

# СТИХИЙНЫЕ БЕДСТВИЯ И КАТАСТРОФЫ АНТРОПОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

DOI: 10.36535/0235-5019-2020-1-3

УДК 504.4

## КОЛЧЕДАННЫЕ ПОЖАРЫ КАК ФАКТОР РИСКА ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

К.г.-м.н. **Е.П. Янин**

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва  
yanin@geokhi.ru

*Интенсивное развитие процессов окисления сульфидов с саморазогреванием руд при разработке колчеданных месторождений нередко сопровождается возникновением колчеданных подземных пожаров. Они способны создавать исключительно тяжелые условия для проведения горных работ и негативно воздействовать на производственную и окружающую среду. Этот факт должен учитываться при создании новых и эксплуатации действующих колчеданных рудников.*

Колчедан – общее название для минералов, представляющих сернистые, мышьяковистые, реже селенистые и сурьмянистые соединения металлов из группы железа, кобальта, никеля, платины, частью олова и меди. Термин «колчеданные месторождения» введен в научную литературу отечественными геологами (колчедан от греч. Chalkedon – древнегреческой колонии в Малой Азии). На английском языке подобные месторождения чаще всего называются *syngiferous pyritic deposits* или *massive sulfide deposits*, на немецком *Kieslagerstätten*, а на французском *amas pyriteux* [14]. К колчеданным относятся месторождения, руды которых сложены преимущественно сульфидами железа, имеют массивную, полосчатую и прожилково-вкрапленную текстуры, обладают серовато-желтой, светло-желтой и желтой окраской, высокой твердостью и металлическим блеском. Минеральный состав всех колчеданных месторождений вне зависимости от того, представлены они массивной или вкрапленной рудой, отличаются резким преобладанием пирита, пирротина, марказита, с которыми ассоциируют халькопирит, сфалерит, галенит, борнит, блеклые руды, реже другие рудные минералы. Нерудные минералы обычно играют подчиненную роль и представлены кварцем, серицитом, хлоритом, иногда карбонатом, баритом и гипсом [14, 29].

Колчеданные месторождения известны на всех континентах и формировались на всем протяжении геологической истории. Они связаны с подводными (субмаринными) базальт-риолитовыми вулканогенными формациями ранней стадии геологического развития подвижных складчатых зон – эвгеосинклиналей [29]. Согласно [15], семейство колчеданных месторождений по составу рудоносных формаций разделяется на две отчетливые группы. Одна из них ассоциирует с вулканогенными формациями и является, можно сказать, классической колчеданной. Другая группа связана с терригенными и терригенно-карбонатными толщами при незначительном развитии вулканитов. По преобладающему минерально-

му составу среди колчеданных месторождений традиционно различают: серно-колчеданные (преобладают сульфиды железа – пирит, пирротин, марказит), медно-колчеданные (помимо сульфидов железа присутствуют минералы меди – халькопирит, борнит, халькозин) и полиметаллическо-колчеданные месторождения (кроме сульфидов железа и меди находятся минералы цинка и свинца, других цветных металлов, а также барит, иногда гипс).

Колчеданные месторождения разрабатываются с целью добычи серного колчедана, меди, цинка и свинца; при этом часто попутно извлекаются серебро, золото, барит, кадмий, селен, теллур и некоторые другие компоненты [7, 14]. Они являются важнейшим источником цветных и благородных металлов, ряда редких элементов, обеспечивая 50% мировой добычи цинка, 40% свинца и серебра, 15% меди и 5% золота. Например, в России запасы цинка и свинца, учтенные Государственным балансом на 01.01.2015, насчитывали, соответственно, 60,3 и 19,4 млн т [11], или примерно 9 и 6% мировых. Большая часть этих запасов (74,5% Zn и 65,9% Pb) содержится в колчеданных месторождениях, относящихся к колчеданно-полиметаллическому и цинково-медно-колчеданному геолого-промышленным типам.

Колчеданные руды имеют сложный химический состав [10, 13, 17, 28, 30, 33]. В них постоянно обнаруживаются значимые содержания более 30 химических элементов (Se, Te, As, Sb, Cd, Mn, Tl, Hg, Co, Ni, Pb, Cu, W, Mo, Bi, Sn, V, U, Ag, Au, Cr, Fe и др.), причем для 12–14 из них концентрации в рудах во много раз превышают средние содержания в земной коре. Многие из этих элементов обладают высокой токсичностью. Особенно высокими концентрациями в колчеданных рудах отличаются халькофильные элементы. Э.Ф. Емлин [10] по содержанию в сульфидных (колчеданных) рудах различает следующие группы химических элементов: 1) главные рудообразующие – сера, железо; 2) основные – цинк, медь, иногда барий; 3) второстепенные – свинец, мышьяк; 4) редкие – кобальт, кадмий, висмут, сурьма, молибден, селен, теллур, никель, иногда ртуть, олово; 5) очень редкие – галлий, индий, германий, таллий. По соотношению главных и основных рудных элементов различают геохимические типы руд: серно-колчеданные, медные, медно-цинковые.

Разработки колчеданных месторождений сопровождается существенным негативным воздействием на окружающую среду. Хорошо известно, что сульфиды и их аналоги (арсениды и т. д.) характеризуются высоким химическим потенциалом – способностью химических веществ к изменению [19]. Этот потенциал наиболее резко проявляется при окислении серы и других компонентов с образованием серной кислоты, сульфатов, гидроксидов и выделением тепла. Практически всегда разработка колчеданных месторождений обуславливает формирование в их окрестностях в различных компонентах окружающей среды интенсивных полиэлементных техногенных геохимических аномалий, представляющих собой (с утилитарной точки зрения) зоны техногенного загрязнения [25, 26, 34, 35]. Одновременно промышленное освоение колчеданных месторождений неизбежно сопровождается изменением энергетического баланса их территорий, что обусловлено как прямым действием техногенных источников, так и модификацией природных потоков энергии при техногенном изменении структуры территории [1, 10, 12]. Это вызывает интенсификацию окисления сульфидов, основной причиной которой является повышение реакционной способности последних при механическом разрушении, что сопровождается увеличением их удельной поверхности и механохимической активацией. Окисление

обусловлено усиливается активным поступлением кислорода с воздухом и поверхностными водами в горные выработки, отвалы вскрышных пород и отходов (хвостов) обогащения и сопровождается образованием экологически опасных токсичных веществ – серной кислоты, сульфатов цветных металлов и т. д. Активным окислением сульфидов объясняется возгорание сульфидного мелкозема в шпурах и скважинах, что приводит иногда к неожиданным взрывам зарядов взрывчатых веществ. Нередки также взрывы взвешенной сульфидной пыли в подземных горных выработках.

В кислородной среде у сульфидов, в состав которых входят неметаллы с полным заполнением электронных оболочек электронами ( $S^{2-}$ ,  $As^{3-}$  и т. п.) и металлы ( $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{+}$  и т. д.) с низкой степенью окисления, резко проявляется химический потенциал (способность веществ к химическим изменениям). При окислении сульфидов выделяется тепло с образованием  $Fe^{3+}$ ,  $S^{6+}$ ,  $As^{5+}$  за счет  $Fe^{2+}$ ,  $S^{2-}$ ,  $As^{3-}$ . Теплотворная способность сульфидных концентратов достигает 6 МДж кг – до 1,37 раз меньше теплоты сгорания некоторых сортов бурого угля [31] (табл. 1). Сульфидные концентраты можно рассматривать как топливо с теплотой сгорания до 6 МДж в 1,37 раз меньше, чем у бурого угля.

Таблица 1

#### Теплотворная способность сульфидных концентратов и бурого угля [31]

Топливо	Теплота сгорания, МДж (Мкал)/кг	Содержание золы, %
Бурый уголь	8,2 (1,96) – 21,0 (5,0)	до 50
Сульфидные концентраты	4,20 (1,0) – 6,0 (1,43)	> 66,65

В тех случаях, когда генерация тепла больше теплоотдачи его во внешнюю среду, происходит саморазогревание руд и их самовозгорание, возникает подземный колчеданный (серноколчеданный) пожар [1, 8, 10]. В общем случае колчеданный пожар представляет собой очаг разогрева руды или горной массы, возникающий при быстром окислении сульфидов. Основными условиями развития пожара являются: наличие сульфидов, способных к быстрому окислению (выделяющейся теплоты должно быть достаточно для обеспечения температур цепных реакций окисления); необходим свободный доступ окислителей (прежде всего растворенного в воде кислорода) в достаточном количестве и с достаточной скоростью; затрудненный теплообмен, что приводит к возрастанию температуры в локальном очаге пожара. Эндогенные пожары возникают в колчеданных рудниках при взаимодействии многих факторов, из которых особое значение имеют [8]: присутствие в выработках раздробленного колчедана, сульфидной мелочи и пыли в условиях, способствующих окислению; наличие в шахте крепежного леса в контакте с колчеданной мелочью и пылью в старых выработках, подвергающихся горному давлению, где крепежный лес деформируется и расщепляется, а руда измельчается, увеличивая поверхность контакта; значительная кислотность рудничных вод; приток воздуха в выработанное пространство; выделяемая теплота при окислении руд; электротехнические токи, образующиеся при контакте минералов с различными естественными потенциалами; благоприятные условия (в особенности термические свойства пород и применяемых закладочных материалов) для местной аккумуляции теплоты. Результаты экспериментальных и натуральных исследований факторов, влияющих на окисление и самовозгорание пожароопасных смешанных свинцово-цинковых руд при их открытой разработке, пока-

зали, что возникновению эндогенных пожаров способствует высокое (22% и более) содержание сульфидной серы и глобулярная форма строения сульфидов. Наиболее интенсивно окисляются и самовозгораются сульфиды цинка при низком содержании цинка (0,5% и менее) при мощности рудных тел 1 м и более [16]. Опасности самовозгорания особенно подвергаются разрыхленные руды, а также массивы руды, находящиеся в целиках, разбитых трещинами, в которые проникают воздух и влага, способствующие окислению и самовозгоранию. Очень часто эндогенные пожары возникают от самовозгорания полезного ископаемого в выработанных участках и завалах. Например, в свое время на рудниках Урала большинство подземных колчеданных пожаров возникло в результате самовозгорания потерянного колчедана в отработанном пространстве [32].

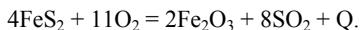
Исследование процессов самовозгорания руд на колчеданных месторождениях имеет длительную историю, которая началась вместе с их промышленным освоением. В СССР еще в 1920–1930-х гг. в этой связи были выполнены специальные работы, научная, методическая и практическая значимость которых не потеряла своего значения и сейчас [2, 3, 4, 9, 20, 21, 22, 24, 27]. Особое внимание уделялось подземным пожарам на уральских рудниках им. III Интернационала, Красногвардейском, Новоленинском и др. [32]. Известен колчеданный пожар на Богословско-Башмаковском руднике (1902 г.). Достаточно высокую склонность к самовозгоранию имеют сульфидные медно-никелевые руды Талнахского месторождения, руды Учалинского медно-цинкового колчеданного месторождения, Карабашских медных рудников и других. Колчеданные пожары на Калатинском руднике – одном из первых горных предприятий по добыче колчеданных руд на Урале – можно рассматривать как первый этап изучения техногенеза колчеданных месторождений. Этот рудник (здесь сначала осуществлялась разработка «железной шляпы», извлечение золота из нее и добыча серного колчедана, затем уже добыча обогащенного медью серного колчедана), расположенный в окрестностях современного г. Кировограда (Свердловская область), был основан в 1812 г. В 1911 г. на руднике возник подземный колчеданный пожар, который то затихал, то снова активизировался. В сущности, во многом из-за пожаров рудник был закрыт в 1942 г. Подробное описание всех обстоятельств и событий, предшествующих пожару 1923–1927 гг. на Калатинском руднике, было выполнено в 1932 г. А.В. Бричкиным [3]; он же обосновал вывод о естественных причинах этого пожара. Калатинский пожар привлек внимание минералогов: благодаря этому обстоятельству именно на Урале были выполнены первые исследования по минералогии техногенеза. В 1937 г. Г.Н. Вертушков (1909–1994, советский минералог, исследователь месторождений редких металлов Урала, доктор геол.-мин. наук, профессор, директор Уральского геологического музея, заведующий кафедрой минералогии Уральского горного института с 1947 по 1977 г. Лауреат Государственной премии СССР, заслуженный геолог РСФСР, ученик профессора К.К. Матвеева) обратился с докладной запиской (она была также поддержана К.К. Матвеевым) к академикам В.И. Вернадскому, А.Е. Ферсману и А.А. Скочинскому, в которой обосновал необходимость минералого-геохимического изучения пожаров на колчеданных рудниках Урала [5]. В этой записке Г.Н. Вертушков отметил, что колчеданные месторождения Урала представляют огромную экономическую ценность. В то время из руд этих месторождений добывалось ежегодно 88750 т меди, почти все количество вырабатываемой в СССР серной кислоты, извлекали золото, серебро, цинк, мышьяк и элементарную серу. Однако очень важный

вопрос о подземных пожарах (как результат бурного подземного окисления колчеданов) на этих месторождениях до сих пор совершенно не затронут исследованиями геологов, минералогов и геохимиков, а предложенные гипотезы о причинах пожара не дают обстоятельного объяснения возникновению этого процесса, даже нет сколько-нибудь подробного описания течения пожара, не говоря уже о неизученности минералов, образующихся в ходе пожаров. В русской литературе, – пишет Вертушков, – до сих пор нет ни одной работы, посвященной минералам, которые в большом количестве образуются в результате горения серного и медного колчеданов. В тоже время, не зная начально-исходного продукта реакции и конечных соединений химического процесса нельзя ни объяснить происходящей реакции, ни регулировать ее течение. При изучении колчеданных пожаров это элементарное правило большинством исследователей не принимается во внимание, поэтому гипотезы о причинах пожаров мало удовлетворительны. В частности, все исследователи пожаров колчеданных руд на Урале считают пирит как нечто весьма постоянное по своему составу и свойствам, забывая, что это мелко-зернистый агрегат различных индивидов и различных минералов, находящихся во вполне определенных геологических условиях и имеющих в каждом отдельном месторождении вполне определенную геохимическую историю. Например, колчеданные руды Кировограда резко отличаются по структуре минералов от руд Карабаша или Красноуральска. (Позже будет установлено, что температуры воспламенения серноколчеданных руд возрастают от южноуральских к среднеуральским месторождениями [18]. Это связано с увеличением степени их метаморфического перерождения и изменением коллоидных тонкодисперсных структур на зернистые.) Никто не обращал должного внимания на характер минералов в местах самовозгорания, а без этого, по сути дела, нельзя даже и пытаться сочинять гипотезы о причинах возникновения пожаров. Незнание минералов, образующихся в результате горения колчеданных руд, и условий реакций, протекающих при этом, не дают возможности точно определить скорость течения этого процесса, среду его и совершенно лишают возможности извлечь из него какие либо практические выводы. Именно поэтому, – подчеркивает Вертушков, – детальное изучение пожаров с геолого-минералогической точки зрения совершенно необходимо проводить не только с теоретической стороны, но и с практической, без этого изучения невозможно понять этого сложного процесса [5].

Примерно в это время было создано Уральское бюро технической помощи при тушении подземных пожаров, а исследования уже произошедших и вновь возникших на Урале подземных пожаров к концу 1940-х гг. позволили разработать основные элементы теории колчеданных пожаров, обосновать ряд признаков пожара и показателей пожарной опасности, причем практическое пользование этими признаками и показателями подтвердило их правильность [23]. В 1940 г. Г.Н. Вертушков выделил и подробно рассмотрел основные стадии развития пожара как минералообразующего процесса [6]. В частности, установлено, что в условиях активизации окислительных процессов протекают реакции, способствующие образованию минеральных ассоциаций, которые можно выделить в особую генетическую группу так называемых минералов подземных пожаров (уже описано свыше 20 таких минералов). Было установлено, что в районе возникающих рудничных пожаров увеличивается температура рудничного воздуха и воды, появляется характерный кислотовато-битуминозный запах, при окислении колчеданных руд выделяется сернистый газ с острым запахом и вкусом, сильно разье-

дающий слизистую оболочку глаза, причем при разгорании пожара эти запахи сменяются пожарным смрадом, напоминающим запах горячей каменноугольной смолы или дегтя. Вслед за этим появляются дым и (не всегда) пламя. Несколько ранее пожарного смрада в воздухе горных выработок явственно ощущается примесь удушливых газов ( $\text{CO}_2$  и др.), содержание которых постепенно возрастает. Изучение причин возникновения подземных эндогенных пожаров при разработке медно-колчеданных месторождений показало, что наличие древесины в отработанном пространстве способствует более быстрому возникновению и более интенсивному протеканию пожаров, так как самовозгорание сульфидной руды возможно при температуре 350–500°C, а температура воспламенения гидролизованной древесины – 180–200°C. Важнейшими признаками развития интенсифицированных техногенными факторами окислительных процессов являются: изменение состава рудничного воздуха в очистных забоях, характеризующееся снижением содержания кислорода и увеличением углекислоты; повышение в забоях температуры воздуха, отбитой руды и воды; повышение в рудничной воде свободной серной кислоты (свыше 0,2–0,3 г/л). Показано также, что профилактика подземных пожаров при добыче сульфидных руд должна осуществляться противопожарными системами разработки, основанными на закладке отработанных выработок инертным материалом.

Обычно в развитии колчеданного пожара различают несколько основных фаз, или стадий [1, 6, 18]. Начальная стадия – все необходимые предпосылки для развития пожара созданы: в зоне аэрации и интенсивного водообмена, увеличенной системой дренажа, находятся разрушенные горными работами сульфидные руды, но процесс идет медленно, цепные реакции еще не начались, локальные очаги интенсивного окисления не образовались. Вторая стадия – началось интенсивное окисление, но локальные очаги разогрева располагаются на большом (в сравнении с их размерами) расстоянии друг от друга и обладают незначительной мощностью. Теплообмен затруднен, в системе наблюдается мозаичное высокоградиентное термическое поле. Возрастает минерализация рудничных вод и содержание  $\text{SO}_2$  в рудничной атмосфере. Основным горючим служит пирит (тонкодисперсный, механически разрушенный или составляющий колломорфные агрегаты); основным агентом, обеспечивающим перенос вещества и энергии в зоне пожара, являются серноокислые сульфатные растворы, водные растворы повышают тепловую инерцию системы, предотвращая быстрый разогрев рудной и горной массы, ограничивают максимальную температуру разогрева. Стадия пожара протекает, по сути дела, в сухой системе с малой тепловой инерцией. Локальные очаги разогрева сливаются в общий неоднородный по строению термического поля очаг. Происходит окислительный обжиг сульфидов с выделением разогретых сернистых газов:



Выделяющегося при окислении тепла достаточно для вовлечения в процесс горения новых объемов руды: экзотермические реакции идут со скоростью, превышающей скорость процессов теплопередачи. Пожар становится саморегулируемым, очаг его, перемещаясь в рудном поле, может существовать многие годы (десятки лет). При затрудненном теплообмене температура может подняться до уровня плавления руды и пород – реализуется так называемый геометаллургический процесс. Интенсивное развитие процессов окисления сульфидов с саморазо-

греванием руд при разработке сульфидных месторождений сопровождалось возникновением колчеданных подземных пожаров на месторождениях Текели (хребет Джунгарский Алатау, верховья р. Текели, Юж. Казахстан) и Сарылах (северо-восток Якутии). Так, на месторождении Текели серноколчеданный пожар развивается при участии вмещающих углеродсодержащих филлитовых сланцев, обладающих относительно высокой теплотворной способностью [1]. Локальный разогрев привел к частичному плавлению руд и пород, т. е. к развитию геометаллургической стадии пожара. Эта стадия носит характер вулканического процесса: высокие температуры (до 1470°C), активный перенос вещества и энергии газовыми струями, выбросы раскаленных газов и пыли, фумарольная и сольфатарная деятельность. Существование очага пожара обеспечивает концентрическую зональность подобной геосистемы, в которой периферия представляет собой как бы ранние стадии процесса. По мере приближения к очагу наблюдается последовательная смена ранних стадий на последующие. Основной ущерб при пожаре связан с формированием долгоживущей зоны разогретых руд и пород, температура которых препятствует проведению горных работ. Горение руд в очаге ускоряется и поддерживается термическим разрушением сульфидов, увеличением их химически активной поверхности. Очаг, разогревая газы и воздух, обеспечивает их перемещение в верхние горизонты. В результате создавшегося разряжения осуществляется подсос воздуха с нижележащих горизонтов. Окисление ускоряется при высвобождении кислорода за счет термического восстановления сульфатов и окислов. Стационарное существование зоны пожара в Текели объясняется постоянной связью, осуществляемой потоками воздуха нижних рабочих горизонтов с вышерасположенной зоной пожара и выходящей на поверхность зоной обрушения. Характер циркуляции воздуха при этом аналогичен наблюдаемому в русской печи: нижние горизонты служат поддувалом, в очаге происходит горение, а выброс паров и газов осуществляется через зону обрушения (это – труба гигантской печи серноколчеданного пожара). По трещинам зоны обрушения наблюдаются выбросы паров и газов. Автор цитируемой работы приходит к выводу, что при развитии серноколчеданного пожара характер переноса вещества и энергии, характер тепла и влагопереноса, минералообразующих процессов сближает территории эксплуатируемых месторождений с магматическими вулканическими и гидротермально-вулканическими системами.

Таким образом, колчеданные пожары способны создавать исключительно тяжелые условия для проведения горных работ. Известны случаи, когда в результате пожара в пределах рабочего этажа консервировалось значительное количество руды, нарушался нормальный ход горных работ и даже закрывались рудники. Продукты горения (прежде всего, газы) представляют непосредственную опасность как для горнорабочих, так и для окружающей среды в целом. Для обоснования и разработки рациональных способов и схем вскрытия, подготовки и технологии разработки склонных к окислению рудных (колчеданных, сульфидных) месторождений необходимо изучение химической активности свойственных им руд и вмещающих пород, склонных к самовозгоранию, уже на стадии разведки и затем на всех этапах их освоения. Необходима также организация специальных исследований по изучению колчеданных пожаров как факторов производственного, экологического, гигиенического риска. Вероятность возникновения подземных пожаров должна рассматриваться при проведении инженерно-экологических изысканий, при проведении ОВОС и экологических экспертиз.

## Литература

1. *Баширов Б.Г.* Новейшее минералообразование и физико-химические изменения руд и горных пород месторождения Текели. – М.: Недра, 1976. – 132 с.
2. *Бенуни А.Х.* Подземные пожары на колчеданных рудниках и борьба с ними. – Свердловск-Москва: ОНТИ, 1936. – 101 с.
3. *Бричкин А.В.* Природа подземных колчеданных пожаров и методы борьбы с ними. По данным практической работы по борьбе с подземными пожарами Калатинского рудника на Урале. – М.-Л.:ГосНТИ, 1932. – 200 с.
4. *Быков Л.Н.* К вопросу методики борьбы с эндогенными пожарами на колчеданных рудниках Урала. (Материалы для участников Всесоюзного совещания по подземным пожарам.) – М., 1941. - 24 с.
5. *Вертушков Г.Н.* Докладная записка о необходимости минералогеохимического изучения пожаров в колчеданных рудниках Урала // Архив РАН. Фонд. 518. Описание. 4. Дело. 7. Листы. 29–30.
6. *Вертушков Г.Н.* Подземные серноколчеданные пожары // Советская геология, 1940. № 8, с. 48–56.
7. *Викентьев И.В.* Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. – М. : Научный мир, 2004. – 340 с.
8. *Гусев А.Л.* Высокоэффективные экологичные средства пожаротушения рудничных эндогенных пожаров // <https://nauchkor.ru/uploads/documents/5cf1904d7966e10545e7ff82.pdf>.
9. *Гусев Б.Н.* Обобщение опыта борьбы с колчеданными пожарами на Урале. – М.: Металлургиздат, 1942. – 111 с.
10. *Емлин Э.Ф.* Техногенез колчеданных месторождений Урала. – Свердловск: Изд-во Уральского ун-та, 1991. – 255 с.
11. *Иванов А.И., Вартанян С.С., Черных А.И., Волчков А.Г., Кузнецов В.В., Севрапина Т.В.* Состояние и перспективы развития МСБ меди, цинка и свинца России // Разведка и охрана недр, 2016, № 9, с. 100–106.
12. *Кантемиров В.Д., Борисков Ф.Ф.* Экологическая безопасность освоения рудных месторождений в северных регионах Урала // Альманах современной науки и образования, 2015, № 7 (97), с. 71–74.
13. Колчеданные месторождения – геология, поиски, добыча и переработка руд. Материалы Всероссийской научной конференции (V Чтения памяти С.Н. Иванова). – Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2013. – 200 с.
14. Колчеданные месторождения мира. – М.: Недра, 1979. – 284 с.
15. *Кривцов А.И., Мишина О.В., Волчков А.Г., Абрамова Е.Е., Гричук Д.В., Ельянова Е.А.* Месторождения колчеданного семейства. Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 282 с.
16. *Кумыков В.Х., Кумыкова Т.М.* Технология добычи и складирования пожароопасных руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2013, № 4, с. 99 – 106.
17. *Молошаг В.П., Викентьев И.В., Гуляева Т.Я., Тесалина С.Г.* Благородные и редкие металлы в борнитовых рудах колчеданных месторождений Урала // Зап. Рос. минерал. об-ва, 2005, ч. 134, № 3, с. 53–69.
18. *Монаков В.Я.* Зависимость склонности колчеданных руд к самовозгоранию от минерального состава и текстурно-структурных особенностей // Тр. Института Унипромедь, 1967, вып. 10, с. 72–82.

19. Некрасов Б.В. Учебник общей химии. – М.: Химия, 1972. – 471 с.
20. Огиевский В.М. Подземные пожары на колчеданных рудниках. – М.-Л.: ГОНТИ, 1939. – 96 с.
21. Огиевский В.М. Новейшие методы установления признаков начинающихся пожаров в колчеданных рудниках. (Материалы для участников Всесоюзного совещания по подземным пожарам.) – М., 1941. – 40 с.
22. Подземные рудничные пожары и борьба с ними. – М.-Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1936. – 388 с.
23. Практика борьбы с подземными пожарами на колчеданных рудниках. Уральское бюро техпомощи по тушению подземных пожаров. (Материалы для участников Всесоюзного совещания по подземным пожарам.) – М., 1941. – 21 с.
24. Рудничные пожары и борьба с ними. – Новосибирск – М.: ГНТГИ, 1932. – 72 с.
25. Сает Ю.Е., Онищенко Т.Л., Янин Е.П. Методические рекомендации по геохимическим исследованиям для оценки воздействия на окружающую среду проектируемых горнодобывающих предприятий. – М.: ИМГРЭ, 1986. – 99 с.
26. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
27. Скочинский А.А., Огиевский В.М. Рудничные пожары. – М.-Л.: Гостоптехиздат, 1940. – 315 с.
28. Смирнов С.С. Зона окисления сульфидных месторождений. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1955. – 331 с.
29. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. – М.: Недра, 1982. – 669с.
30. Токсичные элементы в колчеданообразующих системах. – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. – 340 с.
31. Халемский А.М., Тарасов А.В., Казанцев А.Н., Кинев В.Д. Плавка в печи Ванюкова медно-цинкового сульфидного сырья. – Екатеринбург: Кедр, 1993. – 80 с.
32. Харламов Т.Ф. Практика борьбы с подземными колчеданными пожарами на шахтах и рудниках треста Красноуралмедьруда. (Материалы для участников Всесоюзного совещания по подземным пожарам.) – М., 1941. – 44 с.
33. Холодов В.Н., Кикнадзе З.Р. Колчеданные месторождения Большого Кавказа. – М.: Наука, 1989. – 189 с.
34. Янин Е.П. Экологическая геохимия горнопромышленных территорий. – М.: Геоинформмарк, 1993. – 50 с.
35. Янин Е.П. Техногенные потоки рассеяния химических элементов в реках горно-рудных ландшафтов // Экологическая экспертиза, 2019, № 1, с. 69–101.