

Исследование гидрогеологических условий для обеспечения безопасности при разработке Соколовского железорудного месторождения

Далатказин Т. Ш.^{1*}, Каюмова А. Н.^{1, 2}

¹ Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: 9043846175@mail.ru

Реферат

Введение. Сложные гидрогеологические условия горного массива Соколовского месторождения определяют необходимость постоянного поиска новых решений повышения промышленной безопасности. В настоящее время имеется значительный объем информации об инженерно-геологических условиях горного массива месторождения, на основании которой разработаны мероприятия для обеспечения промышленной безопасности и технологические решения добычи полезного ископаемого.

Цель работы. С целью определения дальнейшей тактики обеспечения безопасного ведения горных работ выполнен анализ информации о гидрогеологических и инженерно-геологических условиях Соколовского месторождения.

Методология. В статье подробно описано геологическое строение Соколовского месторождения. Выявлены факторы, опасные для ведения горных работ: неосушенные гидрогеологические горизонты и комплексы, карст, тиксотропные породы, присутствующие в разрезе. Эти факторы создают условия накопления и прорыва водно-грязевых масс в подземный рудник. Подавляющее количество прорывов песчано-глинистых отложений приходится на основные добычные горизонты в выработки выпуска и доставки.

Результаты. Определены направления дальнейших исследований механизма формирования и реализации опасных явлений в геологической среде месторождения, направленные на совершенствование мер предотвращения катастрофических событий и средств обеспечения безопасности персонала.

Выводы. Сегодня на стадии разработки месторождения обозначилась необходимость детального изучения конкретных гидрогеологических и геомеханических условий с целью повышения эффективности дренажных мероприятий на локальных участках массива, планируемых для организации добычи руды.

Ключевые слова: водоносный горизонт; подземные выработки; глина; тиксотропия; карст; промышленная безопасность; прорывы воды.

Введение. В мировой практике недропользования известны многочисленные случаи катастроф, связанных с прорывом воды и шлама в подземные горные выработки. За рубежом это, например, затопление рудника «Муфулира» в Замбии (1970) [1], затопление рудника «Лассинг» в Австрии (1988) [2], прорыв водно-грязевых масс при строительстве железнодорожного тоннеля Есангуань в Китае (2007) [3].

Рудник «Муфулира» – одно из крупнейших предприятий, добывающих медную руду. Здесь в мульду оседания поверхности многие годы складировались флотационные хвосты обогатительной фабрики. В 1970 г. в этом хвостохранилище находилось 19,6 млн т отвальной массы полужидкой консистенции. В сентябре 1970 г. жидкий шлам прорвался в подземные выработки. Погибло 89 шахтеров. Рудник был полностью выведен из строя. Причиной катастрофы явилось

образование воронки обрушения под восточной частью дна хвостохранилища вследствие сдвижения обрушенных ранее пород висячего бока при отработке верхней части месторождения.

В 1998 г. в Австрии на руднике по добыче талька «Лассинг» произошла подобная катастрофа – обрушение подработанной породной толщи. Рудник был затоплен шламом обогатительной фабрики. Добычные работы велись на глубинах 586 и 626 м от поверхности. Погибло 12 человек.

В 2007 г. при строительстве железнодорожного тоннеля Есангуань в Китае водо-грязевые массы объемом 150 000 м³ стали причиной смерти 10 человек и привели к остановке строительства на 6 месяцев [3].

В экономике Республики Казахстан добыча полезных ископаемых занимает существенное место. Обеспечение безопасности при ведении горных работ является первостепенной задачей. В последние годы в Казахстане наблюдается тренд на снижение уровня производственного травматизма, при этом по сравнению с другими отраслями народного хозяйства в горнодобывающей промышленности количество пострадавших выше [4, 5].

С целью обеспечения безопасности ведения горных работ при разработке Соколовского месторождения магнетитовых руд руководство предприятия инициировало исследования вмещающего горного массива. Особенностью месторождения являются сложные гидрогеологические и инженерно-геологические условия.

История разработки Соколовского месторождения подземным способом начинается с 1975 г. До 1998 г. на шахте применялась система отработки с закладкой выработанного пространства, а после – система с обрушением.

За период освоения месторождения регулярно проводились исследования гидрогеологических и инженерно-геологических условий, направленных на обеспечение промышленной безопасности [6–12], но острота проблемы безопасности ведения горных работ сохраняется.

Цели и методы исследований. С целью определения дальнейшей тактики обеспечения безопасного ведения горных работ выполнен анализ информации о гидрогеологических и инженерно-геологических условиях Соколовского месторождения.

К опасным условиям на подземном руднике относятся: опасность прорывов обводненных песчано-глинистых отложений; опасность прорывов вследствие наличия карстов.

Для обеспечения промышленной безопасности исследуются природа и механизм приведенных факторов [6–9].

Проведение исследований. Горный массив Соколовского месторождения сложен сверху вниз песчано-глинистыми отложениями, опоками, песчаниками, карстующимися известняками, а ниже – магматическими горными породами.

На месторождении выделяются (сверху вниз) следующие основные гидрогеологические подразделения:

Олигоценый водоносный горизонт. Информация по олигоценовому горизонту в пределах шахтного поля противоречива. По одним данным, он пространственно не выдержан и встречается в отдельных, иногда сообщающихся между собой, понижениях кровли водоупорных пород, представленных чеганскими глинами. По другим источникам, горизонт в пределах шахтного поля распространен повсеместно.

Олигоценый горизонт представлен песками, гранулометрический состав которых изменяется от мелко- до крупнозернистой фракции. Коэффициент фильтрации изменяется от 2 до 6 м/сут, мощность – от 0 до 9 м. Кровля песков пере-

крыта миоценовыми глинами. Подошва песков залегает на глинах чеганской свиты. Воды горизонта напорные. Питание осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. В пределах шахтного поля горизонт не осушен и частично дренируется в подземное пространство так называемыми «большими дренами», сформировавшимися в процессе обрушения горных пород.

Водоупорный чеганский (эоцен-олигоценый) горизонт подстилает олигоценый горизонт. В районе месторождения чеганский горизонт распространен повсеместно. Представлен плотными глинами мощностью в среднем 20 м. По минеральному составу глины относятся к монтмориллонитовой группе.

Эоценовый водоносный горизонт расположен ниже чеганского водоупорного горизонта. Сложен опоками и песчаником. В пределах шахтного поля сдренирован.

Верхнемеловой водоносный горизонт имеет региональное распространение и приурочен к кварцевым пескам. При отработке с обрушением критерием исключения прорывов обводненных песчано-глинистых отложений из мелового горизонта в подземные выработки была определена 8-метровая величина остаточных столбов воды над зоной первоначального обрушения. Осушение горизонта в пределах шахтного поля решается внешним и внутренним дренажными контурами, оборудованными сквозными фильтрами и восстающими скважинами [13].

Водоупорный нижнемеловой горизонт подстилает водоносный верхнемеловой горизонт. Сложен лигнитовыми глинами мощностью 10–20 м.

Водоносный комплекс палеозойских пород имеет повсеместное распространение и залегает ниже водоупорного нижнемелового горизонта. Через эрозионные окна последнего водоносный комплекс палеозойских пород имеет гидравлическую связь с водоносным меловым горизонтом. Водовмещающие породы палеозойского комплекса магматического, метаморфического и осадочного происхождения: порфириты, диабазы, сланцы, конгломераты, туфы, аргиллиты, известняки, песчаники. В кровле палеозоя залегают глины коры выветривания мощностью от 1 до 70 м. Водоносность палеозойских пород связана с открытой трещиноватостью. Палеозойские породы в районе месторождения имеют вертикальную зональность по коэффициенту фильтрации, значения которого уменьшаются с глубиной от 2,0 до 0,0005 м/сут. Повышенная водообильность палеозойского горизонта наблюдается в зонах тектонических нарушений и на участках развития карста в известняках.

Известняки развиты в лежачем боку месторождения к западу от рудной зоны и прослеживаются полосой от 250 до 600 м вдоль месторождения при мощности 300–500 м.

Выявленные факторы, опасные для ведения горных работ.

Первый – наибольшую опасность представляют прорывы обводненных песчано-глинистых отложений, проявление, масштаб и скорость распространения которых непредсказуемы [7]. Опасность прорывов связана с аккумуляцией олигоценых и меловых подземных вод в воронках обрушения при образовании ниже дна воронки «пробки» из глин. При этом олигоценый горизонт в пределах шахтного поля системно не изучался. Для уменьшения в воронках количества воды они засыпаются скальными породами, но это не решает проблему полностью. Присутствие на дне воронки чеганских глин и воды, геодинамические подвижки, вибровоздействие от взрывов формирует механизм прорывов песчано-глинистых отложений в очистное пространство. Этот механизм определяется тем, что чеганские глины на 40 % состоят из монтмориллонита [14]. Характерным признаком кристаллической решетки монтмориллонита является переменное содержание воды, изменяющееся в зависимости от влажности окружающей среды, что определяет его тиксотропность [12]. Тиксотропность – физико-хими-

ческое явление, возникающее в дисперсных породах и выражающееся в их разжижении и потере прочности при внешнем динамическом воздействии и быстром восстановлении прочности при его отсутствии. Благодаря тиксотропности увлажненные чеганские глины на дне воронок обрушения при механическом воздействии легко проходят через разуплотненную толщу скальных палеозойских пород в очистное пространство. Здесь структурные связи восстанавливаются [16–22]. В настоящее время опасность, возникающая вследствие тиксотропности чеганских глин, в практической деятельности предприятия не учитывается.

Второй – критичное значение высот остаточных водяных столбов мелового горизонта. Со временем эффективность внешнего и внутреннего дренажных контуров снизилась из-за механической и химической коагуляции фильтров и прифильтровой зоны значительной части водопонижительных скважин, и высота столбов воды в северной части внешнего контура достигает 15 м.

Третий – опасность прорывов воды вследствие наличия карста. Уже на стадии проектирования подземный рудник был признан потенциально опасным по внезапным прорывам воды из карстовых пустот. Размер карстовых полостей изменяется от нескольких до сотен метров. На глубину развитие карста прослежено до отметки –247 м (по материалам А. В. Крутикова, Н. И. Соломина, Т. В. Ушаковой). При этом уровень подземных вод комплекса палеозойских пород на месторождении снижен до отметки –60 м и лишь на отдельных участках центральной и южной части – до горизонта –120 м (М. М. Бураков, 2017). Из этого следует, что карстующиеся известняки, расположенные в основном в северной части рудника, осушены, как и другие палеозойские породы, только до отметки –60 м. Здесь известняки наиболее водообильны, а древний карст развит в двух формах – поверхностной и глубокой.

Поверхностный карст прослеживается по известнякам более чем на 200 м в глубину от поверхности палеозойских пород. Представлен он воронками, которые с глубиной переходят в колодцы и шахты. Карстовые воронки наблюдаются в основном вдоль контактов известняков с рудной зоной и по тектоническим нарушениям. Карст заполнен глинами коры выветривания.

Глубинный карст представлен карстовыми полостями. На северном фланге горного массива шахты прослежена полость в интервале глубин от –17,6 до –247 м, т. е. по вертикали размер полости составляет более 230 м.

Динамика дебитов скважин, вскрывших карстовые полости и имеющих гидравлическую связь с палеозойским водоносным горизонтом, характеризовалась двумя периодами. В первый период дебиты скважин были обусловлены статическими запасами карстовых полостей, а в течение второго периода – динамическими запасами палеозойского водоносного комплекса. Вместе с тем водоизлив из ряда скважин, вскрывших карстовые полости после срабатывания статических запасов, прекращался. Из этого следует, что были вскрыты изолированные, заполненные водой полости (С. В. Кравчук, В. Н. Квачев). Такие полости даже при осушении окружающего массива являются потенциальным источником прорывов [10, 22]. При ведении очистных работ в зоне карстующихся известняков возможны прорывы подземных вод в горные выработки. Предпосылками прорывов в данном случае являются взрывные работы и процесс формирования мульды сдвижения.

Четвертый – дальнейшее развитие горных работ приведет к увеличению площади зоны сдвижения горных пород, что вызовет увеличение модуля подземного стока и поступление инфильтрационных вод в горные выработки [22].

В соответствии с требованиями *Правил обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологораз-*

дочные работы (далее *Правил промышленной безопасности*) [23] не допускается нахождение в горных выработках, состояние которых представляет опасность для людей. Исключением являются случаи выполнения работ по устранению подобных источников опасности с применением дополнительных средств защиты. Для дальнейшего безопасного производства работ на руднике необходимо исследовать гидрогеологические особенности Соколовского месторождения.

Результаты исследований. В результате исследования особенностей гидрогеологических и инженерно-геологических условий горного массива Соколовского месторождения получены данные, позволившие уточнить условия разработки месторождения с учетом перспективы развития горных работ, определить направление и тактику дальнейших исследований для разработки мер безопасности при ведении горных работ.

На основе полученных данных предлагается проведение мероприятий по снижению вероятности прорывов обводненных песчано-глинистых отложений: определяются границы опасных по прорывам зон, горные и буровые работы в опасных зонах для спуска воды и затопленных выработок выполняются в соответствии с проектами.

Проекты, в соответствии с требованиями *Правил промышленной безопасности* [23], содержат мероприятия по обеспечению безопасности работ:

- меры по безопасности работ и защите от прорывов воды;
- очередность проходки горных выработок, дренажных и опережающих скважин, их параметры;
- местонахождение выработок, опасных по прорывам воды;
- местонахождение скважин и перемычек.

Для обеспечения безопасности горных работ на участках, опасных в отношении прорыва в выработки, предусмотрен следующий особый порядок ведения работ:

- предварительно производится бурение передовых разведочных скважин с постоянным опережением не менее 10 м, при этом бурение опережающих скважин производится под непосредственным наблюдением лиц контроля, в том числе из числа работников вентиляционного контроля;
- скважины, пересекающие водоносные горизонты, за исключением наблюдательных, в обязательном порядке тампонируются, для этого организация, проводящая буровые работы, составляет геологический отчет, в котором отражает на планах и в каталогах координат местоположение устьев, забоев и пересечений залежей и выработок всеми буровыми скважинами.

Там, где проявления обводненных песчано-глинистых отложений представляют собой наибольшую опасность, действующие горные выработки, околоствольные дворы и главные водоотливные установки ограждаются от остальных выработок шахты водонепроницаемыми перемычками. Дополнительно требованиями *Правил промышленной безопасности* [23] регламентируется система наблюдения, оповещения об авариях, позиционирования и поиска персонала, которая должна быть работоспособна до аварии, во время аварии и после ликвидации аварии.

Для повышения безопасности горных работ необходим постоянный контроль выполнения требований промышленной безопасности горных работ. Контроль осуществляется со стороны действующих ответственных лиц предприятия, а также со стороны органов государственного надзора.

Однако для повышения эффективности прогноза формирования и реализации прорывов обводненных песчано-глинистых отложений в конкретных участках массива необходимы исследования геологической среды с целью предотвращения

ния этих опасных проявлений, совершенствования мер и средств обеспечения безопасности персонала. Неосушенный олигоценый горизонт, наличие локальных сосредоточений значительных запасов подземных вод в воронках обрушения, карстовых полостях, тиксотропность пород, процесс сдвижения определяют угрозу внезапных прорывов обводненных песчано-глинистых отложений.

Выводы. В настоящее время накоплен значительный объем информации об инженерно-геологических условиях горного массива месторождения [6–9, 11, 12], но проблема обеспечения безопасности полностью не снята. При этом мероприятия в масштабах всего шахтного поля неоправданно дороги. Так, для поиска решений обеспечения безопасности необходимы, например, детальные исследования олигоценого горизонта, сосредоточенные на локальных участках планируемых к отработке рудных блоков.

В целом по объекту для повышения безопасности горных работ необходимо:

– выполнить исследования по изучению олигоценого горизонта на локальных участках горного массива шахтного поля, потенциально опасных по прорывам обводненных песчано-глинистых отложений;

– выявить и изучить основные пути миграции подземных вод в пределах массива месторождения с целью их перехвата для осушения локальных участков по мере необходимости;

– изучить возможность изменения технологических параметров взрывных работ для предотвращения тиксотропного разуплотнения глинистых отложений в зоне обрушения с целью исключения прорывов песчано-глинистых отложений в очистное пространство;

– обеспечить опережающее выявление участков карстующихся пород в зоне влияния горных работ и выполнение соответствующих мероприятий по обеспечению требований охраны труда и промышленной безопасности.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00581-19-00. Тема № 0405-2019-0007. Тема 3.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Головачев Н. К. Катастрофа на руднике «Муфулира» // Горный журнал. 1971. № 11. С. 74–75.
2. Дорн Э. Анализ аварии на руднике Лассинг, Австрия // ГИАБ. 2003. № 7. С. 22–23.
3. Li Shucui. New development on ahead prospecting water and mud inrush in tunneling // FEFU: School of Engineering Bulletin. 2016. No. 2/27. P. 10–17. URL: <https://www.dvfu.ru/en/vestnikis/archive-edition/2-27/2/> (дата обращения 29.05.2019).
4. Общий производственный травматизм в Казахстане за последние 5 лет снизился на 23,3 % // Официальный сайт Премьер-министра Республики Казахстан 26.07.2016. URL: <https://primeminister.kz/ru/news/zdravoohranenie/obshchii-proizvodstvennii-travmatizm-v-kazahstane-za-poslednie-5-letsnizilsya-na-233-mzsr-rk-12564> (дата обращения 29.05.2019).
5. Мы пренебрегаем безопасностью труда // Сайт Inbusiness.kz. URL: <https://inbusiness.kz/ru/news/%C2%ABmy-prenebregaem-bezopasnostyu-truda%C2%BB> (дата обращения 25.05.2019).
6. Усанова А. В. Особенности исследования деформаций поверхности при подземной разработке Соколовского железорудного месторождения на основе архивных радарных снимков // Маркшейдерия и недропользование. 2018. № 3. С. 29–35.
7. Усанов С. В., Крутиков А. В., Мельник В. В. Обеспечение промышленной безопасности при разработке Соколовского железорудного месторождения подземным способом в условиях обводненной налегающей толщи // Проблемы недропользования. 2018. № 4. С. 82–89. DOI: 10.25635/2313-1586.2018.04.082.
8. Балек А. Е., Сашурин А. Д., Харисов Т. Ф. Совершенствование подземной разработки Соколовского месторождения системами с обрушением в условиях обводненных налегающих пород // Проблемы недропользования. 2019. № 1. С. 5–13.
9. Ефремов Е. Ю. Обоснование критерия завершения процесса воронкообразования // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2018. № 4. С. 12–21.
10. Мельник В. В. Диагностика карстопроявлений при проведении инженерно-геологических изысканий // ГИАБ. 2010. № 7. С. 275–278.
11. Едигенов М. Б. Гидрохимические геориски центральной промплощадки АО «ССПО» // Горный журнал Казахстана. 2015. № 10. С. 12–15.
12. Едигенов М. Б. Рекомендации по осушению горных выработок, ведению мониторинга и охране окружающей среды на Ломоносовском месторождении железных руд // Геология и охрана недр. 2015. № 1(54). С. 54–64.

13. Исаченко О. С., Верин С. В., Раков А. И. Соколовский подземный рудник // Горный журнал. 2004. № 7. С. 37–42.
14. Максимович Н. Г., Меньшикова Е. А., Казакевич С. В., Шлыков В. Г. Минералогия чеганских глин и ее инженерно-геологическое значение // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Червинского: сб. науч. статей. Пермь: Пермский университет, 2000. С. 40–43.
15. Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М.: ГНТИ литературы по геологии и охране недр, 1956. 558 с.
16. Далатказин Т. Ш., Коновалова Ю. П. Прогноз последствий затопления Березовского подземного рудника // Проблемы недропользования. 2017. № 3(14). С. 60–66. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.060
17. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. М.: Недра, 1970. 528 с.
18. Billig K. Thixotropic clay suspensions and their use in Civil Engineering // Civil Engineering and Public Works Review. 1969. Vol. 56. No. 665; Vol. 57. No. 666, 667, 668.
19. Felhmann H. Die Verwendung thixotroper Fleissigkeiten bei Senk-astengrundungen // Schweizerische Bauzeitung. 1958. No. 40. S. 78–91.
20. Cook N. G. W. The failure of rock // International J. Rock Mechanics and Mining Science. 1965. Vol. 2. No. 1. P. 389–403.
21. Yang T., Gong S. Microscopic analysis of the engineering geological behavior of soft clay in Shanghai, China // Bull. Eng. Geol. Environ. 2010. Vol. 69. No. 4. P. 607–615.
22. Мельник В. В., Замятин А. Л. Осушение рудных тел в условиях повышенной обводненности и закарстованности налегающей толщи // Проблемы недропользования. 2018. № 1(16). С. 105–111. DOI: 10.25635/2313-1586.2018.01.105.
23. Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологоразведочные работы, Утв. приказом Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30.12.2014 г. № 352.

Поступила в редакцию 19 августа 2019 года

Сведения об авторах:

Далатказин Тимур Шавкатович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией технологий снижения риска катастроф при недропользовании Института горного дела УрО РАН. E-mail: 9043846175@mail.ru

Каюмова Альфия Наиловна – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории геомеханики подземных сооружений Института горного дела УрО РАН, доцент кафедры безопасности горного производства Уральского государственного горного университета. E-mail: alfkaa@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-1-133-141

Study of hydrogeological conditions to ensure security of mining at Sokolovsky iron-ore deposit

Timur Sh. Dalatkazin¹, Alfiya N. Kaiumova^{1, 2}

¹ Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

² Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. Complex hydrogeological conditions of the rock mass at Sokolovsky deposit are the cause of constant search for new solutions for industrial safety improvement. At the present time there is much information on engineering and geological conditions of the field rock mass which is a source of measures developed to ensure industrial safety and technological solutions in mining.

Research aim. With the purpose of determining a tactics of mining security support, the information on the hydrogeological and engineering-geological conditions of Sokolovsky field was analyzed.

Methodology. The article provides the details of Sokolovsky field structure. The factors have been revealed which are hazardous for mining: undrained hydrogeological horizons and complexes, karst, thixotropic rock within the open pit. These factors create the conditions for sludge and water accumulation and rush into the underground mine. The majority of sandstone rushes fall upon the main production horizons into the intake and transportation mine workings.

Results. Directions have been determined for further investigation of the mechanism of hazardous phenomena development and realization in geological environment of the field; the investigation is directed at improving catastrophe prevention measures and personnel security measures.

Summary. Currently, at the stage of field development, there emerged a need to study particular hydrogeological and geomechanical conditions in details in order to increase of effectiveness of drainage at local sites of the mass which are designed for ore extraction.

Key words: water-bearing formation; underground mine workings; clay; thixotropy; process safety; water inrush.

Acknowledgements. Research has been carried out under the government contract no. 075-00581-19-00. Theme no. 0405-2019-0007. Theme 3.

REFERENCES

1. Golovachev N. K. Mufulira pit catastrophe. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 1971; 11: 74–75. (In Russ.)
2. Dorn E. Lassing, Australia, pit disaster. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2003; 7: 22–23. (In Russ.)
3. Li Shucaí. New development on ahead prospecting water and mud inrush in tunneling. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2016; 2/27: 10–17. Available from: <https://www.dvfu.ru/en/vestnikis/archive-edition/2-27/2/> [Accessed 29 April 2019].
4. Official Information Source of the Prime Minister of the Republic of Kazakhstan. *Total occupational traumatism in Kazakhstan has decreased by 23.3% over the last 5 years*. Available from: <https://primeminister.kz/ru/news/zdravoohranenie/obshchii-proizvodstvennii-travmatizm-v-kazahstane-zapovednie-5-letsnizilsya-na-233-mzsr-rk-12564> [Accessed 29 April 2019].
5. Dana Iman. *We neglect occupational safety*. Available from: <https://inbusiness.kz/ru/news/%C2%ABmy-preneregagem-bezopasnostyu-truda%C2%BB> [Accessed 29 April 2019]. (In Russ.)
6. Usanova A. V. Peculiarities investigation of surface deformations in underground development of Sokolovskaya iron ore mining camp based on archive radar images by the method of remote sensing. *Marksheideriia i nedropolzovanie = Mine Surveying and Subsurface Use*. 2018; 3: 29–35. (In Russ.)
7. Usanov S. V., Krutikov A. V., Melnik V. V. Ensuring of industrial safety when developing sokolovskiy iron-ore deposit by underground method in terms of flooded overlapping strata. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use*. 2018; 4: 82–89. DOI: 10.25635/2313-1586.2018.04.082. (In Russ.)
8. Balek A. E., Sashurin A. D., Kharisov T. F. Improvement of underground mining of sokolovskoe deposit by systems with caving under conditions of watered overlying rocks. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use*. 2019; 1: 5–13. (In Russ.)
9. Efremov E. Iu. Rationale of cave-in process consummation criterion. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = Proceedings of the Tula State University. Sciences of the Earth*. 2018; 4: 12–21. (In Russ.)
10. Melnik V. V. Diagnostics of karst manifestations when carrying out engineering-geological survey. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2010; 7: 275–278. (In Russ.)
11. Edigenov M. B. Hydrochemical geological hazards at the central facility of SSGPO JSC. *Gornyi zhurnal Kazakhstana = Mining Journal of Kazakhstan*. 2015; 10: 12–15. (In Russ.)
12. Edigenov M. B. Recommendation on draining mine workings, monitoring and environmental protection at Lominisov iron-ore deposit. *Geologiya i okhrana nedr = Geology and Bowels of the Earth*. 2015; 1(54): 54–64. (In Russ.)
13. Isachenko O. S., Verin S. V., Rakov A. I. Sokolovsky underground mine. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2004; 7: 37–42. (In Russ.)
14. Maksimovich N. G., Menshikova E. A., Kazakevich S. V., Shlykov V. G. Mineralogy of chegansky clays and its engineering-geological significance. In: *Problems of mineralogy, petrography and metallogeny*. P. N. Chervinsky readings: proceedings. Perm: Perm University Publishing; 2000. P. 40–43. (In Russ.)
15. Betekhtin A. G. *Mineralogy course*. Moscow: GNTI literatury po geologii i okhrane nedr Publishing; 1956. (In Russ.)
16. Dalatkazin T. Sh., Konovalova Iu. P. Forecasting the consequences of Berezovsky underground mine drowning. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use*. 2017; 3(14): 60–66. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.060 (In Russ.)
17. Lomtadze V. D. *Engineering geology. Engineering petrology*. Moscow: Nedra Publishing; 1970. (In Russ.)
18. Billig K. Thixotropic clay suspensions and their use in Civil Engineering. *Civil Engineering and Public Works Review*. 1969; 56 (665); 57 (666, 667, 668).
19. Felhmann H. Die Verwendung thixotroper Fleissigkeiten bei Senkkastengründungen. *Schweizerische Bauzeitung*. 1958; 40: 78–91.
20. Cook N. G. W. The failure of rock. *International J. Rock Mechanics and Mining Science*. 1965; 2 (1): 389–403.
21. Yang T., Gong S. Microscopic analysis of the engineering geological behavior of soft clay in Shanghai, China. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 2010; 69 (4): 607–615.
22. Melnik V. V., Zamiatin A. L. Draining of orebodies in conditions of high watering and cavernous porosity of superincumbent rock stratum. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use*. 2018; 1(16): 105–111. DOI: 10.25635/2313-1586.2018.01.105. (In Russ.)
23. Regulation on industrial safety for hazardous facilities carrying out mining and geological exploration. Approved by the Minister of Investment and Development of the Republic of Kazakhstan of 30 December 2014, no. 352.

Information about authors:

Timur Sh. Dalatkazin – PhD (Engineering), Head of the Laboratory of Technologies for Disaster Risk Reduction in Subsoil Use, Institute of Mining UB RAS. E-mail: 9043846175@mail.ru

Alfiia N. Kaiumova – PhD (Engineering), researcher of the Laboratory of Underground Structures Geomechanics, Institute of Mining UB RAS, associate professor of Mining Safety Department, Ural State Mining University. E-mail: alfkaa@mail.ru

Для цитирования: Далатказин Т. Ш., Каюмова А. Н. Исследование гидрогеологических условий для обеспечения безопасности при разработке Соколовского железорудного месторождения // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 1. С. 133–141. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-1-133-141

For citation: Dalatkazin T. Sh., Kaiumova A. N. Study of hydrogeological conditions to ensure security of mining at Sokolovsky iron-ore deposit. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 1: 133–141 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-1-133-141