

СТАТЬЯ

УДК 556.3:622.5

ОБОСНОВАНИЕ ОСУШЕНИЯ ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ВОДОВМЕЩАЮЩИЕ ОТЛОЖЕНИЯ – ДЕЗИНТЕГРИРОВАННЫЙ МАССИВ» ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ефремов Е.Ю., Рыбников П.А., Рыбникова Л.С.

ФГБУН «Институт горного дела» Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, e-mail: efremov-eu@mail.ru, ribnikoff@yandex.ru, luserib@mail.ru

В работе исследованы гидрогеодинамические условия системы «дезинтегрированный массив зоны обрушения – естественно залегающие водовмещающие отложения», которые формируются комплексом гидрогеологических и горнотехнических условий при отработке рудных месторождений системами с обрушением. В качестве полигона исследований используется Соколовское месторождение, расположенное в Кустанайской области Республики Казахстан. Добыча ведется комбинированным способом: большая южная часть разрабатывается карьером «Соколовский» с 1957 г., северный участок ш. «Соколовская» – системой с обрушением кровли с 1975 г. Ведение работ с обрушением кровли под обводненной толщей осадочных пород создает условия для прорывов вод и обводненных пород на горизонты выпуска. На месторождении зафиксировано множество аварий, связанных с проникновением глинистых пород в горные выработки. Восстановление рудника после крупнейшей аварии, произошедшей в 2005 г., заняло шесть месяцев. Задача исследований – обоснование технологии и мероприятий по осушению дезинтегрированного массива зоны обрушения ш. «Соколовская» для снижения опасности прорывов. Гидрогеодинамические условия изучались с помощью моделирования. В качестве исходных использовались данные геологического опробования, материалы оценки запасов подземных вод, режимные наблюдения за водопитоками и положением уровня подземных вод. На основе натурных данных и сценарных исследований обоснованы целевые уровни подземных вод в основном водоносном комплексе, зависящие от морфологии подошвы эоцен-мелового комплекса. Определена требуемая продолжительность работы, конфигурация и производительность системы дренажа, обеспечивающие снижение напоров до необходимого уровня. Разработана методика обоснования дренажных мероприятий для снижения опасности прорывов из зоны обрушения. Отличительными особенностями методики являются учет и оценка влияния фильтрационных и емкостных параметров дезинтегрированного массива в результате решения обратных задач и учет особенностей морфологии подошвы водоносных комплексов для эффективного снижения напоров в дезинтегрированном массиве.

Ключевые слова: водоносный комплекс, зона обрушения, осушение месторождений, геофильтрационное моделирование, коэффициент фильтрации, прорыв обводненных масс в горные выработки

DEVELOPMENT OF DRAINAGE DESIGN OF THE HYDROGEODYNAMIC SYSTEM “CAVING ZONE – AQUIFER” CONDITIONS DUE TO SUBLEVEL CAVING METHOD

Efremov E.Yu., Rybnikov P.A., Rybnikova L.S.

The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, e-mail: efremov-eu@mail.ru, ribnikoff@yandex.ru, luserib@mail.ru

In this paper, the hydrogeodynamic conditions of the system “caving zone – aquifer” which are formed by a complex of hydrogeological and mining conditions due to sublevel caving method are investigated. The Sokolovskoye iron ore deposit is used as an object of research. It located in the Kustanai region of the Republic of Kazakhstan. Deposit is exploited using two methods: a large, southern part has been exploited by the Sokolovsky pit since 1957, the northern part by Sokolovsky underground mine since 1975. The caving zone in the flooded sedimentary rocks creates conditions for mudrush in mining galleries. A lot of accidents related to mudrushes into mine workings have been recorded. The recovery of the mine after the largest accident in 2005 took six months. The task of the research is to substantiate the drainage of the rock mass of the. Sokolovsky underground mine to reduce mudrush risk. Geological sampling data, materials for assessing groundwater reserves, observations of water inflows and groundwater levels were used. Target groundwater level in the main aquifer is determined using field data and scenario studies. It depends on the morphology of the water-bearing sediments. The required configuration and performance of the drainage system has been determined to ensure that the groundwater level is reduced to the required level. The concept of a drainage technique to reduce the mudrush risk from caving zone was developed. Distinctive features of the technique are the assessment of the influence of permeability and storativity of sediments and caving zone and using inverse problems and taking into account the morphology of the bottom of aquifers to effectively reduce groundwater levels.

Ключевые слова: aquifer, caving zone, drainage, groundwater modelling, permeability, mudrush

Сочетание геологических и горнотехнических факторов при добыче полезных ископаемых может приводить к формированию сложных гидрогеологических усло-

вий, представляющих угрозу для горного производства.

В горнопромышленной гидрогеологии известны условия формирования областей

водопроводящих трещин и зоны обрушения вокруг очистных выработок [1]. Эти техногенно нарушенные области массива характеризуются повышенной водопроницаемостью и емкостью и представляют серьезную опасность прорывов подземных вод и обводненных песчаных и глинистых пород. Размеры изученных и описанных зон составляют десятки метров и, как правило, не нарушают сплошность лежащих выше мощных водоупорных слоев.

Современная практика подземной разработки крутопадающих мощных рудных тел системами с массовым обрушением приводит к появлению обширных зон обрушения. Они проявляются на земной поверхности в форме воронок и провалов, линейные размеры которых составляют тысячи метров [2, 3].

Образование масштабных провалов сопровождается нарушением всех выше лежащих мощных водоупорных слоев и приводит к формированию новых техногенных водоносных комплексов, которые являются источником опасности для горного производства. Прорывы обводненных плывунообразных пород из зоны обрушения объемом десятки и сотни тысяч кубических метров угрожают жизни людей, выводят из строя километры горных выработок, приводят к списаниям в качестве потерь миллионов тонн полезных ископаемых. Значительные потери руды, вызванные опасностью прорывов, зафиксированы на территории нашей страны на железорудных рудниках [4]. За рубежом наиболее подвержены прорывам крупнейшие рудники по добыче алмазов [5, 6] и медных руд, среди которых выделяется рудная провинция Грасберг в Индонезии [7, 8] и месторождение Эль-Теньенте в Чили [9–11].

Показательна авария, произошедшая в 2005 г. на ш. «Соколовская» (Республика Казахстан). Прорыв осадочных пород, смешанных с водой, в горные выработки из зоны обрушения на глубину 400–600 м вывел из строя в общей сложности 24 тыс. погонных метров выработок на пяти рабочих горизонтах. Авария сопровождалась двумя человеческими жертвами. Восстановление работоспособности рудника заняло более шести месяцев [12–14].

Задача исследований – обоснование технологии и мероприятий по осушению дезинтегрированного массива зоны обрушения ш. «Соколовская» для снижения опасности прорывов. Обоснование осуществляется на основе данных натурных наблюдений

и математического моделирования, учитывает параметры зоны обрушения и водоносных комплексов, оценку необходимой продолжительности работы дренажа. Обоснование включает определение производительности и конфигурации дренажной системы, которые в состоянии обеспечить снижение уровня подземных вод до целевого уровня, определяемого морфологией подошвы водовмещающих отложений.

Материалы и методы исследования

Гидрогеологические условия

Соколовское месторождение относится к крупнейшему в Республике Казахстан Кустанайскому железорудному району. Добыча на Соколовском месторождении ведется комбинированным способом: большая южная часть разрабатывается карьером Соколовский с 1957 г, северный участок ш. «Соколовская» – системой с обрушением кровли с 1975 г. Месторождение приурочено к соколовской свите каменноугольного периода. Основные рудные тела залегают на глубине от 200 м и прослежены до 1200 м.

Месторождение перекрыто мезо-кайнозойскими отложениями мощностью 120 м, в которых выделяется высоко водообильный эоцен-меловой водоносный комплекс. Послойное залегание пород разного возраста формирует на территории исследований несколько водоносных горизонтов, разделенных между собой водоупорными слоями. Основными региональными водоупорными толщами являются слой чеганских глин мощностью до 60 м и слой маастрихтских глин мощностью до 40 м. В осадочном комплексе выделяются следующие гидрогеологические элементы:

1. Водоносный горизонт четвертичных аллювиальных отложений состоит из четвертичных неогеновых пород мощностью от 0,5 до 30 м. Породы не имеют сплошного распространения. Питание инфильтрационное, в основном за счет снеготалых вод.

В долине реки горизонт четвертичных отложений выклинивается.

2. Олигоцен-палеогеновый водоносный горизонт имеет повсеместное распространение, за исключением долин рек, и вместе с горизонтом четвертичных отложений составляет единый водоносный комплекс. Горизонт сложен песками мощностью около 2–8 м и характеризуется коэффициентом фильтрации до 5 м/сут. Питание комплекса инфильтрационное. Подошву горизонта составляют чеганские глины. Слой чеганских глин, являющийся региональным водоупо-

ром, распространен повсеместно за исключением речных долин. Мощность толщи составляет до 35 м.

3. Эоценовый водоносный горизонт сложен опоками тасаракской свиты, мощностью до 45 м. Воды распространены в трещиноватых разностях опок и песчаников. В естественных условиях режим фильтрации является напорным, уровень подземных вод составляет около 145 м. Фильтрационные свойства водоносного горизонта в целом довольно низкие, коэффициент фильтрации 0,01–2,0 м/сут при наиболее часто встречающихся значениях 0,3–0,6 м/сут. Трещинные подземные воды опокowego водоносного горизонта гидравлически связаны с нижележащим водоносным горизонтом – питание горизонта происходит за счет меловых песков, подстилающих опокую толщу.

4. Меловой водоносный горизонт сложен кварцево-слюдяными и кварцево-глауконитовыми песками. Горизонт распространен повсеместно, залегает на лигнитовых глинах и глинисто-щебнистых отложениях коры выветривания. Горизонт напорный, в естественных условиях уровень составляет 145–150 м. Мощность горизонта в районе месторождения до 50 м. Коэффициент фильтрации меняется от 20 до 0,05 м/сут, уменьшаясь от долин рек к водоразделу.

Горизонт питается на значительном удалении от Соколовского месторождения в области размыва регионального водоупора, сложенного чеганскими глинами

5. Эоцен-меловой водоносный комплекс является основным источником обводнения горных выработок. На открытом дренаже карьеров Соколовско-Сарбайской группы месторождений водопиток из мелового горизонта составляет до 70 % от общего водопитока.

В районе Соколовского месторождения слой маастрихтских глин отсутствует, поэтому эоценовый и меловой горизонты рассматриваются как единый эоцен-меловой комплекс.

6. Кора выветривания состоит из лигнитовых глин, мощность значительно колеблется от нуля до десятков метров. Мощность кор выветривания резко возрастает в зонах разрывных нарушений и достигает до 150 м. Является относительным водоупором, связь мелового водоносного горизонта с нижележащим водоносным комплексом осуществляется через гидрогеологические окна в местах залегания песков на палеозойском фундаменте.

7. Палеозойский водоносный комплекс развит повсеместно и включает несколько стратиграфических подразделений нижнего палеозоя, силура, девона, карбона.

Скальные породы палеозойского комплекса представлены эффузивно-осадочной толщей, сложенной андезитовыми и базальтовыми порфиритами, их туфами и туфобрекчиями, реже известняками и туффиитами нижнего карбона. Породы прорваны интрузиями диоритов и диабазовых порфиритов. К контактам эффузивно-осадочных и интрузивных пород приурочено оруденение и образование метасоматических пород.

Подземные воды приурочены к верхней трещиноватой зоне, где развита открытая трещиноватость до глубины 140–160 м в эффузивно-осадочных породах, в зонах тектонических нарушений до глубины 220 м и более. Коэффициент фильтрации пород изменяется с глубиной – в верхней части мощностью 50 м составляет 0,085 м/сут, ниже в средней части мощностью 50 м уменьшается до 0,005 м/сут, и в нижней ненарушенной зоне – до 0,0005 м/сут.

Добыча руды на ш. «Соколовская» привела к формированию зоны обрушения размерами около 1500 м в длину и 600 м в ширину, ориентированную субмеридионально. Зона обрушения состоит из четырех групп, объединяющих отдельные трубообразные воронки, а ее форма определяется конфигурацией рудных тел [14]. В результате массовой добычи при отработке крутопадающих рудных тел (к текущему моменту отработанная мощность составляет 360 м при глубине очистных работ 550 м), обрушенные осадочные горные породы – пески, суглинки и глины, многократно перемешанные между собой и скальными породами, оказались расположены ниже основного водоносного комплекса.

Для осушения мезокайнозойских отложений оба участка Соколовского месторождения окружены по периметру объединенным внешним дренажным контуром, который состоит из подземных выработок, пройденных в палеозойских породах и оборудованных восстающими скважинами и сквозными фильтрами для дренирования эоцен-мелового водоносного комплекса. Внутренний шахтный дренаж включает все горные выработки и дренажные и разведочные скважины, дренирующие главным образом палеозойский комплекс и зону обрушения.

Наличие в составе дезинтегрированного массива большого объема глинистых

пластичных пород и приток подземных вод из эоцен-мелового водоносного комплекса, несмотря на наличие внешнего дренажного комплекса, приводит к прорывам глинистых отложений на горизонты выпуска.

Изучение режимов фильтрации гидрогеодинамической системы «естественно залегающие породы – дезинтегрированный массив» для обоснования методики дренажных мероприятий осуществлялось с помощью моделирования. Цель моделирования – установление закономерностей между фильтрационными свойствами дезинтегрированного массива и водопритока к очистным работам ш. «Соколовская».

Работа осуществлялась в три этапа.

На первом этапе моделирования решена серия обратных задач в стационарной постановке, соответствующая текущему состоянию подземных работ (2007–2018 гг.) с целью калибровки модели.

На втором этапе с помощью факторно-диапазонного анализа изучены закономерности фильтрации природно-техногенной системы «водовмещающие отложения – дезинтегрированный массив зоны обрушения». Основная задача второго этапа – определение ведущих факторов, влияющих на водоприток к очистной зоне.

На третьем этапе решена серия прогнозных задач для установления зависимостей между уровнем подземных вод в эоцен-меловом водоносном комплексе, водопритоками к проектируемым дренажным устройствам и емкостными параметрами естественной геологической среды и дезинтегрированного массива зоны обрушения.

Геофильтрационная модель

Концептуальная фильтрационная модель зоны обрушения

Для моделирования фильтрационных процессов в системе «естественный массив – дезинтегрированный массив зоны обрушения» зона обрушения рассматривается как отдельный гидрогеологический элемент со своими фильтрационными и емкостными параметрами, подошва которого представляет собой дренаж. В качестве отметки дрены используется положение комплекса очистных работ, а проводимость дрены определяется путем решения обратных задач с использованием данных наблюдений за шахтным водоотливом.

Границы и стратификация модели

Участок моделирования включает карьеры Соколовский, Сарбайский, а также ш. «Соколовская». С юга участок ограничен р. Тобол (рис. 1). В плане элементы конечно-

разностной сетки имеют квадратную форму со стороной 200 м, по высоте соответствуют мощности моделируемых слоев. В непосредственной близости от исследуемого объекта реализовано сгущение расчетной сети с целью более тонкого учета рельефа элементов залегания эоцен-мелового водоносного комплекса. Размер элемента сети сгущения – 50 м.

Наличие слоя чеганских глин мощностью до 35 м, являющегося региональным водоупором, обуславливает разделение режимов эоцен-мелового и олигоцен-четвертичного комплексов. В естественных условиях уровни подземных вод различались между собой не более чем на 20 м. В результате работы рудничного дренажа уровень подземных вод эоцен-мелового комплекса снизился с 165 до 95 м, в то время как уровень подземных вод олигоцен-четвертичного комплекса почти не изменился и по-прежнему составляет 175 м. Данные режимных наблюдений на карьерах Сарбайский и Соколовский показывают, что приток к их дренажным системам из олигоцен-четвертичного комплекса не превышает 15% от общего водопритока. Эоцен-меловой комплекс обеспечивает 70% водопритока, еще 15% поступает из палеозойского водоносного комплекса, гидравлически связанного с эоцен-меловым.

Отсутствие связи между олигоцен-четвертичным и нижележащими комплексами, а также его подчиненная роль в общем водопритоке позволяет исключить его из модели (рис. 2). Модель включает эоцен-меловой и палеозойский водоносный комплексы, разделенные водоупорным слоем коры выветривания.

При оценке запасов [15] дренажных подземных вод было показано, что в пределах исследуемой области наблюдается значительный разброс фильтрационных свойств эоцен-мелового водоносного комплекса. Коэффициент фильтрации достигает максимальных значений (вплоть до 15–20 м/сут) в долине Тобола. По материалам опытно-фильтрационных работ в районе Соколовского и Сарбайского месторождений величина коэффициента фильтрации меловых песков составляет 1–5 м/сут.

Фильтрационные свойства палеозойских пород обладают четко выраженной вертикальной зональностью, комплекс представлен двумя модельными слоями: верхний (слой 3) соответствует зоне сильно трещиноватых пород, второй, нижележащий (слой 4) – менее нарушенной зоне (рис. 2).

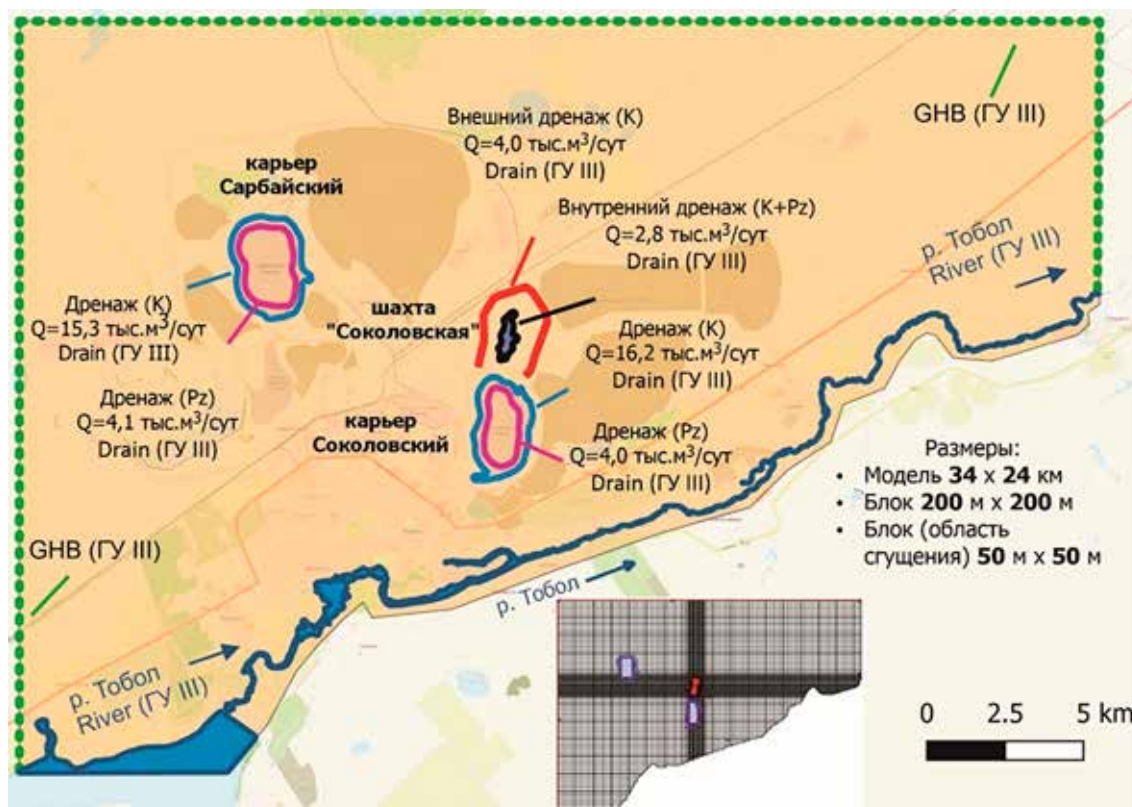


Рис. 1. Схема геофильтрационной модели района Соколовско-Сарбайского железорудного комплекса: Q – расход дренажа, тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$, K – эоцен-меловой водоносный комплекс, Pz – палеозойский водоносный комплекс. Зона обрушения на рисунке совпадает с внутренним дренажем. ГУ – граничное условие

Граничные условия

Внешние границы модели представлены границами III рода через соответствующее фильтрационное сопротивление на расстоянии, которое не противоречит рассматриваемому процессу осушения водоносных комплексов и позволяет учитывать расширение области депрессии в процессе осушения водоносных комплексов. Река Тобол, расположенная на юге моделируемой области, также моделировалась с помощью граничного условия III рода, параметры сопротивления донных отложений определялись в процессе калибровки модели.

Приток подземных вод к горным выработкам моделировался с помощью граничного условия третьего рода – дрены (рис. 1). Глубина их заложения соответствует отметкам прибортовых дренажей водоносных комплексов для карьеров, глубине очистных работ для зоны обрушения, отметкам подошвы эоцен-мелового водоносного комплекса для внешнего дренажного комплекса ш.

«Соколовская». Параметры сопротивления дрен подбирались в процессе калибровки модели.

Решение обратных задач

Исходными неизменными параметрами модели служили морфология и фильтрационные свойства моделируемых слоев, геометрические элементы модели и расчетной сетки и положение основных водотоков. В процессе моделирования уточнялись параметры граничных условий и фильтрационные свойства области дезинтегрированного массива зоны обрушения ш. «Соколовской». Критериями сходимости модели выступали: совпадение модельных и фактических среднегодовых притоков к дренажным устройствам и уровней подземных вод вблизи рудного поля ш. «Соколовская». Отклонение модельных притоков к дренажам от наблюдаемых составляет не более 3%. Отклонение модельных уровней подземных вод вблизи зоны обрушения составляет около 1 м.

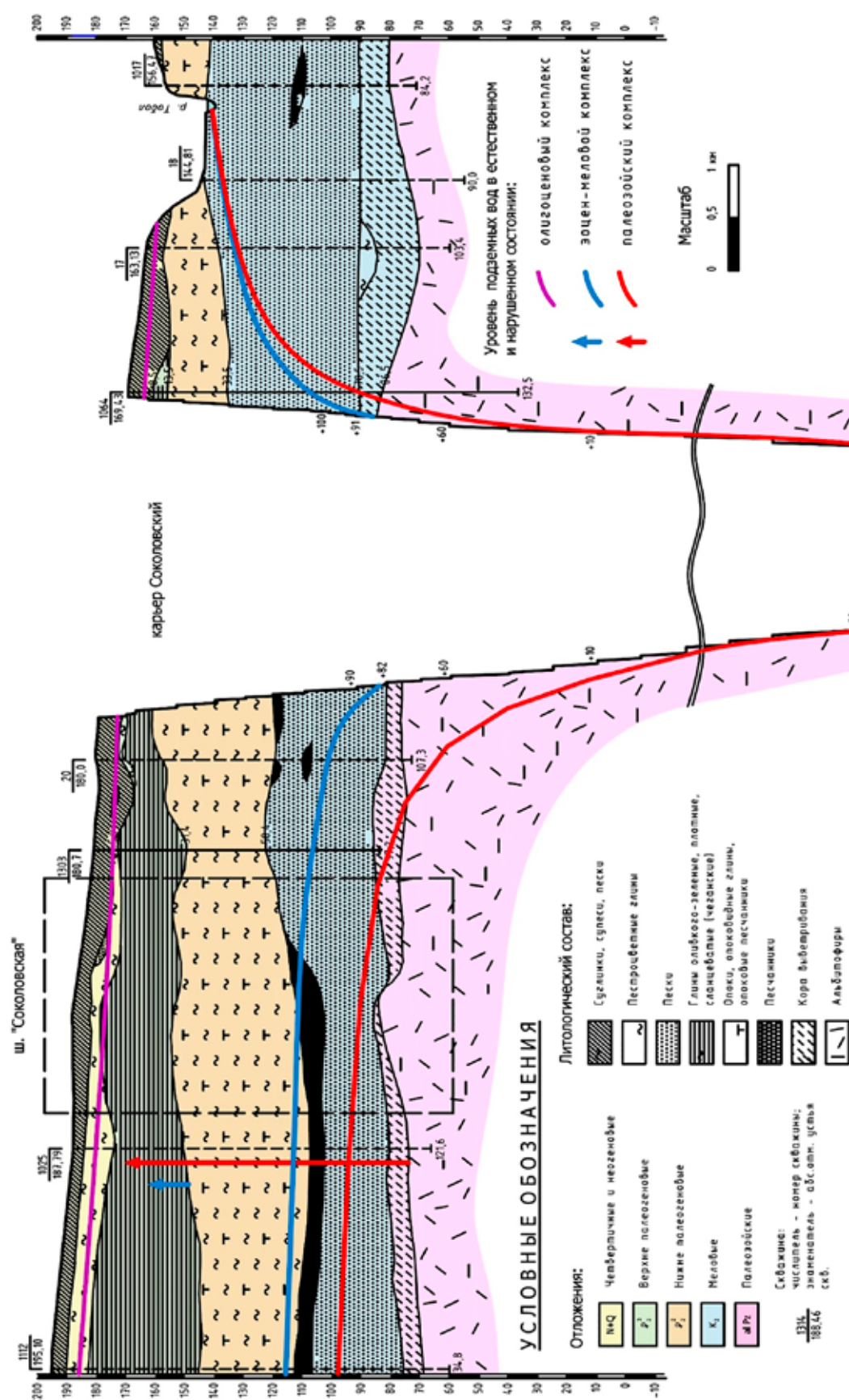


Рис. 2. Гидрогеологический разрез Соколовского месторождения по направлению Север – Юг

Результаты исследования и их обсуждение

Факторы, влияющие на водоприток к очистной зоне.

Для оценки влияния фильтрационных параметров зоны обрушения на приток к внутреннему контуру решена серия прямых задач гидрогеодинамического моделирования. Исследовалось влияние коэффициента фильтрации дезинтегрированного массива в зоне обрушения на изменение водопотока к зоне обрушения. Фильтрационное сопротивление дрен оставалось постоянным. Рассматривался диапазон от уменьшенных в 10 раз до увеличенных в 10 раз значений параметра фильтрации меловых песков в области ш. «Соколовская» (рис. 3).

Высокие фильтрационные свойства дезинтегрированного массива (относительно основных водоносных комплексов) не влияют на значения водопритоков к очистным работам (внутреннему дренажному контуру), низкие фильтрационные свойства (в десять раз ниже основного комплекса) приводят к значительному снижению притока к дренажной системе. Соответственно, основным фактором, определяющим водоприток, являются фильтрационные свойства эоцен-мелового комплекса.

Отметка уровня подземных вод эоцен-мелового комплекса в области рудного поля составляет в среднем 95 м. В эоцен-меловом водоносном комплексе по периметру зоны обрушения сохраняются остаточные

столбы высотой около 5–15 м и питание дезинтегрированного массива водами эоцен-мелового комплекса. Это обусловлено неоптимальным расположением внешнего дренажного контура относительно морфологических особенностей эоцен-мелового комплекса (рис. 4).

В окрестностях рудного поля подошва комплекса имеет сложный изрезанный характер рельефа. Имеются многочисленные возвышенности и впадины, а разброс отметок подошвы комплекса достигает 30 м. Несмотря на работу дренажа, положение уровня подземных вод обеспечивает значительный приток к зоне обрушения, который поступает через седловидные понижения между локальными повышениями рельефа.

Для нарушения гидравлической связи между эоцен-меловым водоносным комплексом и дезинтегрированным массивом зоны обрушения необходимо снижение уровня подземных вод по периметру шахтного поля до отметок подошвы водоносного комплекса на границе с зоной обрушения. Это позволит создать условия для сработки статических запасов в дезинтегрированном массиве зоны обрушения объемом 4,3 млн м³ и обеспечить повышение безопасности добычи руды. Отметки целевого уровня водопонижения составляют 82–84 м.

Понижение до этого уровня позволит нарушить гидравлическую связь между эоцен-меловым водоносным комплексом и зоной обрушения и тем самым снизить опасность прорывов обводненных масс в горные выработки.

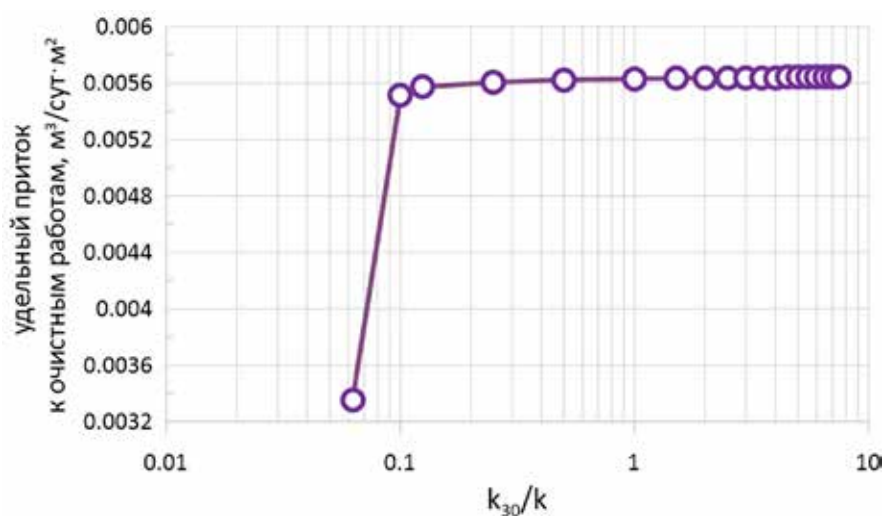


Рис. 3. Зависимость притоков к очистным работам от коэффициента фильтрации массива зоны обрушения: k_{30} — коэффициент фильтрации зоны обрушения, k — коэффициент фильтрации естественно залегающих отложений эоцен-мелового комплекса

Установление зависимостей между уровнем подземных вод в эоцен-меловом водоносном комплексе, водопритоками к дренажным устройствам и емкостными параметрами естественной геологической среды и дезинтегрированного массива зоны обрушения осуществлялось с помощью решения прогнозных задач. Для получения функциональной связи напоров в зоне обрушения и времени производились расчеты для нескольких значений упругой емкости эоцен-мелового водоносного комплекса и зоны обрушения.

Решение прогнозных задач подразумевало следующие исходные положения:

1. Цель – водопонижение в эоцен-меловом водоносном комплексе до отметки ниже среднего уровня подошвы комплекса в области зоны обрушения. Требуемый уровень водопонижения зависит от морфологии подошвы эоцен-мелового комплекса, представленной в области рудного поля корой выветривания палеозойских пород. Из положения изогипс подошвы комплекса видно, что на большей части границы зоны обрушения уровень подземных вод снизится до подошвы при отметках 82–84 м (рис. 4).

2. Водопонижение осуществляется с помощью дополнения к существующему дренажному контуру шести скважин, расход каждой из которых составляет $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($1200 \text{ м}^3/\text{сут}$). Скважины расположены в зонах локальных депрессий рельефа подошвы эоцен-мелового водоносного комплекса между дренажным кольцом и зоной обрушения. Расположение скважин в «низинах» подошвы комплекса обеспечивает положение забоя скважины ниже целевой отметки уровня при водопонижении (82–84 м). Скважины моделируются граничным условием второго рода.

3. Моделируемый временной интервал от начала откачки составляет 720 дней.

4. Определяется темп снижения напоров в области геометрического центра зоны воронкообразования.

5. Темп снижения уровней оценивается для трех прогнозных сценариев (вариантов), которые отличаются значениями упругой емкости определяющих гидрогеологических элементов. Базовый сценарий № 2 соответствует фактическим значениям емкости эоцен-меловых отложений и зоне обрушения.

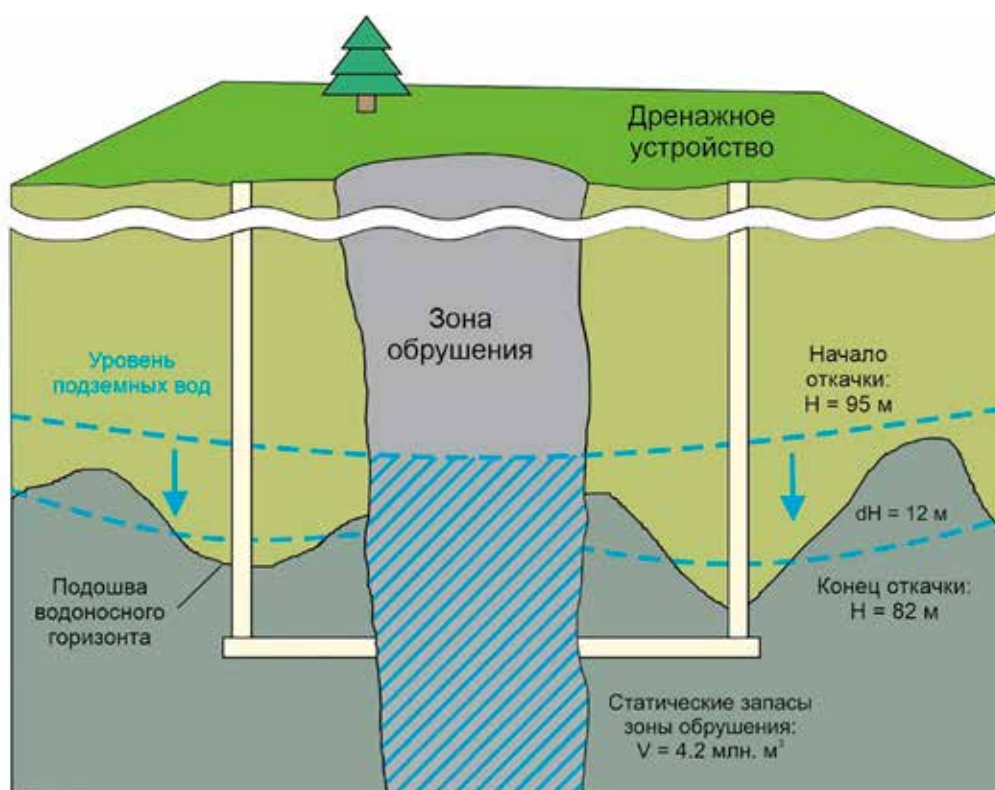


Рис. 4. Концепция модернизации дренажной системы шахты «Соколовская» с учетом особенностей морфологии подошвы эоцен-мелового водоносного комплекса. Справа шкала отметок подошвы эоцен-мелового комплекса

Емкостные параметры фильтрационной модели

№	Моделируемый элемент	k, м/сут	Упругая емкость		
			Прогноз № 1	Прогноз № 2	Прогноз № 3
1	Эоцен-меловой водоносный комплекс	0,7–6*	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
2	Зона обрушения	10	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$
3	Кора выветривания палеозойских пород (водоупор)	0,0005	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$
4	Верхняя часть трещиноватой зоны палеозойского водоносного комплекса	0,085	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$
5	Нижняя часть трещиноватой зоны палеозойского водоносного комплекса	0,005	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$

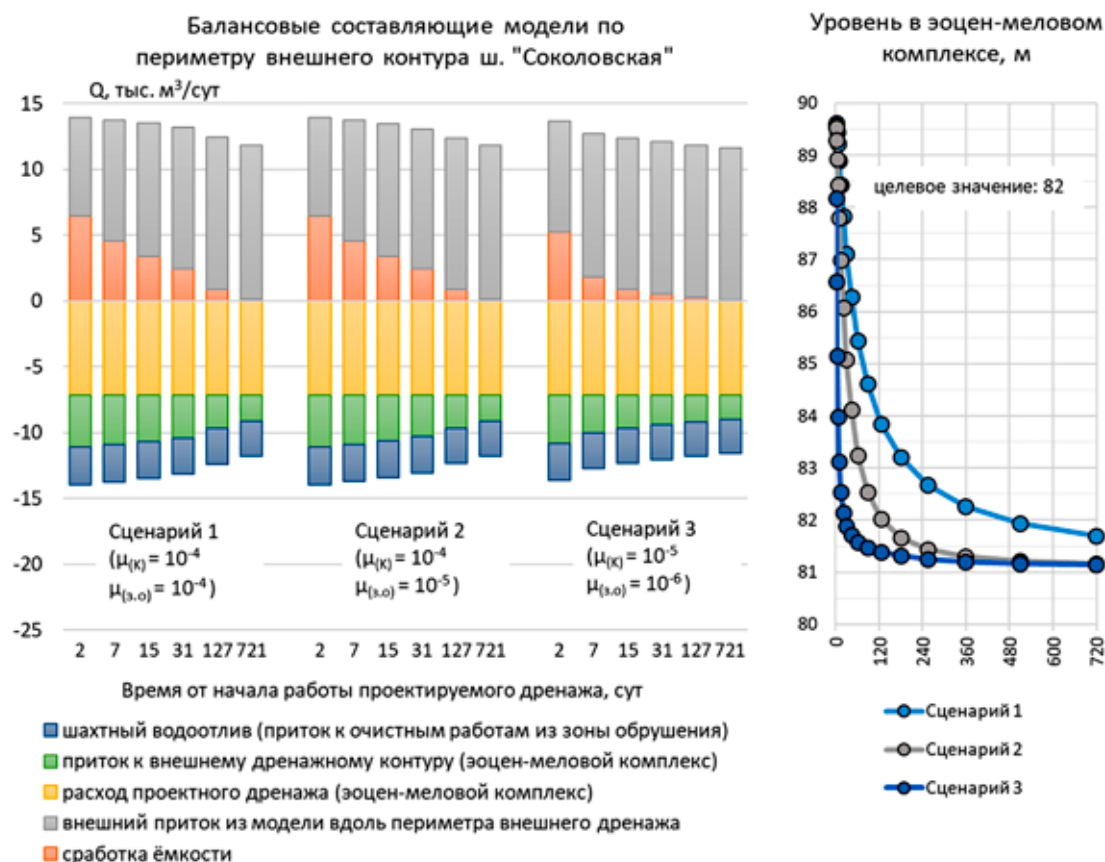


Рис. 5. Результаты прогнозного моделирования водоотлива (синий квадрат)

Пессимистичный сценарий № 1 предусматривает повышенную емкость дезинтегрированного массива зоны обрушения. Позитивный сценарий № 3 предполагает гравитационное сжатие (переотложение) эоцен-меловых отложений под влиянием многолетнего водоотлива и переотложение дезинтегрированного массива зоны обрушения (таблица).

Значения емкости коры выветривания и палеозойского водоносного комплекса оставались постоянными для всех трех сценариев.

Результаты моделирования

В результате решения прогнозных фильтрационных задач получены распределения напоров в эоцен-меловом водоносном комплексе, палеозойском водоносном комплексе на начало и конец осушения, а также графики понижения уровня подземных вод.

Скорость изменения уровня подземных вод значительно зависит от емкостных показателей эоцен-меловых песков и дезинтегрированного массива.



Рис. 6. Методика обоснования дренажа дезинтегрированного массива зоны обрушения

Из графиков снижения уровней в геометрическом центре зоны обрушения видно, что при осушении эоцен-мелового водоносного комплекса поля шестью скважинами с общим расходом 7200 м³/сут снижение уровней до целевого показателя происходит менее чем за два года от начала откачки даже при худшем варианте № 1 (рис. 5).

Установлено, что при дренаже эоцен-мелового комплекса на северном фланге Соколовского месторождения снижение уровня вод эоцен-мелового комплекса до отметки подошвы комплекса (82 м) достигается не позднее чем за 510 суток.

Методика обоснования дренажа зоны обрушения

Проведенные исследования позволили разработать методику обоснования осушения зоны обрушения для борьбы с про-

рывами обводненных пород. Методика позволяет принимать инженерные решения по осушению месторождений, которые разрабатываются системами с обрушением кровли: с блочным обрушением и с этажным обрушением (рис. 6).

Методика базируется на оценке фильтрационных и емкостных параметров дезинтегрированного массива зоны обрушения и окружающих пород с помощью моделирования фильтрационных процессов в нестационарной постановке.

Заключение

В работе исследованы гидрогеодинамические условия системы «дезинтегрированный массив зоны обрушения – естественная геологическая среда», которые формируются комплексом гидрогеологических и горно-

технических условий при отработке рудных месторождений системами с обрушением. Работа проведена с целью обоснования методики опережающего водопонижения для предотвращения прорывов воды и обводненных пластичных пород в горные выработки на примере Соколовского железорудного месторождения.

Предложена концептуальная геофильтрационная модель системы «дезинтегрированный массив зоны обрушения – естественная геологическая среда» для описания процессов фильтрации и обоснования дренажных мероприятий.

На геофильтрационной модели Соколовско-Сарбайской рудной зоны определено, что основным фактором, влияющим на приток к очистной зоне, являются фильтрационные свойства основного водоносного комплекса.

На основе натурных данных и сценарных исследований обоснованы целевые уровни подземных вод, зависящие от морфологии подошвы эоцен-мелового комплекса. Определена требуемая продолжительность работы, конфигурация и производительность системы дренажа, обеспечивающие снижение напоров до необходимого уровня.

Разработана методика обоснования дренажных мероприятий для снижения опасности прорывов из зоны обрушения. Отличительными особенностями методики являются учет и оценка влияния фильтрационных и емкостных параметров дезинтегрированного массива в результате решения обратных задач и учет особенностей морфологии подошвы водоносных комплексов для эффективного снижения напоров в дезинтегрированном массиве.

Список литературы

1. Мироненко В.А., Мольский Е.В., Румынин В.Г. Горно-промышленная гидрогеология. М.: Недра, 1989. 287 с.
2. Ефремов Е.Ю., Мельник Д.Е. Определение опасных условий отвалообразования на земной поверхности в зоне обрушения действующего подземного рудника // Горный журнал. 2020. № 2. С. 74–79. DOI: 10.17580/gzh.2020.02.11.
3. Brown E.T. Block Caving Geomechanics. Queensland: Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, The University of Queensland, 2007. 696 p.
4. Казикаев Д.М. Геомеханические процессы при совместной и повторной разработке руд. М.: Недра, 1981. 288 с.
5. Holder A., Rogers A.J., Barlett P.J., Keyter G.J. Review of mud rush mitigation on Kimberley's old scraper drift block caves. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2013. Vol. 113. No. 7. P. 529–537.
6. Butcher R., Stacey T.R., Joughin W.C. Mud rushes and methods of combating them. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. 2005. Vol. 105. P. 817–824.
7. Edgar I., Prasetyo R., Wilkinson M. Deep Ore Zone mine wet ore mining empirical learnings, mining process evolution and development pathway. Proceedings of the Eighth International Conference & Exhibition on Mass Mining, University of Chile, Santiago, 2020. P. 385–393. DOI: 10.36487/ACG_repo/2063_24.
8. Widodo L.E., Widijanto E., Faadhilal I., Sunyoto W. Fuzzy-Based Prediction of Spatio-Temporal Distribution of Wet Muck in Block Cave Mine of PT Freeport Indonesia. Journal of Engineering and Technological Sciences. 2018. Vol. 50. No. 2. P. 291–313. DOI: 10.5614/j.eng.technol.sci.2018.50.2.9.
9. Castro R., Betancourt F., Gómez R., Salas O., Zarabia J. Experimental study of mudrush mechanisms under different moisture contents in block caving. International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2023. Vol. 37. P. 243–254. DOI: 10.1080/17480930.2023.2166761.
10. Castro R., Basaure K., Palma S., Vallejos S. Geotechnical characterization of ore related to mudrushes in block caving mining. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2017. Vol. 117. No. 3. P. 275–284. DOI: 10.17159/2411-9717/2017/v117n3a9.
11. Castro R., Garces D., Brzovic A., Armijo F. Quantifying Wet Muck Entry Risk for Long-term Planning in Block Caving. Rock Mechanics and Rock Engineering volume. 2018. Vol. 51. P. 2965–2978. DOI: 10.1007/s00603-018-1512-3.
12. Ефремов Е.Ю. Характеристика распределения прорывов глинистых отложений // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 331. № 12. С. 126–134. DOI: 10.18799/24131830/2019/12/2409.
13. Далатказин Т.Ш. Исследование минерального состава глинистых отложений коры выветривания при выполнении геодинамической диагностики для обеспечения безопасности объектов недропользования // Проблемы недропользования. 2018. Т. 3. С. 39–43. DOI: 10.25635/2313-1586.2018.03.039.
14. Ефремов Е.Ю. Обоснование завершения критерия воронкообразования // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2018. Т. 4. С. 12–21.
15. Едигенов М.Б. Гидрогеология рудных месторождений Северного Казахстана. Костанай, 2013. 308 с.