

О ПРОБЛЕМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОССТАЮЩИХ ДРЕНАЖНЫХ СКВАЖИН ПРИ ОСУШЕНИИ МИХАЙЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КУРСКАЯ МАГНИТНАЯ АНОМАЛИЯ)

В. В. Кушнерчук,

АО «Михайловский ГОК им. А. В. Варичева», г. Железногорск, Россия;

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия;

В. В. Хаустов, В. Н. Тюпин,

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия;

Л. А. Семенова, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия;

А. И. Карнюшкин, Московский государственный технический университет им. М. Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация: Приведены результаты исследований функционирования дренажного комплекса Михайловского железорудного месторождения (КМА). В связи со значительными размерами карьерного поля, а также для уменьшения объема вскрыши его осушение осуществляется комбинированно-поверхностным и подземным способом. Установлено, что в настоящее время среднегодовой приток к шахтному водоотливу изменяется в пределах 2150...2830 м³/ч, из которых большая часть дренажных вод поступает из батского водоносного горизонта (основной обводняющий коллектор – 77 % водопритока) наряду с обводнением атмосферными осадками, надкелловейским водоносным комплексом и рудно-кристаллическими трещинными водами. Установлена относительная стабилизация режима водоносных комплексов и объемов водопритоков в карьер МГОКа за последние десятилетия. Показано негативное воздействие горного предприятия, повлекшее образование депрессий регионального масштаба и существенное истощение запасов подземных вод нижнего водоносного комплекса. Выявлена основная производственная проблематика работы подземного дренажного комплекса, связанная со сложностями сопряженного функционирования с карьером, а также с периодическими нарушениями нормального режима эксплуатации восстающих дренажных скважин вплоть до полного выхода из строя некоторых из них. Впервые натурными исследованиями (внутрискважинная видеофиксация) выявлены ранее неизученные деформации обсадных колонн восстающих дренажных скважин. Установлены причины деформаций, разработаны конкретные мероприятия по повышению надежности работы восстающих дренажных скважин. Намечены направления развития дальнейших исследований. Результаты исследований могут быть востребованы при дренаже восстающими дренажными скважинами не только на КМА, но и на прочих месторождениях, подобных по геолого-гидрогеологическим условиям.

Ключевые слова: месторождение, гидрогеологические условия, подземные воды, водоприток, дренаж, восстающие дренажные скважины, деформации.

Для цитирования: О проблеме эксплуатации восстающих дренажных скважин при осушении Михайловского месторождения (Курская магнитная аномалия) / В. В. Кушнерчук, В. В. Хаустов, В. Н. Тюпин [и др.] // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №3. С. 80–88. DOI: 10.56195/20793332_2024_3_80_88.

ABOUT THE PROBLEM OF OPERATION OF RISING DRAINAGE WELLS DURING DRAINAGE OF THE MIKHAILOVSKOYE FIELD (KURSK MAGNETIC ANOMALY)

V. V. Kushnerchuk, JSC Mikhailovsky Mining and Processing Plant named after. A. V. Varichev, Zheleznogorsk, Russia;

Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia;

V. V. Khaustov, V. N. Tyupin, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia;

L. A. Semenova, Southwestern State University, Kursk, Russia;

A. I. Karnyushkin, Moscow State Technical University named after. M.E. Bauman, Moscow

Abstract: The results of a study of the functioning of the drainage complex of the Mikhailovsky iron ore deposit at the KMA are presented. Due to the significant size of the quarry field, as well as to reduce the volume of overburden, its drainage is carried out using a combined surface and underground method. It has been established that currently the average annual inflow to the mine drainage varies within the range of 2150...2830 m³/h, of which most of the drainage water comes from the Bathonian aquifer (the main water supply reservoir – more than 70 % of the water inflow) along with watering by precipitation, the supra-Callovian aquifer complex and ore-crys-

talline fractured waters. The relative stabilization of the regime of aquifer complexes and the volume of water inflows into the MGOK quarry over the past decades has been established. The negative impact of the mining enterprise is shown, which led to the formation of depressions on a regional scale and a significant depletion of groundwater reserves in the lower aquifer complex. The main production problems in the operation of the underground drainage complex have been identified, related to the difficulties associated with the operation of the quarry, as well as periodic disruptions to the normal operation of rising drainage wells, up to the complete failure of some of them. For the first time, field studies (downhole video recording) revealed previously unstudied deformations of the casing columns of raised drainage wells. The causes of deformations have been established, and specific measures have been developed to improve the reliability of raised drainage wells. Directions for the development of further research are outlined. The research results can be used for drainage by rising drainage wells not only in the KMA, but also in other fields with similar geological and hydrogeological conditions.

Keywords: deposit, hydrogeological conditions, groundwater, water inflow, drainage, rising drainage wells, deformations.

For citation: Kushnerchuk V. V., Khaustov V. V., Tyupin V. N., et al. About the problem of operation of rising drainage wells during drainage of the Mikhailovskoye field (Kursk magnetic anomaly). Surveying and subsoil use. 2024;(3):80-88. (In Russ.). DOI: 10.56195/20793332_2024_3_80_88.

Общеизвестно, что Курская магнитная аномалия (КМА) является крупнейшей железорудной провинцией в мире. Ее площадь составляет 125 тыс. км², в пределах которой локализовано 18 месторождений и 26 перспективных участков с общими запасами порядка 51 млрд тонн. Без сомнения, эта уникальная железорудная провинция еще на протяжении многих десятилетий будет оставаться крупнейшим минерально-сырьевым бассейном России, в связи с чем актуальность дальнейшего изучения и совершенствования горно-геологических работ, транспорта, внедрения современных технологий производства руды не требует дополнительных доказательств.

Одним из крупнейших железорудных месторождений КМА является Михайловское месторождение (северо-запад Курской области), промышленное освоение которого открытым способом сопровождается выемкой и перемещением огромных масс горных пород и руд, дренированием внушительного количества подземных вод, что существенно изменяет гидрогеологические и экологические условия района. Развитие отмеченных технологических процессов носит прогрессирующий характер в пространственно-временном отношении и негативно влияет, в частности, на продолжительность жизненного цикла горных выработок подземного дренажного комплекса. В этой связи для надежного обеспечения выполнения планов Михайловского горно-обогатительного комбината им. А. В. Варичева (далее – МГОК) по добыче 50 млн тонн руды в год на период до 2032 года [1] исследования гидрогеологических и геомеханических процессов в пределах функционирующего горного предприятия весьма актуальны.

Объект исследований

В геолого-структурном отношении район Михайловского железорудного месторождения располагается в северо-западной части Воронежской антеклизы и частично ограничивающих ее прогибов Московской синеклизы и Днепровско-Донецкой впадины [2]. Месторождение приурочено к западному борту Михайловской структуры, к участку ее флексуобразного изгиба, осложненному продольными и поперечными разломами, дополнительной складчатостью [3].

Основные гидрогеологические особенности исследуемого района обусловлены наличием мощного осадочного чехла, перекрывающего месторождение, в котором выделены водоносные горизонты в песчаных отложениях четвертичной, меловой и юрской систем, в песчаных и карбонатных образованиях девонской системы [2, 4, 5]. Ниже в кристал-

лическом фундаменте прослеживается водоносная зона трещиноватости в архей-протерозойских изверженных и метаморфических породах.

Выдержанная глинистая келловейская толща разделяет гидрогеологический разрез на два водоносных комплекса:

- ✦ надкелловейский, включает безнапорные горизонты в четвертичных и меловых отложениях,
- ✦ подкелловейский напорно-безнапорный – комплекс водоносных горизонтов в батских, девонских и архей-протерозойских породах (рис. 1, см. цветную вставку на стр. 26).

Надкелловейский водоносный комплекс расположен в зоне активного водообмена и питается за счет инфильтрации атмосферных осадков и талых вод, а дренируется бортами карьера и гидрографической сетью. Только на отдельных локальных участках в районе карьера образовались незначительные по водопонижению (до 10...15 м) и площади (от сотен метров до 1-2 км в диаметре) депрессионные воронки, а их характер в настоящее время относительно стабилен – водоотбор полностью компенсируется метеогенным подпитыванием. Надкелловейский комплекс водоносных горизонтов отличается неоднородностью фильтрационных параметров, невыдержанностью по мощности и литологическому составу [4]. Верхнеюрский водоупор, отделяющий верхнюю гидродинамическую зону от нижней, имеет региональное распространение и сложен толщей келловейских глин мощностью 30...50 м.

Непосредственное прилегание юрских и девонских отложений к выступу рудно-кристаллической толщи с погружением к периферии месторождения на 30...60 м создает все условия для непосредственной гидравлической связи между всеми водоносными горизонтами (рис. 1).

Режим водоносных горизонтов, расположенных ниже верхнеюрских глин, обусловлен незначительными естественными ресурсами из-за затрудненных условий их восполнения (область питания расположена в 30 км северо-восточнее месторождения). Однако на фильтрационный режим нижнего водоносного комплекса оказывают влияние подземные воды верхнего водоносного комплекса посредством перетоков на участках прилегания юрских и девонских отложений на выступ рудно-кристаллической толщи, отмеченного выше, а также отсутствие или деградация юрских глинистых отложений в пределах долин рек [6, 7].

Горные работы ведутся в трех карьерах: центральном, соединительном и южном; северный карьер законсервирован и используется для складирования окисленных кварцитов.

Длина карьера по контуру вскрыши составляет 6,0 км, ширина — 2,6 км, глубина — 340 м, площадь достигла 15,6 км². В связи со значительными размерами карьерного поля, а также для уменьшения объема вскрыши и повышения экономической эффективности добычи руды его осушение осуществляется комбинированно поверхностным и подземным способом.

Осушение отложений надкелловейского комплекса, сбор дождевых и паводковых вод осуществляется с помощью прибортовых дренажных канав общей протяженностью совместно с канавами в карьере, включая нагорные канавы, более 60 км. Вода из них отводится к отстойникам и зумпфам водосбросных скважин и по ним перепускается в горные выработки подземного дренажного комплекса (ПДрК). Последний включает в себя 5 шахтных стволов и 67,4 км дренажных горных выработок (в обслуживании находятся 37,5 км штреков), расположенных в следующих уровнях: горизонт +50 м, горизонт -20 м, горизонт -100 м.

Шахтный водоотлив складывается из подземных вод, поступающих из восстающих дренажных скважин (далее ВДС) и из трещинных зон кристаллических пород, а также за счет прибортового дренажа апт-сеноманского горизонта и сбора атмосферных осадков (среднее значение за последние пять лет — 21 068 175 м³). Подземные воды при этом составляют 79 % от общего объема водоотлива, а наибольшая доля в нем приходится на батский водоносный горизонт — до 77 %. Часть дренажных вод используется на технические нужды комбината — в среднем 395 729 м³ воды в год.

Высокоэффективный экологически безопасный способ осушения месторождений КМА на основе систем восстающих дренажных скважин, сооружаемых из подземных горных выработок и эксплуатируемых в режиме постоянного снижения уровня вод дренируемого горизонта, разработан ОАО «ВИОГЕМ» [8-12]. Способ отлично себя зарекомендовал и широко внедрен, в числе прочего и в системе осушения

карьерного поля МГОК [10]. Однако в процессе эксплуатации ВДС выяснилось, что некоторые из них могут частично или полностью выходить из строя.

Негативное воздействие горного предприятия и крупных водозаборов на сегодняшний день привело к образованию депрессий регионального масштаба и существенному истощению запасов подземных вод нижнего водоносного комплекса [6]. Так, воронка депрессии в батском водоносном горизонте имеет в плане форму эллипса, вытянутую в северо-восточном и юго-западном направлениях, с относительно крутыми уклонами крыльев в приконтурной части карьера, особенно северной, и более пологими по периферии. Размеры воронки по большой оси достигают 80...90 км, по малой — 60...70 км, при этом ее контур достиг области питания водоносного горизонта, а водопонижение изменяется от 75 до 110 м. Уже на значительной площади вокруг карьера батский водоносный горизонт приобрел безнапорный характер, зона безнапорного режима прослеживается с севера на юг на 18...20 км, с запада на восток — на 12 км. Это притом что в естественных условиях батский водоносный горизонт характеризовался напорным режимом с возрастанием напоров в юго-западном направлении до 200 м и более. Однако в целом темп роста депрессий в подкелловейских водоносных горизонтах при современных объемах водоотлива замедляется и стабилизируется [6, 7].

Гидрогеологические условия месторождения можно характеризовать как сложные, а естественный режим подземных вод в пределах месторождения в результате мероприятий по его осушению существенно нарушен.

Материал и методы исследований

Наиболее достоверные сведения о техническом состоянии водопонижающей восстающей скважины могут быть получены только с применением средств прямого (визуального) обследования внутренней поверхности обсадной

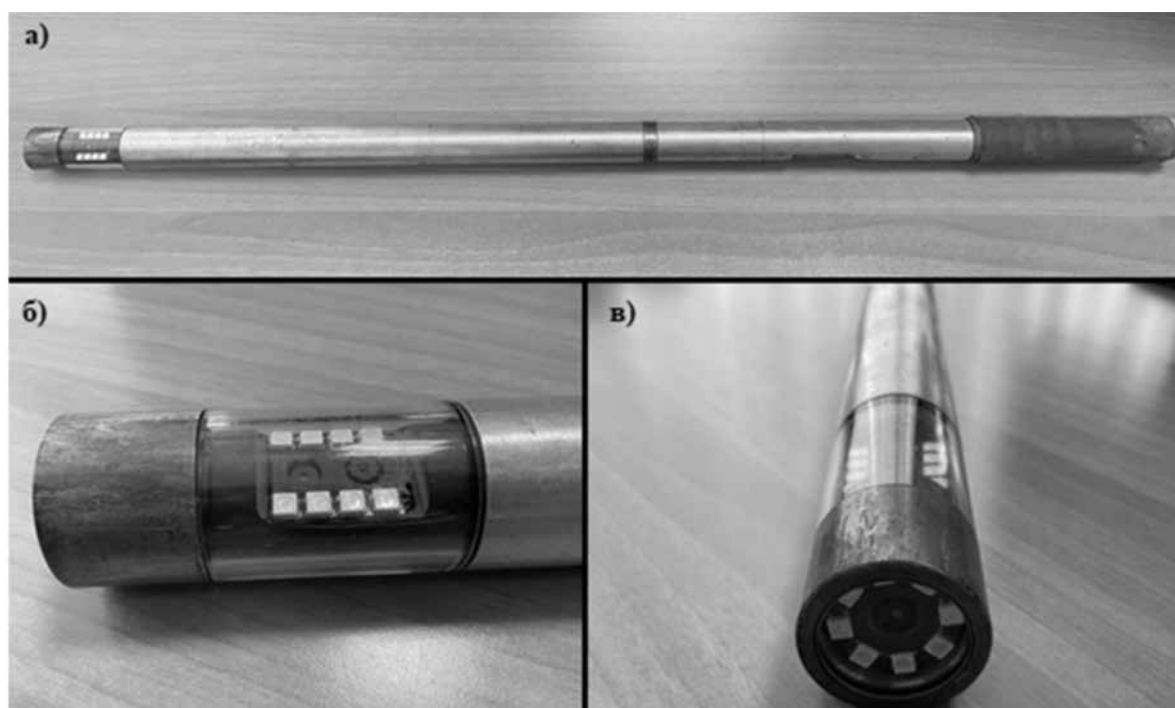


Рис. 2. Видеометрический скважинный прибор ВСР-200D: а - общий вид прибора; б - боковая видеокамера; в - фронтальная видеокамера

Fig. 2. Videometric downhole tool VSP-200D: a - general view of the device; b - side video camera; c - front video camera

колонны и фильтровой зоны ствола с использованием современных фото- и видеоустройств, обеспечивающих получение исходных данных в виде фотопанорам и видеозаписей [13–15].

Для определения причин нарушения технологического режима работы и аварий восстающих дренажных скважин выполнено их обследование с использованием фото- и видеофиксации. Обследование производилось методом видеоскопии видеозондом ВСП-200D, разработанным специалистами ВИОГЕМ (г. Белгород). Последний предназначен для изучения скважин глубиной до 200 метров. Видеозонд снабжен фронтальной видеокамерой с разрешением 1000 tvl; боковой видеокамерой, вращающейся на 360°, с разрешением 100 tvl, 5mp; процессором, принимающим команды оператора и управляющим вращением боковой камеры, переключением между камерами, записью на флеш-карту памяти в графическом формате, освещенностью; транслятором видеосигнала по кабелю UTP (рис. 2).

Подготовка прибора и выполнение видеосъемки в скважине выполняется по методике, разработанной ОАО «ВИОГЕМ», суть которой заключается в следующем.

Зонд подается в восстающую скважину на высоту 100...130 м средством механизации с цепным приводом через задвижку на пластиковых или алюминиевых штангах, наращиваемых замковым соединением (рис. 3).



Рис. 3. Подача зонда в скважину

Fig. 3. Feeding the probe into the well

Боковая камера вращается на 360° относительно оси прибора, с ее помощью оператор телесистемы визуально обследует стенки скважин на предмет выявления наруше-

ний обсадной колонны. Тыловая камера служит для технических целей: через нее подается изображение скважинного пространства непосредственно перед зондом. Переключение между камерами, управление вращением выполняется оператором телесистемы с помощью пульта управления. Глубина фиксации точки наблюдения осуществляется путем суммирования расстояния от точки крепления корпуса видео зонда к первой штанге до оптической оси боковой камеры, совокупной длины полностью вошедших в скважину штанг и длины видимого участка последней наращенной штанги с учетом высоты кондуктора спускоподъемного механизма.

Видеометрические наблюдения в скважине сопровождаются ведением полевого журнала, в котором отмечаются глубины нарушений, способствующих выходу скважины из строя, фиксируются их интервалы, отмечаются место и время съемки объекта путем вращения боковой видеокамеры, дается краткая описательная характеристика объекта.

Результаты исследований

По результатам рекогносцировочного обследования вышедших из строя дренажных скважин выявлено, что в 9 из 22 скважин отсутствовала возможность погружения прибора в связи с закрытой задвижкой, наличием полога и пр.

В доступных 13 скважинах выполнено обследование стенок обсадной колонны при помощи видеометрии (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Результаты осмотра скважин при помощи видео зонда
Results of well inspection using a video probe

№ скважины / Well No	Год бурения / Year of drilling	Местонахождение / Location	Пикет / Picket	Абс. отметка, м / Abs. elevation, m	Начальный дебит, м³/ч / Initial flow rate, m³/h	Глубина погружения прибора, м / Device immersion depth, m
В-132	1990	Северо-центральный штрек № 1	8	6	120	55
В-197	1992	Квершлаг ствола № 6	3	12,6	80	49
В-218	1993	Западный штрек № 19	4	-14,3	20	99,8
В-253	1995	Юго-западный штрек	75	-10,73	80	68,5
В-265	1996	Северо-западный штрек № 2	67	6,9	100	13
В-267	1996	Северо-западный штрек № 2	61	6,2	25	49
В-287	1998	Северо-западный штрек № 2	73	8,1	20	77,5
В-299	2000	Квершлаг ствола № 6	24	14,45	100	50,5
В-315	2002	Квершлаг ствола № 6	7	12,78	50	34
В-320	2003	Юго-западный штрек	86	-9,92	50	5,5
В-324	2004	Северо-центральный штрек № 1	4	8	10	73
В-351	2006	Северо-центральный штрек № 1	8	9,9	35	8,5
В-391	2011	Западный штрек № 19	8	-14,1	50	71,5

Выявлены разрывы и смещения обсадных колонн. Разрывы располагаются в пределах аргиллитистых глин девонского возраста. В качестве примера приведем скважину

В-391, пробуренную в западном штреке № 19 в 2011 году на глубину 101 м. Начальное бурение велось шарошечным долотом 151 мм на глубину 3,1 п. м, затем в скважину был установлен кондуктор 146 мм, который был раскреплен в скважине согласно паспорту. Устье скважины оборудовано сальниковым устройством с задвижкой на отводе. Далее бурение велось шарошечным долотом 132 мм до глубины 101 м. Батские пески были подсечены на 95-м метре бурения. Скважина обсажена колонной труб 89 мм, в интервале 95-101 м установлена фильтровая колонна длиной 6 п. м, состоящая из 5 щелевых фильтров по 1,2 м каждый.

Результат видеофиксации разрыва обсадной колонны восстающей дренажной скважины В-391 представлен на рисунке 4.



Рис. 4. Обрыв обсадной колонны скважины В-391

Fig. 4. Broken well casing B-391

Снижение дебита скважины В-391 во времени представлено на рисунке 5.

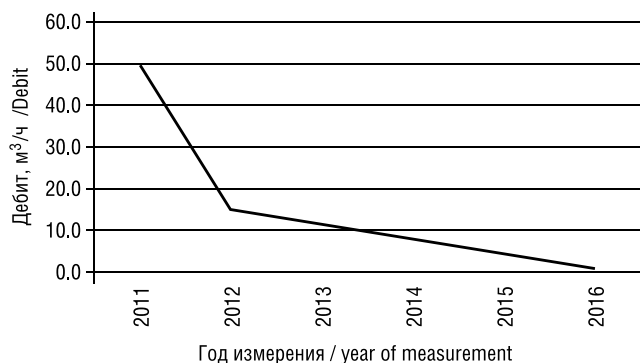


Рис. 5. График снижения дебита по годам скважины В-391

Fig. 5. Graph of flow rate reduction by year of well B-391

Обсуждение результатов исследований

Система осушения карьера МГОК должна обеспечить безопасные условия ведения вскрышных и добычных работ на расчетный период отработки месторождения, а также благоприятные условия эксплуатации горно-добычного и гор-

нотранспортного оборудования, машин и механизмов. Длительное функционирование дренажного комплекса карьера способствует, с одной стороны, образованию и развитию депрессионных воронок в водоносных горизонтах и комплексах, увеличению мощности обширной зоны аэрации, увеличению градиентов напоров и скорости потоков, то есть формированию контрастных техногенных гидрогеодинамического и гидрогеохимического режимов. В свою очередь, техногенный гидрогеологический режим способствует активизации разнообразных инженерно-геологических процессов: осыпей, обвалов, оползней, оплывин, суффозии, объемных деформаций в массивах пород и пр., которые способны приводить, в частности, к нарушению нормальных условий эксплуатации восстающих скважин подземного дренажного комплекса (далее - ПДрК) и прочим нежелательным последствиям. С другой стороны, в результате постоянного развития фронта горных работ и углубления карьера подземные горные выработки ПДрК общей протяженностью около 3 км уже оказались в зоне подработки, что самым негативным образом отражается на состоянии и эффективности функционирования системы осушения карьера в целом.

Состояние обслуживаемых подземных горных выработок ПДрК в целом удовлетворительное. Однако практика эксплуатации ПДрК свидетельствует о том, что основная производственная проблематика связана с подработкой его горных выработок карьером, а также с выходом из строя некоторых ВДС.

В процессе развития фронта горных работ в карьере при его углублении неизбежно погашение дренажных горных выработок, попадающих в зону опасного воздействия при приближении открытых горных работ к подземной выработке на расстояние, равное размеру охранного целика, рассчитываемого по сейсмическому действию массовых взрывов в карьере [16-22]. Процессы погашения дренажных горных выработок — отдельное исследование, результаты которого будут подробно рассмотрены в следующей публикации.

По снижению дебита скважины можно судить, что разрыв обсадной колонны скважины произошел в 2012 году (резкое падение дебита), и впоследствии происходила ее кольматация глинистыми образованиями, вплоть до полного прекращения истечения подземных вод из батского горизонта в 2016 году. Анализ дебитов скважин выявил их различия: в одних ВДС расход уменьшался постепенно, в других дебит резко падал. Снижение расхода объясняется кольматацией скважины глинистыми массами, образовавшимися в результате разрыва обсадной колонны в пределах пестроцветных алевролитистых глин (D3), их обводнением с последующим вымыванием в ствол скважины. Далее глинистый материал осаждался на стенках скважины и образовывались глинистые пробки, сопровождающиеся резким падением ее дебита (см. рис. 5). Постепенное снижение дебита некоторых скважин связано с повреждением их фильтра непосредственно в пределах батского водоносного горизонта, что может свидетельствовать о масштабных объемных деформациях в стратонах, охватывающих более мощную пачку слоев, нежели представлялось ранее.

В целом появление подобных разрывов связано с геомеханическим и инженерно-геологическим факторами в связи с набуханием глин при попадании в них воды из батского во-

доносного горизонта. В результате разрыва обсадных колонн дренажных скважин оставшаяся в водоносном горизонте незакольматированная фильтровая часть скважины обеспечивает дополнительное обводнение девонских отложений и зоны дезинтеграции скального горного массива, так как происходит процесс дополнительного увлажнения и обводнения затрубного пространства в течение всего времени их эксплуатации. Последнее не может не отражаться на снижении физико-механических характеристик обводняемых пород. Также не исключено влияние сейсмического воздействия буровзрывных работ на геомеханические процессы в прибортовой зоне карьера [21, 22]. Разрывы обсадных колонн свидетельствуют о наличии смещений в слоях девонского возраста, что требует расширения существующей сети глубинного геомеханического мониторинга с последующим созданием численной гидрогеомеханической модели массива с ВДС для прогнозирования негативных деформационных процессов.

Предложения

Натурные исследования восстающих дренажных скважин ПДРК МГОК позволили впервые выявить ранее неизученные деформации их обсадных колонн с последующим выбыванием дрен из строя. Безусловно, последнее является причиной снижения эффективности работы всего ПДРК, поэтому требуются усилия по последовательному воспроизводству утраченных восстающих дренажных скважин.

Намечены следующие направления исследований:

- ✦ совершенствование конструкции фильтровых колонн с подбором фильтровой зоны для недопущения прорывов воды и выноса обводненных пород по стволу скважины;
- ✦ изготовление фильтров без термической обработки, что увеличит заданную первоначальную скважность, целостность и водопропускную способность установленного фильтра;
- ✦ увеличение частоты мониторинга дренажных скважин, в частности дебита для наиболее точного определения времени их деструкции;
- ✦ расширение области исследований геомеханических процессов в пределах всего прибортового массива по дополнительной сети глубинного геомеханического мониторинга с увеличением ее заглубления вплоть до зоны выявленных разрывов обсадных колонн;
- ✦ разработка численных геомеханической и гидрогеологической моделей в пределах исследуемых массивов горных пород с учетом дополнительной обводненности зоны дезинтеграции скального горного массива по причине вышедших из строя восстающих дренажных скважин [1, 4, 6];
- ✦ пролонгация видеообследований всех доступных для мониторинга восстающих дренажных скважин в пределах всего ПДК в целях геометризации зон деформаций и обсадных колонн в плане и по глубине;
- ✦ организация проведения измерений внутреннего сечения обсадной колонны на определенных интервалах в целях выяснения истинных причин разрушения восстающих дренажных скважин.

В качестве оперативных рекомендаций в связи со сложившейся непростой геомеханической ситуацией в массивах размещения ВДС можно предложить:

- ✦ продолжить видеообследования всех доступных для изучения ВДС в пределах ПДРК для геометризации зон деформаций и обсадных колонн в плане и по глубине;
- ✦ увеличить частоту замеров дебитов водопонижающих скважин для наиболее точного выявления времени выхода их из строя;
- ✦ проводить измерения внутреннего сечения обсадной колонны на определенных интервалах в целях уточнения причин разрушения ВДС;
- ✦ совершенствовать конструкции фильтровых колонн с подбором фильтровой зоны для недопущения прорывов воды и выноса обводненных пород по стволу скважины.

Результаты исследований могут быть востребованы при дренаже восстающими дренажными скважинами не только на КМА, но и на прочих месторождениях, похожих по геолого-гидрогеологическим условиям.

Выводы

1. Гидрогеологическое поле Михайловского месторождения железных руд занимает сводовую часть Воронежского массива и частично его склоны и представляет собой открытую гидрогеологическую структуру с интенсивным вертикальным водообменом. В его пределах зона пресных вод охватывает весь осадочный комплекс пород и верхнюю трещиноватую зону кристаллического фундамента (средняя мощность зоны порядка 200...300 м).

2. Михайловское железорудное месторождение характеризуется достаточно сложным геологическим строением (несмотря на горизонтальное и субгоризонтальное залегание стратифицированной толщи осадочного чехла), являющимся результатом длительной геотектонической эволюции всего региона КМА и оказывающим значительное влияние на гидрогеологические условия и открытую разработку железных руд в целом.

3. Фактические данные последнего десятилетия и неоднократные оценки водопритоков (ВИОГЕМ, НТЦ НОВОТЭК, АОЗТСП «Геолинк», ООО «СПб-Гипрошахт») подтверждают представление об относительной стабилизации режима водоносных комплексов и объема водопритоков в карьер МГОК, что дает основание предположить, что в ближайшие годы объемы водопритоков в карьер за счет подземных вод не изменятся значительно.

4. Установлено, что за последнее время среднегодовой приток к шахтному водоотливу изменялся в пределах 2150...2830 м³/ч, из которых порядка 300 м³/ч дренажных вод поступает из надкелловейского водоносного комплекса, около 1500 м³/ч — из батского водоносного горизонта, 100 м³/ч составляют притоки из девонских и руднокристаллических отложений, и 250...930 м³/ч — атмосферные осадки. В связи со значительными размерами карьерного поля, а также для уменьшения объема вскрыши и повышения экономической эффективности добычи руды его осушение осуществляется комбинированно-поверхностным и подземным способом.

5. Водоносные горизонты подкелловейского комплекса осушаются комбинированно: системой насосных установок в карьере, для чего создана система подземных выработок и пробуренных из них восстающих скважин на все водоносные горизонты и дренажные узлы. ПДК включает 5 шахтных

стволов и 67,4 км дренажных горных выработок, расположенных в трех уровнях: горизонт +50м, горизонт 20 м, горизонт 100 м.

6. Система дренажа в целом эксплуатируется в соответствии с проектными решениями, а состояние подземных горных выработок ПДК – удовлетворительное (при суммарной протяженности обслуживаемых горных выработок порядка 37 км). Тем не менее многолетняя практика эксплуатации ПДК свидетельствует о том, что основная производ-

ственная проблематика его работы связана со сложностями сопряженного функционирования с карьером, а также с периодическими нарушениями нормального режима эксплуатации восстающих дренажных скважин вплоть до полного выхода из строя некоторых из них.

7. Проведенные натурные исследования восстающих дренажных скважин ПДК МГОК впервые выявили ранее неизученные деформации их обсадных колонн с последующим выбыванием дрен из строя. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Опыт освоения и осушения месторождения в сложных гидрогеологических условиях / А. В. Козуб, Р. И. Исмагилов, Б. П. Бадтиев [и др.] // Горная промышленность. - 2019. - № 5 (147). - С. 12-14.
2. Железные руды КМА: монография / под ред. В. П. Орлова, И. А. Шевырева, Н. А. Соколова. - М.: Геоинформмарк, 2001. - 616 с.
3. Дунаев, В. А. Структурное районирование Михайловского железорудного месторождения в связи с устойчивостью откосов действующего карьера / В. А. Дунаев, Н. Т. Рягузов, С. С. Серый // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 1996. - № 6. - С. 14-20.
4. Железорудная база России / под ред. В. П. Орлова, М. И. Веригина, Н. И. Голивкина. - М.: Геоинформмарк, 1998. - 842 с.
5. Смолянинов, В. М. Подземные воды Центрально-Черноземного региона: условия их формирования, использование / В. М. Смолянинов. - Воронеж: Истоки, 2003. - 240 с.
6. Бочаров, В. Л. Эколого-гидрогеологические условия территории КМА / В. Л. Бочаров, А. Н. Круговых // Высокие технологии в экологии: мат-лы 9-й Межд. науч.-практ. конф. - Воронеж: Менеджер, 2006. - С. 71-76.
7. Бугреева, М. Н. Гидрогеохимическая оценка подземных вод Михайловского промрайона КМА / М. Н. Бугреева, Р. И. Титов // Вестник Воронежского университета. Серия: Геология. - 2002. - № 2. - С. 123-129.
8. Проектирование карьеров / К. Н. Трубецкой, Г. Л. Краснянский, В. В. Хронин [и др.]. - 3-е изд., перераб. - М.: Высшая школа, 2009. - 696 с.
9. Теоретическое обоснование и преимущества применения систем восстающих дренажных скважин на обводненных объектах / Ю. В. Пономаренко, Ю. И. Волков, В. С. Кузькин [и др.] // Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях: мат-лы 7-го Межд. симпозиума. - Белгород: ВИОГЕМ, 2003. - С. 30-45.
10. Пономаренко, Ю. В. Способ осушения бортов глубоких карьеров с помощью систем комбинированных дренажных устройств / Ю. В. Пономаренко // Горный журнал. - 2014. - № 7. - С. 52-54.
11. Осушение глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых системами восстающих дренажных скважин - технология будущего / К. Н. Трубецкой, Ю. И. Волков, А. А. Изотов [и др.] // Неделя горняка - 2006: сб. мат-лов. Белгород: ВИОГЕМ, 2006. С. 175-184.
12. Сооружение восстающих скважин в подземном дренажном комплексе Стойленского ГОКа / А. Ю. Шемякин, И. А. Тимошков, Ю. И. Волков [и др.] // Горный журнал. - 2014. - № 6. - С. 24-26.
13. Яницкий, Е. Б. Применение фотометодов для изучения структуры массива скальных пород и состояния стационарных уступов в карьере / Е. Ю. Яницкий, И. М. Игнатенко, А. В. Дунаев // Геология, география и глобальная энергия. - 2009. - № 1 (32). - С. 31-37.
14. Диагностика технического состояния крепи стволов шахты им. Губкина / С. В. Сергеев, Е. Д. Воробьев, И. М. Игнатенко [и др.] // Горный журнал. - 2020. - № 10. - С. 64-67.
15. Особенности обеспечения экологической безопасности подземной разработки Яковлевского месторождения богатых железных руд / Д. В. Голубничий, Д. Х. Гилязов, И. М. Игнатенко [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. - 2023. - № 2. - С. 94-103.
16. Oparin, V. N. Theoretical fundamentals to describe interaction of geomechanical and physicochemical processes in coal seams / V. N. Oparin // Journal of Mining Science. - 2017. - Vol. 53, № 2. - P. 201-215.
17. Martin, D. Guidelines for Open Pit Slope Design in Weak Rocks / D. Martin, P. Stacey // CRC Press. - 2018. - URL: <https://www.routledge.com/Guidelines-for-Open-Pit-Slope-Design-in-Weak-Rocks/Martin-Stacey/p/book/9781138298095>.
18. Определение границ опасных деформаций и зон сдвижения горных пород на месторождении Тырныауз / Н. Б. Агарков, В. В. Хаустов, Н. А. Лукьяненко [и др.] // Маркшейдерия и недропользование. - 2022. - № 2 (118). - С. 46-50.
19. Sergeev, S. V. In-situ estimation of stress-strain behavior of reinforced-concrete landing support. EUROCK-2018 / S. V. Sergeev, A. V. Zinchenko, G. Y. Yurchenko // Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. - 2018. - Vol. 2. - P. 1311.
20. Seismically safe parameters of confined blasting in levelling dry dock bottom / V. N. Tyupin, E. B. Yanitsky, A. E. Polyakh [et al.] // Eurasian Mining. - 2022. - № 2. - P. 16-19.
21. Closed-form solution of stress and stability analysis of wellbore in anisotropic permeable rock / Duc-Phi D, Nam-Hung Tran, Hong-Lam Dang [et al.] // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. - 2019. - Vol. 113. - P. 11-23.
22. Тюпин, В. Н. Зависимость геомеханического состояния трещиноватого массива от интервала замедления в зоне сейсмического действия массовых взрывов / В. Н. Тюпин, В. В. Хаустов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2021. - № 2. - С. 45-54.

REFERENCES

1. Kozub AV, Ismagilov RI, Badtiev BP, et al. Experience in the development and drainage of deposits in difficult hydrogeological conditions. *Mining Industry*. 2019;5(147):12-4 (In Russ.).
2. Iron ores KMA: monograph / ed. V. P. Orlova, I. A. Shevyreva, N. A. Sokolova. Moscow, 2001 (In Russ.).

3. Dunaev VA, Ryaguzov NT, Seryi SS. Structural zoning of the Mikhailovskoye iron ore deposit in connection with the stability of the slopes of the active quarry. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 1996;(6):14-20 (In Russ.).
4. Iron ore base of Russia / ed. V.P. Orlova, M.I. Verigina, N.I. Golivkina. Moscow: ZAO Geoinformmark, 1998 (In Russ.).
5. Smolyaninov VM. Groundwater of the Central Black Earth region: conditions of their formation, use. Voronezh: Istoki, 2003 (In Russ.).
6. Bocharov VL, Krugovyykh AN. Ecological and hydrogeological conditions of the KMA territory. 9th international scientific and practical conference «High technologies in ecology». Proceedings. Voronezh, 2006:71-6 (In Russ.).
7. Bugreeva MN, Titov RI. Hydrogeochemical assessment of groundwater in the Mikhailovsky industrial area of KMA. *Bulletin of Voronezh State University*. 2002;(2):123-9 (In Russ.).
8. Trubetskoy KN, Krasnyansky GL, Khronin VV, et al. Quarry design. 3rd ed. reworked. Moscow: Higher School, 2009 (In Russ.).
9. Ponomarenko YuV, Volkov YuI, Kuzkin VS, et al. Theoretical justification and advantages of using systems of rising drainage wells on water-flooded objects. 7th International Symposium «Development of mineral resource deposits and underground construction in complex hydrogeological conditions». Materials. Belgorod, 2003:30-45 (In Russ.).
10. Ponomarenko YuV. A method for draining the sides of deep quarries using systems of combined drainage devices. *Mining Journal*. 2014;(7):52-4 (In Russ.).
11. Trubetskoy KN, Volkov YuI, Izotov AA, et al. rainage of deep mineral deposits by systems of rising drainage wells – the technology of the future. Miner's Week - 2006. Collection of materials. Belgorod, 2006:175-84 (In Russ.).
12. Shemyakin AYU, Timoshkov IA, Volkov YuI, et al. Construction of riser wells in the underground drainage complex of Stoilensky GOK. *Mining Journal*. 2014;(6):24-6 (In Russ.).
13. Yanitsky EB, Ignatenko IM, Dunaev AV. Application of photographic methods to study the structure of rock massifs and the state of stationary benches in a quarry. *Geology, geography and global energy*. 2009;1(32):31-7 (In Russ.).
14. Sergeev SV, Vorobyov ED, Ignatenko IM, et al. Diagnostics of the technical condition of the shaft support of the mine named after. Gubkina. *Mining Journal*. 2020;(10):64-7 (In Russ.).
15. Golubnichiy DV, Gilyazev DKh, Ignatenko IM, et al. Features of ensuring environmental safety of underground mining of the Yakovlevskoye deposit of rich iron ore. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Geology*. 2023;(2):94-103 (In Russ.).
16. Oparin VN. Theoretical fundamentals to describe the interaction of geomechanical and physicochemical processes in coal seams. *Journal of Mining Science*. 2017;53(2):201-15.
17. Martin D, Stacey P. Guidelines for Open Pit Slope Design in Weak Rocks. CRC Press. 2018. Available from: <https://www.routledge.com/Guidelines-for-Open-Pit-Slope-Design-in-Weak-Rocks/Martin-Stacey/p/book/9781138298095>
18. Agarkov NB, Khaustov VV, Lukyanenko NA, et al. Determination of the boundaries of dangerous deformations and rock displacement zones at the Tyrnauz deposit. *Mine surveying and subsoil use*. 2022;2(118)6:46-50 (In Russ.).
19. Sergeev SV, Zinchenko AV, Yurchenko GY. In-situ estimation of stress-strain behavior of reinforced-concrete landing support. EUROCK 2018. *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses*. 2018;2:1311.
20. Tyupin VN, Yanitsky EB, Polyakh AE, et al. Seismically safe parameters of confined blasting in levelling dry dock bottom. *Eurasian Mining*. 2022;(2):16-9.
21. Duc-Phi D, Nam-Hung Tran, Hong-Lam Dang, et al. Closed-form solution of stress and stability analysis of wellbore in anisotropic permeable rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2019;(113):11-23.
22. Tyupin VN, Khaustov VV. Dependence of the geomechanical state of a fractured massif on the deceleration interval in the zone of seismic action of mass explosions. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2021;(2):45-54.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ



Вячеслав Викторович Кушнерчук:
аспирант,
Белгородский государственный национальный
исследовательский университет,
г. Белгород, Россия,
e-mail: v_kushnerchuk@mgok.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vyacheslav Viktorovich Kushnerchuk:
postgraduate student,
Belgorod State National research university,
Belgorod, Russia,
e-mail: v_kushnerchuk@mgok.ru



Владимир Васильевич Хаустов:
доктор геолого-минералогических наук,
доцент,
Белгородский государственный национальный
исследовательский университет,
г. Белгород, Россия,
<http://orcid.org/0000-0002-1895-7367>,
WoS Researcher ID: C-3838-2016,
Scopus Author ID: 7003912446,
e-mail: khaustov@bsu.edu.ru

Vladimir Vasilyevich Khaustov:
doctoral candidate of geologo-mineralogical sciences,
Associate Professor,
Belgorod National Research University,
Belgorod, Russia,
<http://orcid.org/0000-0002-1895-7367>,
WoS Researcher ID: C-3838-2016,
Scopus Author ID: 7003912446,
e-mail: khaustov@bsu.edu.ru



Владимир Николаевич Тюпин:
доктор технических наук,
профессор,
Белгородский государственный национальный
исследовательский университет,
г. Белгород, Россия,
<http://orcid.org/0000-0002-3709-0957>,
WoS Researcher ID: AAH-7764-2019,
Scopus Author ID: 6507398036,
e-mail: tyupinvn@mail.ru

Vladimir Nikolaevich Tyupin:
doctoral candidate of technical sciences,
Professor,
Belgorod National Research University,
Belgorod, Russia,
<http://orcid.org/0000-0002-3709-0957>,
WoS Researcher ID: AAH-7764-2019,
Scopus Author ID: 6507398036,
e-mail: tyupinvn@mail.ru



Семенова Людмила Анатольевна:
кандидат педагогических наук,
доцент,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Россия,
<http://orcid.org/0000-0002-4816-101X>,
e-mail: romahka31@yandex.ru

Semenova Lyudmila Anatolyevna:
Candidate of Pedagogical Sciences,
Associate Professor,
Southwestern State university,
Kursk, Russia,
<http://orcid.org/0000-0002-4816-101X>,
e-mail: romahka31@yandex.ru



Карнюшкин Александр Иванович:
кандидат технических наук,
доцент,
Московский государственный технический
университет им. Н. Э. Баумана,
г. Москва, Россия,
<http://orcid.org/0000-0001-5685-162X>,
e-mail: him_expert@mail.ru

Karnyushkin Alexander Ivanovich:
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Moscow State Technical University named
after N. E. Bauman,
Moscow, Russia,
<http://orcid.org/0000-0001-5685-162X>,
e-mail: him_expert@mail.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

Кушнерчук Вячеслав Викторович — написание текста статьи, анализ результатов исследования, выполнение работы по систематизации материала; Хаустов Владимир Васильевич — постановка задачи, написание текста статьи, Тюпин Владимир Николаевич — генерация идеи исследования; Семенова Людмила Анатольевна — проведение полевых работ; Карнюшкин Александр Иванович — постановка задачи, анализ результатов исследования.

Kushnerchuk Vyacheslav Viktorovich — writing the text of the article, analyzing the research results, performing work on systematizing the material; Khaustov Vladimir Vasilievich — problem statement, writing the text of the article; Tyupin Vladimir Nikolaevich — generating the research idea; Semenova Lyudmila Anatolyevna — conducting field work; Karnyushkin Alexander Ivanovich — problem statement, analysis of research results.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.



МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г. И. НОСОВА

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова — один из крупнейших многопрофильных вузов страны, в котором обучается более девяти тысяч студентов и работает около двух тысяч преподавателей и сотрудников.

Институты, факультеты, кафедры

- Институт металлургии, машиностроения и материаловедения
- Институт горного дела и транспорта
- Институт энергетики и автоматизированных систем
- Институт дополнительного профессионального образования и кадрового инжиниринга МГТУ «Горизонт»
- Проектная школа

Контакты : единый контакт-центр: +7 800 100 1934, e-mail: mgtu@magtu.ru; приемная комиссия: +7 3519 33 09 39, e-mail: priem@magtu.ru




WWW.N-GN.RU