

УДК 622.272:622.861

Усанов Сергей Валерьевич

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
сдвижения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: usv@igduran.ru

Крутиков Александр Васильевич

кандидат технических наук,
начальник геомеханической службы,
АО "ССГПО",
111501 Республика Казахстан, г. Рудный
e-mail: alexandr.krutikov@erg.kz

Мельник Даниил Евгеньевич

инженер-исследователь,
лаборатория сдвижения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
СОКОЛОВСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ
В УСЛОВИЯХ ОБВОДНЕННОЙ
НАЛЕГАЮЩЕЙ ТОЛЩИ***

Аннотация:

Сложнейшие горно-геологические условия Соколовского железорудного месторождения определили высокую опасность прорыва обводненных песчано-глинистых масс в подземные выработки. В год происходит до нескольких десятков инцидентов с прорывами. В результате прорыва воды из зоны обрушения случались и аварии, повлекшие затопление выработок и остановку шахты с огромным экономическим ущербом. Полностью исключить эти прорывы нельзя, но постоянная исследовательская и производственная работа, направленная на снижение обводненности, предотвращение прорывов, снижение их частоты, позволила накопить ценный практический опыт подземной разработки в опасных условиях и отработать два горизонта с обрушением налегающих пород. Проанализирована частота прорывов песчано-глинистых отложений в горные выработки с 2003 г. Предложены мероприятия и идеи по дальнейшему повышению промышленной безопасности подземных горных работ

Ключевые слова: подземная разработка, обводненная толща, песчано-глинистые отложения, воронка обрушения, затопление, прорыв воды, авария, инцидент, мероприятия по предотвращению аварий, отвалообразование в зоне обрушения

DOI: 10.25635/2313-1586.2018.04.082

Usanov Sergey V.

Candidate of Technical Sciences,
Head of laboratory of displacement of rocks,
Institute of Mining UB RAS,
620075, Ekaterinburg,
Mamina-Sibiryaka str., 58
e-mail: usv@igduran.ru

Krutikov Alexander V.

Candidate of Technical Sciences,
Head of geomechanical service,
JSC "SSGPO",
111501, Rudnyy, Republic of Kazakhstan
e-mail: alexandr.krutikov@erg.kz

Melnik Daniil Ye.

Research Engineer,
laboratory of displacement of rocks,
Institute of Mining UB RAS

**ENSURING OF INDUSTRIAL SAFETY
WHEN DEVELOPING SOKOLOVSKIY
IRON-ORE DEPOSIT
BY UNDERGROUND METHOD
IN TERMS OF FLOODED
OVERLAPPING STRATA**

Abstract:

The most difficult mining and geological conditions of the Sokolov iron ore deposit have determined a high risk of breaching of watered sand and clay masses into underground workings. In a year there are up to several dozen incidents with inrush. As a result of the breakthroughs of water from the collapse zone, there were also accidents that caused flooding of workings and stopped the mining with huge economic damage. It is impossible to exclude completely these breaches, but constant research and production work aimed at reducing water cuts, preventing debacles and reducing their frequency allowed to accumulate valuable practical experience of underground mining in hazardous conditions and to work out two horizons with the collapse of overlying rocks. We have analyzed the frequency of breaks of sandy-clay sediments in mine openings since 2003. Activities and ideas to further enhance the industrial safety of underground mining operations are proposed.

Key words: underground mining, water depth, sandy-clay deposits, the cone of collapse, flooding, water breaching, accident, incident, prevention of accidents, the dumping in the area of the collapse.

* Исследования выполнены в рамках Госзадания 0405-2018-0003. Проект № 18-5-5-51

Введение

Соколовское железорудное месторождение, расположенное у северо-восточной границы города Рудный (Республика Казахстан), отрабатывается комбинированным способом: южный и центральный участки протяженностью 2,5 км – Соколовским карьером; северный фланг протяженностью 3 км – шахтой Соколовская с производительностью 3 млн. т руды в год. Горные породы месторождения составляют три генетически различные группы: вулканические и осадочные породы нижнего карбона; интрузивные и жильные породы верхнего палеозоя; скарны и другие метасоматиты. Рудная зона имеет большие размеры, сложную форму и строение. По простиранию в меридиональном направлении она прослежена на протяжении 9 км. Глубина разведана, но не оконтурена до 1600 м, а ширина зоны варьирует от 100 до 600 м [1]. Падение рудной зоны восточное под углом 45 – 70°.

Одна из основных проблем разработки обусловлена структурой месторождения, которая представляет собой палеозойский комплекс эффузивно-осадочных пород, перекрытый горизонтально залегающими мезокайнозойскими песчано-глинистыми отложениями (ПГО) мощностью 100 – 120 м. В мезокайнозойской толще присутствуют два повсеместно распространенных водоносных горизонта: верхнеолигоценый – мощностью до 8 м и коэффициентом фильтрации 2 м/сут; мел-палеогеновый – мощностью 35 – 40 м и коэффициентом фильтрации 10 м/сут [2]. На поверхности висячем боку рудных тел расположено пересохшее озеро Перерезное.

Большим количеством разрывных тектонических нарушений 1, 2 и 3 порядков участок месторождения разбит на серию крупных и мелких блоков со смещением до 100 м. Наиболее крупной на месторождении является Главная меридиональная тектоническая зона, которая на юге месторождения составляет 50 м, а к северу увеличивается до 500 м. Тектоническая деятельность в районе месторождения обусловила разнообразие прочностных и деформационных свойств пород, анизотропию напряженно-деформированного состояния, геодинамическую активность территории [3 – 7].

Проблемы разработки под обводненной толщей

Налегающие над выработанным пространством обводненные и низкопрочные ПГО при подземной разработке месторождения системой с обрушением пород грозят прорывом в выработки. Опасность усиливается из-за наличия карстов в области влияния горных разработок [8, 9]. Для разработки месторождения системой с обрушением в 1963 г. приступили к осушению шахтного поля системой дренажных контуров. Верхнемеловой водоносный горизонт осушается внешним дренажным контуром, который включает сквозные фильтры и восстающие скважины, выведенные в выработки специального дренажного штрека вокруг шахтного поля по горизонту +33 м протяженностью 8,7 км [2, 10]. Внутри шахтного поля осушение осуществлялось сквозными фильтрами и восстающими скважинами, пробуренными из горно-подготовительных выработок горизонтов +33, +0, –60, –120 м. Дренаживание палеозойских вод предусматривалось горными выработками рабочих горизонтов и дренажными скважинами. Олигоценый горизонт обособленными мероприятиями не осушался. К моменту запуска шахты в 1976 г. остаточную мощность водного столба с 35 м удалось понизить до 19 – 21 м, однако эта величина все равно не позволяла осуществлять отработку запасов с обрушением вмещающих пород.

Принимая во внимание аварийное затопление рудника «Муфулира» [11], подземную разработку Соколовского месторождения начали системой с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями, надеясь за это время снизить столб воды до 10 м. Закладка во многом снижает угрозу прорывов ПГО в горные выработки, но не исключает их. Так, на руднике «Лассинг» в Австрии из-за усадки закладочного материала образовались водопроводящие трещины в налегающей породной толще, которые в 1998 г. привели к аварии [12].

На шахте «Соколовская» по мере ведения горных работ наряду с усадкой закладочного материала имели место самообрушения вмещающих пород с выходом воронок обрушения на дневную поверхность. С 1976 по 1998 г. заложено 432 камеры, из них в 245 произошло самообрушение руды и вмещающих пород [13]. На дневную поверхность вышли 44 обрушения диаметром 15÷30 м. В условиях мощной обводненной рыхлой толщи после выхода воронки на поверхность мгновенно из водоносного олигоценового горизонта начинается приток с расходом до 30 м³/ч.

К концу 1980-х годов остаточный уровень воды в меловом горизонте удалось сократить в 3 раза, открыв тем самым перспективу перехода на систему с обрушением, что существенно удешевляет стоимость разработки. Хотя полностью осушить месторождение все-таки не удалось, благодаря ряду научных работ и промышленных испытаний стало возможным перейти с 1998 г. на систему с обрушением вмещающих пород.

Смена системы разработки вызвала кардинальное изменение параметров процесса сдвижения, которое наряду с износом системы осушения, выходом из строя некоторых ее элементов повлекло ряд аварийных ситуаций. К 2002 г. на поверхности шахты Соколовская образовалась довольно развитая сеть заполненных водой воронок обрушения (рис. 1). Размеры наиболее крупных воронок достигали 0,2 км в диаметре. В мульде сдвижения образовалось десять крупных техногенных водоемов. Объем воды в некоторых из них достигал 70 тыс. м³.

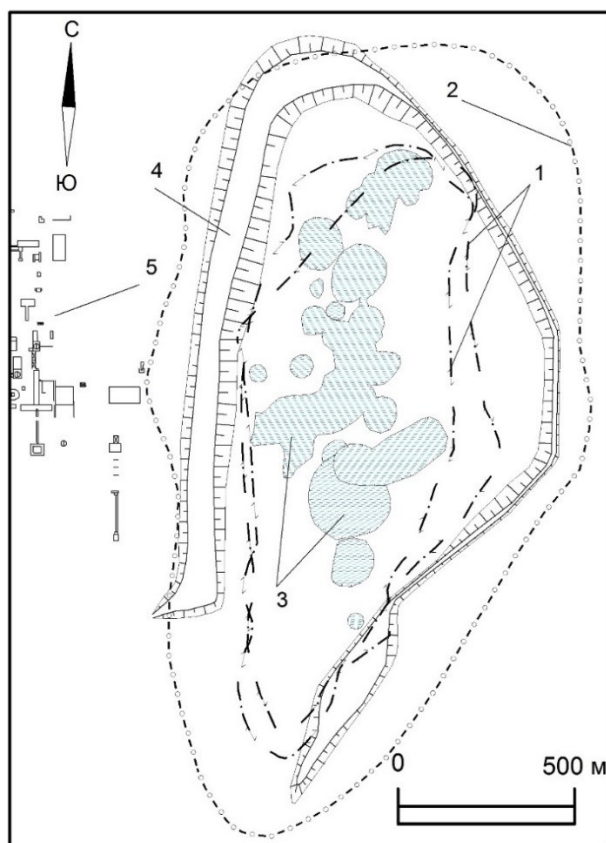


Рис. 1 – Поверхность в зоне влияния подземных горных работ шахты Соколовская в 2005 г.:

- 1 – зоны обрушения от горизонтов –260 и –330 м;
- 2 – зона опасных деформаций;
- 3 – заполненные водой воронки обрушения;
- 4 – отвал горных пород вокруг зоны обрушения;
- 5 – промышленная площадка шахты Соколовская

Прорывы ПГО в подземные горные выработки

В этот период разработки происходит резкий скачок количества прорывов песчано-глинистых отложений в подземные выработки. Для анализа условий прорывов ПГО использованы данные регистрации прорывов в выработках, анализ воронок и зоны обрушения на поверхности, которые ведет служба геомеханики шахты Соколовская. С 2002 по 2017 г. инциденты с прорывом ПГО произошли 237 раз.

При этом в северной части шахтного поля прорывы происходят значительно чаще, чем на юге. В некоторых эксплуатационных блоках прорывы происходят с периодичностью 1,5 – 2 раза в год. На юге периодичность прорывов составляет 0,5 – 1 раз в год.

За 3 – 10 дней до инцидента на горизонте выпуска, как правило, происходит разгрузка ПГО в выработки вышележащих горизонтов. При этом во всех случаях над выработанным пространством сформирована воронка обрушения от 3 – 5 отдельных блоков или камер. Если над выемочным блоком существует третичная в порядковом исчислении воронка обрушения, то вероятность появления ПГО на горизонте выпуска высока.

Интересно, что на нижнем горизонте –260 м зарегистрировано в три раза больше – 166 прорывов, чем на вышележащем –190 м, где произошло 55 инцидентов. То есть со смещением выработанных пространств из-под закладочных горизонтов вследствие наклонного залегания рудных тел и понижения горных работ увеличивается количество прорывов. Возможно, вышележащие горизонты, отработанные с твердеющей закладкой, препятствуют как выходу обрушений на поверхность, так и прорывам обводненных масс, но этот вывод необходимо еще проверить.

Установлен разброс прорывов обводненных масс в подземные выработки по временам года. Весной, летом и осенью прорывы происходят приблизительно в равном количестве, составив 29, 29 и 27 % от общего количества, соответственно. А вот в зимнее время количество прорывов вдвое меньше и составляет 15 % от общего количества, т. е. на зимний период приходится один из семи прорывов ПГО.



Рис. 2 – Засыпка воронок в зоне обрушения шахты Соколовская

Распределение прорывов по годам заметно варьирует – от 5 до 31 прорыва в год. Максимальное количество отмечено в 2010 г., а минимальное – в 2012 г. (рис. 2). Наиболее опасный период продолжался с 2007 по 2010 г., после чего произошел резкий спад количества прорывов. В среднем на протяжении пятнадцати лет ежегодно случается 16 инцидентов с прорывом ПГО.

Аварии, связанные с прорывами

Кроме инцидентов на Соколовской шахте зарегистрировано три аварии. Первый крупный прорыв ПГО в подземные выработки произошел 21 декабря 2000 г. и реализовался в течение нескольких часов. Объем прорвавшихся вод из воронки обрушения составил 16000 м³. При этом водоприток в течение нескольких минут достигал 900 м³/ч.

Второй прорыв воды начался 5 мая 2002 г. и развивался несколько суток. В выработки прорвалось 12000 м³ воды, при этом максимальный водоприток составил 57 м³/ч, т. е. лавинной скорости водопритоков не наблюдалось.

К 2005 г. воронки обрушения объединились, сформировав заполненный водой провал протяженностью в субмеридиональном направлении порядка 1 км, а в субширотном – 0,5 км (см. рис. 1). 3 октября 2005 г. на горизонте –260 м произошел самый крупный в истории шахты прорыв [14]. В результате были затоплены нижние горизонты, погибли люди и произошла остановка рудника.

Для предотвращения аварийных прорывов с 2005 г. в горных выработках возведены бетонные перемычки, начата откачка воды из воронок обрушения, сооружена дамба между озером Перерезное и зоной обрушения, создан обрамляющий зону обрушения отвал скальных горных пород, который представляет собой одноярусный вал высотой 10 м и шириной несколько десятков метров. Поверхность висячем боку Соколовского подземного рудника находится в сильном обводнении, и внешний отвал вокруг зоны обрушения препятствует стоку поверхностных вод в центр депрессии – мульды сдвижения. Эти мероприятия остановили череду аварий.

Развитие процесса обрушения горных пород

После возобновления добычных работ увеличение зоны провала и затопление его водой продолжилось. К 2008 г. протяженность провала достигла максимальной длины и немногим превышает 1,5 км, большая его часть заполнена водой. К 2013 г. половину воронок обрушения засыпали скальной горной породой.

В 2017 г. провал развивался в субширотном направлении в сторону лежачего бока, достигнув 0,6 км вкрест простирания рудных тел. К этому времени было засыпано более ста воронок обрушения, благодаря чему зона обрушения от шахты «Соколовская» не выглядит как классический провал. Она напоминает изрытый рельеф с локальными возвышениями и понижениями (рис. 3).

Практика разработки показывает, что обрушение поверхности происходит после накопления в массиве пустот в объеме около 100 – 150 тыс. м³. Обрушение от отработки смежных панелей, которые объединяют несколько камер, в одном эксплуатационном блоке стремится выйти на поверхность по ближайшему, уже сформировавшемуся каналу обрушения. Это приводит к оставлению в массиве над выработанным пространством породных целиков между каналами обрушения и регулярному вторичному и третичному воронкообразованию.

Разработка трех верхних этажей месторождения с твердеющей закладкой, засыпка воронок обрушения скальной породой и блоковое строение месторождения, несмотря на протяженность шахтного поля более 1,5 км при глубине горных работ 430 м, обусловили неполную подработку поверхности. Это способствует развитию процесса сдвижения с меньшими параметрами, чем если бы месторождение изначально разрабатывалось системой с обрушением и без засыпки воронок. Поэтому, несмотря на склонность развития

сдвигения в лежащий бок, здания и сооружения промплощадки шахты находятся в удовлетворительном состоянии. Активные процессы трещинообразования в зданиях отсутствуют.

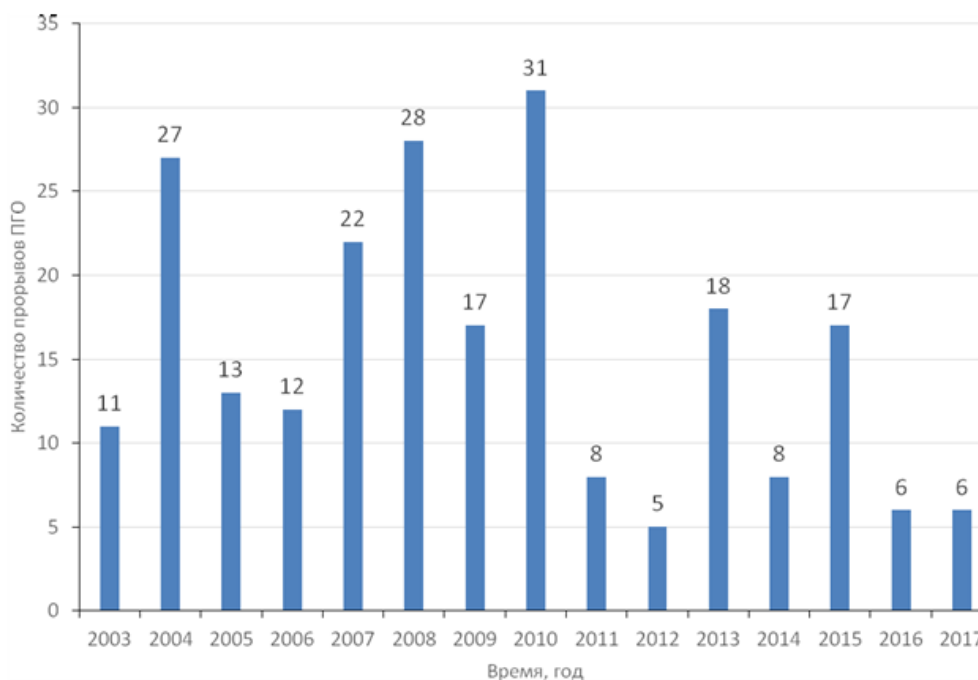


Рис. 3 – Распределение по годам прорывов ПГО в подземные горные выработки

Мероприятия по повышению промышленной безопасности

Для исключения накопления больших объемов воды воронки обрушения засыпают скальной породой, что в 3 – 5 раз снижает объем свободной воды в воронке, но гидравлические окна между водоносными горизонтами и горными выработками остаются. По мере снижения активности перепуска обрушенных пород происходит кольматация трещинного пространства глинистыми породами и водоприток в выработки через канал обрушения затухает.

В настоящее время зона обрушения огорожена отвалом скальной горной породы, а воронки обрушения засыпаются с целью предотвращения скопления больших масс воды. Однако горные разработки продолжают формировать обширную депрессию поверхности, превышающую размеры зоны обрушения, которая будет скапливать все большее количество атмосферных осадков. Таким образом, проблема накопления водных масс на поверхности в мульде сдвига сохраняется и по мере развития горных работ усугубляется.

Решение этой проблемы заключается в управлении процессами формирования мульды сдвига и гидродинамическими режимами в массиве горных пород, затронутых влиянием подземных разработок. За 42 года работы шахты применялись следующие мероприятия: создание системы осушения обведенной толщи, закладка выработанных пространств твердеющими смесями, откачка воды из воронок обрушения, засыпка воронок скальной породой, сооружение отвала вокруг зоны обрушения, создание систем мониторинга водопритоков в подземные выработки и наблюдений за деформациями поверхности, сооружение бетонных перемычек в подземных выработках для контролируемого спуска воды. Они позволили практически исключить возможность крупных аварий, грозивших затоплением рудника, но полностью устранить инциденты с прорывами ПГО так и не удалось. Поэтому исследованию условий и механизмов предотвращения прорывов на шахте Соколовская уделяется первостепенное внимание.

Перспективы снижения прорывов в ПГО связаны с исследованиями вариантов дренажа олигоценового горизонта путем открытых дренажных канав на поверхности, с поиском вариантов контролируемого сброса вод мелового горизонта через зону обрушения и формирование отвала скальных пород над зоной обрушения.

Осушение олигоценового горизонта можно попытаться выполнить путем строительства системы открытых каналов глубиной 3 – 5 м за зоной обрушения. Для этого необходимо выполнить поиск путей основной миграции воды и основных залежей олигоценового горизонта. Дополнительно необходимо определить потребителей этой воды или построить прудок-испаритель.

В основе контролируемого регулярного сброса вод мелового горизонта лежит идея целенаправленного снижения обводненности мезокайнозойской толщи путем создания из зоны обрушения канала для естественного перетока вод в выработанное пространство, что снижает аккумуляцию воды в песчано-глинистых породах. Так, например, если в 2001 г. водоприток в шахту через зону обрушения составлял $2,8 \text{ м}^3/\text{ч}$, то в 2017 г. возрос до $85,6 \text{ м}^3/\text{ч}$. При этом общий водоприток в шахту практически за этот период не изменился и составил 350 – 400 $\text{м}^3/\text{ч}$. Это означает, что увеличение дренажа через зону обрушения не увеличило общий водоприток в шахту, а привело к изменению путей миграции воды. Повышенный водоприток через зону обрушения переувлажняет руду, но дает свои позитивные результаты в обеспечении безопасности горных работ.

Формирование отвала над зоной обрушения несет в себе следующую идею: поднять за счет отвала скальных пород уровень дна воронок обрушения выше олигоценового водоносного горизонта. Воронка останется сухой и не будет аккумулировать воду. Работы по засыпке воронки можно начать после прекращения процесса обрушения над добычным участком и не торопиться с началом засыпки в период активных деформаций. Кроме того, появляется значительный экономический эффект от размещения в зоне обрушения вскрышных пород карьера Соколовский, который разрабатывает южную часть месторождения.

Несмотря на эффективность результатов засыпки воронок обрушения скальной горной массой, опасность ведения самих отвальных работ очень высока. Повышение безопасности отвалообразования планируется обеспечить путем контроля деформаций в опасной зоне и применением технологий отвалообразования, исключающих присутствие людей в зоне воронкообразования. В качестве метода дистанционного мониторинга деформаций в опасных зонах на шахте Соколовская применяется метод радарной интерферометрии, который благодаря широкому охвату территории позволяет контролировать деформации поверхности не только в зоне активных опасных сдвижений, но и от всей депрессионной воронки месторождения [15, 16]. Кроме этого, планируется применение специальной техники, которая исключит присутствие людей в опасной зоне. Например, это могут быть отвалообразователи с консолью не менее 60 м, скреперные лебедки, подвесной конвейер с переворотом ленты над провалом или беспилотная самоходная техника.

Выводы

Таким образом, разработка месторождения под обводненной налегающей толщей сопровождается регулярным совершенствованием и развитием мер противодействия прорывам ПГО при перманентном изменении гидрогеологических условий. Эффекты от внедрения мер по снижению опасности прорывов ПГО из-за сложности природно-техногенных условий достигаются в течение нескольких лет. К моменту достижения некоторого баланса между применяемыми мерами и их эффектом меняются технологические приемы разработки месторождения, понижаются горные работы, изменяются параметры процесса сдвижения. Это приводит к необходимости разработки и внедрению новых решений по обеспечению промышленной безопасности разработки Соколовского месторождения подземным способом.

Литература

1. Куксов А.П. Минерально-сырьевая база предприятий объединения / А.П. Куксов, С.Н. Алехин // Горный журнал. - 2004. - № 7. – С. 24 – 32.
2. Балек А.Е. Явление самоорганизации деформационных полей массивов горных пород и его использование при решении задач геомеханики / А.Е. Балек // Проблемы недропользования. - 2016. - № 4. – С. 90 - 96. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.090
3. Сашурин А.Д. Формирование напряженно-деформированного состояния иерархически блочного массива горных пород / А.Д. Сашурин // Проблемы недропользования № 1. - 2015. – С. 38 - 44. DOI: 10.18454/2313-1586.2015.04.890
4. Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в областях сильного техногенного воздействия / В.Н. Опарин и др. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 632 с.
5. Добрецов Н.Л. Геодинамика, поля напряжений и условия деформаций в различных геодинамических обстановках / Н.Л. Добрецов, И.Ю. Кулаков, О.П. Полянский // Геология и геофизика. - 2013. - Т. 54. - № 4. - С. 469 - 499.
6. Усанов С.В. Мониторинг геодинамических движений горного массива Высокогорского железорудного месторождения при масштабном техногенном воздействии сложного горнодобывающего комплекса / С.В. Усанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2014. - № 10. - С. 208 - 213.
7. Мельник В.В. Оценка опасности карстопроявлений геофизическими методами / В.В. Мельник // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - № 7. - С. 151 - 155.
8. Мельник В.В. Диагностика карстопроявлений при проведении инженерно-геологических изысканий / В.В. Мельник // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 7 – С. 275 - 278.
9. Волков Ю.И. Технологии и проектирование систем осушения разрабатываемых месторождений полезных ископаемых / Ю.И. Волков, А.А. Изотов // Горный журнал. - 2010. - № 7. - С. 25 - 28.
10. Едигенов М.Б. Рекомендации по осушению горных выработок, ведению мониторинга и охране окружающей среды на Ломоносовском месторождении железных руд / М.Б. Едигенов // Геология и охрана недр. - 2015. - № 1 (54). - С. 54 - 64.
11. Головачев Н.К. Катастрофа на руднике «Муфулира» / Н.К. Головачев // Горный журнал. – 1971. - № 11. – С. 74 - 76.
12. Дорн Э. Анализ аварии на руднике «Лассинг», Австрия / Э. Дорн // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. - № 7. – С. 22 - 23.
13. Исаченко О.С. Соколовский подземный рудник / О.С. Исаченко, С.В. Верин, А.И. Раков // Горный журнал. – 2004. - № 7. – С. 37 – 42.
14. Костанайский областной еженедельник «Наша Газета» № 47 (191) 24.11.2005 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.ng.kz/gazeta/191/hronograph/?002>
15. Усанова А.В. Особенности исследования деформаций поверхности при подземной разработке Соколовского железорудного месторождения на основе архивных радарных снимков / А.В. Усанова // Маркшейдерия и недропользование. - 2018. - № 3.
16. Усанова А.В. Мониторинг сдвижения земной поверхности при разработке Соколовско-Сарбайского месторождения методом радарной интерферометрии / А.В. Усанова, С.В. Усанов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2018. - № 4. - С. 28 - 33.