполагалось, что во время теста ТПО должна быть определенная связь между процессом окисления и микротрубочными размерами образцов теста.

Возможность разработки принципов самовозгорания

Самовозгорание руд приводит к серьезным трудностям и опасностям при добыче полезных ископаемых, что значительно затрудняет процессы разработки и добычи руды. Самовозгорание, происходит в результате окисления руд, что создает тепло и приводит к ускорению реакций. Это событие серьезно влияет на основные принципы и безопасность горных работ. Ниже мы подробно объясним влияние этих событий на развитие.

Структурное ослабление местараждения и угроза потепления. Самовозгорание руд чаще всего связано с накоплением тепла. Тепло, вызванное процессами окисления, ослабляет структуру руды, так как высокая температура может изменить состав руды. Если тепло накапливается внутри руды, это может ухудшить ослабленную структуру руд и даже привести к подземным обрушениям или взрывам. В результате возникает опасность для горняков, что очень затрудняет выполнение горных работ. Высокие температурные условия также могут привести к коррозии и разрушению горного оборудования, труб и других элементов инфраструктуры. Это приводит к приостановке работы и дополнительным затратам.

Окисление и кислотные эффекты в сульфидных рудах. Серная кислота, образующаяся в результате самовозгорания, не только ослабляет структуру шахты, но и оказывает вредное воздействие на окружающую среду. Серная кислота может загрязнять подземные источники воды и вызывать кислотные потоки воды в окружающей среде. Эти кислотные стоки наносят серьезный ущерб окружающей среде и водным ресурсам, что приводит к тому, что горные работы становятся более социально и экологически сложными. Для разработки месторождений должны быть выделены дополнительные ресурсы с целью минимизации такого воздействия на окружающую среду.

Опасность пожаров и газов. В результате процесса самовозгорания возможны высокие температуры и образование вредных газов внутри шахты. Например, образуются углекислый газ, диоксид серы и другие вредные газы, что представляет опасность для здоровья работников. Накопление газов в шахте может привести к снижению

уровня кислорода и повышению пожарной опасности. Кроме того, возрастает риск возгорания в подземных шахтах, что еще больше усложняет общие вопросы безопасности. В этом случае требуются дополнительные инвестиции для специальных систем пожаротушения и очистки газов.

Экономические трудности горной эксплуатации. Случаи самовозгорания приводят к экономическому осложнению горных работ. Повышение температуры и кислотообразование, связанные с процессом окисления, снижают скорость горных работ и увеличивают эксплуатационные расходы. Для борьбы с пожаром и высокой температурой требуются дополнительные ресурсы и оборудование, что увеличивает затраты. Также может снизиться качество руд, так как высокая температура снижает расщепление ценных минералов в рудах, что снижает эффективность добычи. Эти трудности затрудняют экономическую выгоду горнодобывающих проектов и повышают общую стоимость производства.

Требования к безопасности труда и технологии. В результате инцидентов с самовозгоранием безопасность работников оказывается под серьезной угрозой. В условиях высоких температур горняки, в частности рабочие, добывающие и работающие на рудах, рискуют получить ожоги и отравление газом. По этой причине для обеспечения безопасности в горнодобывающей промышленности необходимы более передовые технологии и больше человеческих ресурсов. Это требует дополнительного обучения, оборудования и мер безопасности. Также важно обеспечить шахты современными технологиями, принять соответствующие меры для предотвращения случаев самовозгорания.

Способы предотвращения самовозгорания

Случаи самовозгорания руд создают серьезные опасности в горных работах и значительно снижают эффективность операции. Для предотвращения этих событий и минимизации их воздействия должны быть приняты различные меры. Ниже мы подробно объясняем эти меры.

Мониторинг химической активности сульфидных руд и управление процессами окисления. Для предотвращения самовозгорания руд в первую очередь следует тщательно контролировать химическую активность и тенденции окисления руд. Состав месторождений, количество сульфидных минералов и их способность к окислению следует регулярно изучать и измерять скорость окисления в лабораторных условиях. При высокой степени окисления руд должны быть приняты соответствующие меры для предотвращения этого. Например, для замедления процессов окисления могут использоваться специальные стабилизаторы. Применение химических веществ, снижающих скорость окисления, снижает риск горения, регулируя интенсивность этого процесса.

Управление тепловыми условиями месторождения. Одной из основных причин самовозгорания руд является накопление тепла. По этой причине очень важно регулярно отслеживать и управлять тепловыми условиями месторождений. На шахтах должны быть установлены системы теплового мониторинга, через которые постоянно контролируется уровень тепла. В случае возникновения высокой температуры должно быть обеспечено снижение температуры с помощью систем холодного воздуха или вентиляции. В то же время, дополнительные меры по охлаждению должны быть приняты в районах, где руды расположены слишком плотно и происходит накопление высокой температуры. Такие меры значительно снижают риск возникновения случаев горения, предотвращая накопление тепла.

Использование технологий, задерживающих процессы окисления.

Применение технологий, которые задерживают или останавливают процессы окисления при разработке руд в шахтах, может минимизировать риск самовозгорания. С этой целью добавление особых добавок к рудам или поддержание их в определенных температурных условиях помогает замедлить процесс окисления. Например, специальные покрытия, нанесенные на руды, или атмосферы, обогащенные газами, останавливают окисление и предотвращают образование тепла. Кроме того, работа на водонагреваемых участках является эффективным способом ослабления процессов окисления.

Эффективные системы вентиляции и охлаждения для снижения теплового износа на горных выработках. Одним из наиболее эффективных способов предотвращения накопления тепла в месторождениях является правильная установка систем вентиляции и охлаждения. Системы вентиляции должны обеспечивать приток свежего воздуха внутри шахты и предотвращать накопление тепла. Системы охлаждения должны проводить дополнительные работы по охлаждению в районах с высокой температурой. Для поддержания соответствующих температур внутри шахты эти системы должны регулярно работать и их эффективность должна постоянно проверяться. Кроме того, для обеспечения безопасности горняков должны быть установлены резервные варианты систем вентиляции и охлаждения, так что в случае любой технической неисправности система может быть немедленно активирована.

Безопасная добыча и управление вредными газами. Образование вредных газов в результате окисления руд и накопления этих газов является еще одним важным направлением, на которое следует обратить внимание для предотвращения случаев самовозгорания. Для безопасного удаления вредных газов, особенно диоксида серы и диоксида углерода, образующихся в горных выработках, должны быть установлены современные системы добычи и очистки газа. Это способствует безопасному выбросу газов в атмосферу, а также созданию безопасной среды для здоровья работников. Для предотвращения накопления вредных газов должны применяться системы автоматического контроля и измерения уровня газов, достигших опасных уровней во время этих систем.

Усиление мер пожаротушения и совершенствование систем безопасности. Чтобы минимизировать риск самовозгорания руд, системы пожаротушения должны регулярно совершенствоваться и совершенствоваться. С этой целью на горных выработках должно быть размещено пожарное оборудование и поддерживаться в готовности к использованию квалифицированными работниками. Также в подземных выработках должны применяться автоматические системы пожаротушения, которые должны немедленно вмешиваться в случае пожара. Помимо противопожарных мероприятий, важно, чтобы горняки регулярно проводили инструктаж и стажировку по пожарной безопасности. Эти меры обеспечат безопасность сотрудников в случае пожара и предотвратят более широкий ущерб.

Охрана окружающей среды и экологические меры. Предотвращение самовозгорания руд важно не только для обеспечения безопасности горных работ, но и для защиты окружающей среды. Во избежание воздействия на окружающую среду должны применяться современные экологические технологии для очистки кислотных стоков и других загрязняющих веществ, образующихся при переработке сульфидных руд. Для предотвращения загрязнения источников воды должны быть установлены системы фильтрации и очистки. В то же время в горнодобывающих районах должен проводиться экологический мониторинг и немедленно устраняться любые экологические нарушения, происходящие в этих районах.

Выводы.

Случаи самовозгорания руд не только создают природные и технологические трудности, но и значительно затрудняют разработку рудников. Это событие напрямую влияет на безопасность, экономическую эффективность и экологическое воздействие горных работ. Поэтому для борьбы с этой проблемой необходимы специальные исследования, научные подходы и превентивные меры. Управление процессами окисления, усиление мер безопасности и оснащение шахт современными технологиями могут помочь справиться с этими трудностями. Технологические рекомендации, которые будут применяться для решения экологических и экономических проблем при разработке рудника, не только повышают безопасность и продуктивность операции, но и минимизируют воздействие на окружающую среду. Применение современных технологий обеспечивает более эффективную, экологичную и экономически устойчивую разработку рудных месторождений. Эти рекомендации предлагают принципиальные решения как для восстановления окружающей среды, так и для экономического роста.

Литература / References

1. Paneyakh A.A. Petrogenetic types of sulfide and polymetallic deposits / A.A. Paneyakh, N.A. Zotov // Litosfera. – 2011. – № 3. – P. 84–103.
2. Lanier G. E.C. General Geology of the Bingham Mine, Bingham Canyon, Utah / G. Lanier E.C. [et al.]. – 1978. – P 90–93.
3. Zhao J. Spontaneous Combustion Tendency of Sulfide Ores: A Perspective from TPO Data and Adsorption Properties / J. Zhao [et al.]. – 2011. – № 63. – 65 p.
4. Tian J. Thermodynamics of Imidazolium-Based Ionic Liquids for Inhibiting the Spontaneous Combustion of Sulfide Ore / J. Tian, K. Pan, Z. Lang. – 2022. – № 79. – 84 p.
5. Lowry J.L. Sandfire resources America inc. Black Butte Copper Project. – 2020. – P. 43–101.
6. Robertson J.A. The Sudbury Basin, the Southern Province, the Grenville Front, and the Penokean Orogeny. – 1974. – P. 54–76.
7. Yakubchuk K.V. VMS Deposits of the Tucuman mines (Central Asia). Creaser Economic Geology / K.V. Yakubchuk, R.A. Besshi-Type. – 2014. – P. 109.
8. Samedov M.A. On the peculiarities of morphology and natural types of ores of the Filizchay deposit / M.A. Samedov, A.M. Mamedov // Trudy TSNIGRI. – 1982. – P. 44–49.
9. Kennelly P. Landscape Volumetrics and Visualizations of the Butte Mining District, Montana. – 2011. – P. 213–215.
10. Ismayilov R.T. Study of spontaneous combustion of the main industrial types of sulphide ores of sulphide-polymetallic deposits of Azerbaijan / R. T. Ismayilov, V.M. Karimov, S.A. Zeynalova. – 2023. – P. 56–66.