

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ПОДЗЕМНОГО ДРЕНАЖНОГО КОМПЛЕКСА КАРЬЕРА МИХАЙЛОВСКОГО ГОКа имени А. В. ВАРИЧЕВА

В. В. Кушнерчук¹, В. В. Хаустов^{1✉}, Л. А. Семенова²,
А. И. Карнюшкин³, В. В. Симонян⁴

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
г. Белгород, Российская Федерация

²Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация

³Московский государственный технический университет имени М. Э. Баумана,
г. Москва, Российская Федерация

⁴Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
г. Москва, Российская Федерация

✉ okech@mail.ru

Аннотация. Осушение карьера Михайловского железорудного месторождения осуществляется комбинированно-поверхностным и подземным способами. При планируемом развитии карьера в северо-западном направлении увеличивается соответственно размер его дренажного контура, что способствует росту водопритокков. Установлено, что в последние годы среднегодовой водоприток к шахтному водоотливу изменяется в пределах 2150...2830 м³/ч. Выявлено при этом, что абсолютно большая часть притоков воды в карьер приходится на батский водоносный горизонт – 1 500 м³/ч (77 %). В этой связи выполнен прогноз водопритокков из батского водоносного горизонта с учетом расширения и углубления чаши карьера. Для оценки и прогноза обводнения карьера из батских песков разработана численная модель геофильтрации района Михайловского железорудного месторождения. Прогнозное моделирование проводилось с учетом сооружения дополнительного дренажного штрека к границам горного отвода для размещения восстающих дренажных скважин на батские пески, поскольку существующие дренажные сооружения (штреки с восстающими скважинами) будут подработаны карьером и частично выведены из эксплуатации. Установлено при этом, что удельный приток на северо-западном борту карьера в результате сооружения дренажного штрека у границ горного отвода уменьшится в 1,5 раза (с 1,2 до 0,8 м³/сут на 1 п. м. откоса). Опираясь на результаты прогнозных расчетов общего притока подземных и поверхностных вод в карьер, обосновано необходимое количество и разработана схема расположения дренажных узлов восстающих скважин для обеспечения эффективного осушения карьера Михайловского железорудного месторождения вплоть до 2032 года.

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

Благодарности: Авторы выражают признательность и благодарность кандидату геолого-минералогических наук Л. А. Еланцевой за помощь при проведении исследования и ценные замечания, а также коллективу редакции научно-технического и производственного журнала «Маркшейдерия и недропользование» за поддержку и помощь в оформлении статьи.

Для цитирования: Кушнерчук ВВ, Хаустов ВВ, Семенова ЛА, и др. Гидрогеологическое обоснование эффективной работы подземного дренажного комплекса карьера Михайловского ГОКа имени А. В. Варичева. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):84-91. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-84-91>.

HYDROGEOLOGICAL JUSTIFICATION OF THE EFFECTIVE OPERATION OF THE UNDERGROUND DRAINAGE COMPLEX OF QUARRY THE MIKHAILOVSKY MPP NAMED AFTER A. V. VARICHEV

V. V. Kushnerchuk¹, V. V. Khaustov^{1✉}, L. A. Semenova²,

A. I. Karnyushkin³, V. V. Simonyan⁴

¹ Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation

² Southwestern State University, Kursk, Russian Federation

³ Moscow State Technical University named after M. E. Bauman, Moscow, Russian Federation

⁴ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

✉ okech@mail.ru

Abstract. The drainage of the quarry of the Mikhailovskoye iron ore deposit is carried out by a combined surface and underground method. With the planned development of the quarry in the north-west direction, the size of its drainage contour increases accordingly, which contributes to the growth of water inflows. It has been established that in recent years the average annual water inflow to the mine drainage varies within 2150...2830 m³/h. It was revealed that the absolutely largest part of the water inflows into the quarry falls on the Bathonian aquifer – 1 500 m³/h (77 %). In this regard, a forecast of water inflows from the Bathonian aquifer is made taking into account the expansion and deepening of the quarry bowl. To assess and predict the flooding of the quarry from the Bathonian sands, a numerical model of geofiltration of the Mikhailovskoye iron ore deposit area has been developed. The predictive modeling was carried out taking into account the construction of an additional drainage drift to the boundaries of the mining allotment for the placement of rising drainage boreholes on the Bathonian sands, since the existing drainage structures (drifts with rising boreholes) will be undermined by the quarry and partially decommissioned. It was found that the specific inflow on the north-western side of the quarry as a result of the construction of a drainage drift at the boundaries of the mining allotment will decrease by 1.5 times (from 1.2 to 0.8 m³/day per 1 running meter of slope). Based on the results of predictive calculations of the total inflow of ground and surface water into the quarry, the required amount was substantiated and a layout diagram for the drainage units of rising drainage boreholes was developed to ensure effective drainage of the Mikhailovskoye iron ore deposit quarry up to 2032.

Keywords: deposit, hydrogeological conditions, groundwater, water inflow, drainage, side work, rising drainage wells

Acknowledgments: The authors express their appreciation and gratitude to PhD in Geology and Mineralogy L. A. Elantseva for her assistance in conducting the study and valuable comments, as well as to the editorial staff of the scientific, technical and industrial journal “Mine Surveying and Subsoil Use” for their support and assistance in preparing the article.

For citation: Kushnerchuk VV, Khaustov VV, Semenova LA, et al. Hydrogeological justification

of the effective operation of the underground drainage complex of quarry the Mikhailovsky MPP named after A. V. Varichev. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):84-91. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-84-91>.

Введение

Михайловское месторождение (северо-запад Курской области) является одним из крупнейших железорудных месторождений КМА, где сосредоточено около 13 % запасов железных руд КМА. Его промышленное освоение производится открытым способом и сопровождается выемкой и перемещением огромных масс горных пород и руд, дренированием внушительного количества подземных вод, что существенно изменяет гидрогеологические и экологические условия района в целом [1].

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 [1, 2]. Месторождение приурочено к западному борту Михайловской структуры, к участку ее флексурообразного изгиба, осложненному продольными и поперечными разломами, дополнительной складчатостью [3]. Основные гидрогеологические особенности исследуемого района обусловлены наличием мощного осадочного чехла, разделенного выдержанными глинами келловейского возраста на два водоносных комплекса. Надкелловейский

комплекс включает безнапорные горизонты в четвертичных и меловых отложениях, а подкелловейский напорно-безнапорный комплекс – водоносные горизонты в батских, девонских и архей-протерозойских песчаных и карбонатных породах. Ниже, в кристаллическом фундаменте, прослеживается водоносная зона трещиноватости в архей-протерозойских изверженных и метаморфических породах (рис. 1) [4–6]. (См. цв. вклейку на стр. 50).

Осушение карьера МГОКа осуществляется комбинированно-поверхностным и подземным способами [7, 8]. При этом безнапорные водоносные горизонты надкелловейского комплекса дренируются бортами карьера и местной гидрографической сетью. Водоносные же горизонты подкелловейского комплекса осушаются комбинированно системой насосных установок в карьере, для чего создана сеть подземных выработок и пробуренных из них восстающих дренажных скважин на все водоносные горизонты и дренажные узлы (подземный дренажный комплекс – далее ПДрК) [7–9].

Анализ перспективного развития горных работ в карьере показал, что существующая система осушения в целом способна функционировать в течение всего периода эксплуатации вплоть до конечного этапа отработки карьера. Исключение

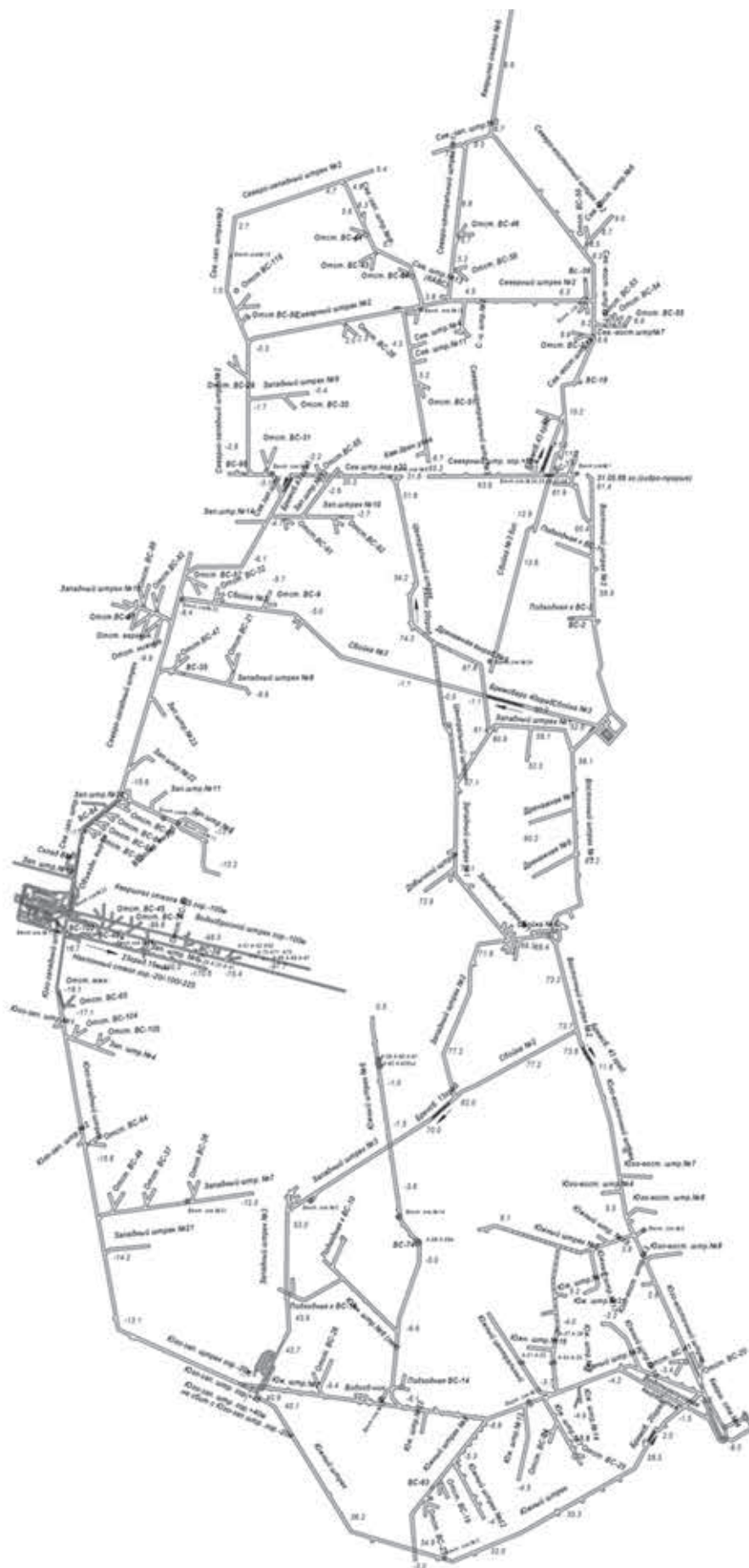


Рис. 2. Система горных выработок подземного дренажного комплекса /
Fig. 2. System of underground drainage complex mine workings

составляет северо-западный борт карьера, который в конце отработки переместится за пределы существующего дренажного контура подземных горных выработок (Северо-западный и Северо-западный штрек № 2). В этой связи обоснование эффективного направления развития ПДрК весьма актуально.

Цель исследований: гидрогеологическое обоснование эффективной работы подземного дренажного комплекса карьера Михайловского ГОКа имени А. В. Варичева.

Объект исследований

В целом гидрогеологические условия месторождения характеризуются как сложные, а естественный режим подземных вод в пределах месторождения в результате мероприятий по его осушению существенно нарушен [9]. За последнее время среднегодовой приток к шахтному водоотливу изменялся в пределах 2150...2830 м³/ч; порядка 300 м³/ч дренажных вод поступало из надкелловейского водоносного комплекса; около 1 500 м³/ч – из батского водоносного горизонта; 100 м³/ч – притоки из девонских отложений и руднокристаллического массива; 250÷930 м³/ч – атмосферные осадки.

Система осушения карьерного поля состоит из внешнего и внутреннего контуров, приведена на рисунке 2.

Внешний дренажный контур включает в себя сеть дренажных штреков с восстающими скважинами, расположенными по периметру карьера, и осуществляющих дренаж батского и рудно-кристаллического водоносных горизонтов. Внутренний дренажный контур осуществляет дренаж водоносных горизонтов в четвертичных, сеноман-альбских и апт-неокомских отложениях и состоит из погоризонтных дренажных и водоотводящих канав с водосбросными скважинами для сброса воды в дренажные выработки.

Водоотведение из карьера осуществляется посредством подземного водоотлива, который заложен на двух горизонтах (-20 м, -100 м). Горизонт -100 м вводится в эксплуатацию по мере углубления карьера.

Защита карьера от подземных вод нижнего водоносного комплекса, представленного водами юрских, девонских и докембрийских образований, из которых наиболее водообильными являются пески батского водоносного горизонта, осуществляется с помощью восстающих дренажных скважин, пробуренных из подземных горных выработок дренажной шахты. Проскоки воды в карьер из батского водоносного горизонта перехватываются дренажными канавами, из которых вода отводится к водосбросным скважинам и сбрасывается в дренажную шахту [10, 11].

Материал и методы исследований

В основу настоящих исследований положены многочисленные фондовые материалы, научные публикации в открытой печати. На протяжении строительства и эксплуатации карьера МГОКа регулярно проводилась оценка водопритоков силами гидрогеологической службы МГОКа и специализированных организаций: ВИОГЕМ (1976, 1985, 1998 гг.), НТЦ НОВОТЭК (1996, 2006 гг.), АОЗТСП «Геолинк» (г. Москва, 2002 г.), ООО «СПб-Гипрошахт» (2016 г.) и др. Статистическая обработка, анализ накопленных результатов исследований и сопоставление их с фактическими показателями работы системы осушения за последнее десятилетие позволили выявить тенденцию относительной стабилизации режима водоносных комплексов и объемов водопритоков в карьер МГОКа [9].

Для оценки и прогноза водопритоков в карьер из батских песков совместно со специалистами НТЦ «НОВОТЭК» (Л. А. Еланцева и др.) разработана численная модель геофильтрации района Михайловского железорудного месторождения [12].

Решение фильтрационной задачи осуществлялось с использованием лицензионной программы *Modflow* системы *GMS*. Эта программа позволяет реализовать пространственную фильтрацию подземных вод методом конечных разностей в многослойной толще для областей произвольной конфигурации, а также определять уровни подземных вод и их понижения в каждой узловой точке области фильтрации для каждого слоя, расходы подземных вод в граничных точках изучаемой области, составляющие баланса подземных вод (инфильтрация, разгрузка и питание потока подземных вод, перетоки между слоями), автоматически управлять работой граничных условий [13, 14].

С использованием разработанной численной гидродинамической модели проведены прогнозные расчеты с целью оценки водопритока к системе дренажа карьера из батских отложений. При этом как исходные принимались положения уровней подземных вод, условия на внешних и внутренних источниках и стоках, соответствующие фактическому режиму подземных вод и реализованные в модели на конечном этапе решения обратной задачи [15–17]. Прогнозная задача решалась на период проектного развития карьера до 2032 года – расширение карьера в северном и западном направлениях.

Важно также отметить, что прогнозное моделирование проводилось с учетом сооружения дополнительного дренажного штрека к границам горного отвода для размещения восстающих скважин на батские пески, поскольку существующие дренажные сооружения (штреки с восстающими скважинами) будут подработаны и частично выведены из эксплуатации [18].

Результаты исследований

Изменение внешнего дренажного контура в сторону увеличения на участке северо-западного направления развития карьера неизбежно приведет к увеличению водопритока к ПДрК, в связи с чем по результатам прогнозных расчетов оценен объем увеличения водопритока с северо-западной части карьера. В таблице 1 представлены результаты прогнозного моделирования водопритоков.

Таблица 1 / Table 1

Расчетные величины водопритоков по результатам прогнозного моделирования /

Estimated values of inflows based on the results of predictive modeling

Источник поступления вод	Водоприток, м ³ /ч	Примечание
Апт-сеноманский горизонт	300 (14 %)	Надкелловейский водоносный комплекс
Батский водоносный горизонт	1 700 (81 %)	Подкелловейский водоносный горизонт
В том числе север	1 200	
юг	300	
проскок в карьер	200	
Девонские и руднокристаллические отложения	100 (5 %)	
Всего подземных вод	2 100	

Как следует из таблицы 1, основная доля поступления подземных вод из батского водоносного горизонта (81 %) приходится на северо-западный и западный борта карьера. В этой связи оценены удельные водопритокки прежде всего из батского водоносного горизонта в карьер по результатам решения прогнозной задачи на 2032 год (рис. 3). (См. цв. вклейку на стр. 51).

Обсуждение результатов исследований

Как уже отмечалось, анализ перспективного развития фронта горных работ в карьере выявил, что существующая система осушения в целом может сохранять устойчивость определенное время [9, 19]. Исключением является северо-западный борт карьера, который на поздних этапах отработки выйдет за пределы существующего дренажного контура подземных горных выработок ПДРК (Северо-западный и Северо-западный штрек № 2) (рис. 2).

Согласно проведенным прогнозным расчетам с использованием геофильтрационного моделирования, общий приток дренажных вод в карьер увеличится на 9 %. Такой рост (до 5 175 м³/ч) обусловлен дополнительным поступлением воды при увеличении размера дренажного контура, а также ростом притока из водоносной зоны трещиноватости пород кристаллического фундамента. Прогнозируется среднегодовой приток в карьер порядка 27 млн м³.

Для эффективного осушения карьера потребуются сооружение вдоль северо-западного борта карьера дренажного штрека (протяженностью порядка 5 км) с восстающими дренажными скважинами на этом участке в пределах горизонта -100 м. С учетом приведенных прогнозных оценок роста водопритокков определено количество необходимых дренажных узлов – ВДС.

В таблице 2 представлены объемы работ по сооружению требуемых восстающих дренажных скважин для эффективного осушения северо-западного борта карьера МГОКа.

Таблица 2 / Table 2

Объемы работ по сооружению восстающих дренажных скважин / Volumes of work on the construction of rising drainage wells

Показатель	Горизонт -100 м			
	Северный борт	Западный борт		
Номера скважин	23÷37	1÷5	6÷16	17÷22
Количество скважин в узле, шт.	1	1	1	1
Количество скважин, шт.	15	5	11	6
Общее количество скважин, шт.	37			
Дебит узла восстающих скважин, м³/ч	20÷30			
Длина скважины, м	190	190	180	170
Протяженность бурения, м	2 850	950	1 980	1 020
Суммарная протяженность бурения, м	6 800			

Таким образом, удельный приток на северо-западном борту карьера в результате сооружения дренажного штрека у границ горного отвода должен уменьшиться в 1,5 раза (с 1,2 до 0,8 м³/сут на 1 п. м. откоса).

Разработанная схема расположения ВДС, необходимых для эффективного осушения северо-западного борта карьера МГОКа вплоть до 2032 года, представлена на рисунке 4. (См. цв. вклейку на стр. 51).

Дополнительно для снижения обводнения бортов карьера по рыхлой вскрыше предусматривается сооружение прибортовых дренажных канав на всех уступах карьера по рыхлой вскрыше, начиная с горизонта +75 м и выше, общей протяженностью порядка 22 км, которые должны будут обеспечить перехват, сбор и отведение проскоков подземных вод.

Заключение

1. Гидрогеологическое поле Михайловского месторождения железных руд занимает сводовую часть Воронежского массива и частично его склоны. Оно представляет собой открытую гидрогеологическую структуру с интенсивным вертикальным водообменом и характеризуется достаточно сложным геологическим строением (несмотря на горизонтальное и субгоризонтальное залегание стратифицированной толщи осадочного чехла).

2. Установлено, что за последние годы 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 1 500 м³/ч – из батского водоносного горизонта; 100 м³/ч – составляют притоки из девонских и руднокристаллических отложений; 250...930 м³/ч – атмосферные осадки.

3. В связи со значительными размерами карьерного поля Михайловского железорудного месторождения, а также для уменьшения объема вскрыши его осушение осуществляется комбинированно-поверхностным и подземным способами. Водоносные горизонты подкелловейского комплекса в карьере осушаются комбинированно системой насосных установок в карьере, для чего создана сеть подземных выработок и пробуренных из них восстающих дренажных скважин на все водоносные горизонты и дренажные узлы – подземный дренажный комплекс.

4. Общий объем подземного водоотлива складывается из подземных вод, поступающих из восстающих скважин и из трещинных зон кристаллических пород, а также из поверхностных вод. При этом наиболее водообильным является батский водоносный горизонт (до 77 % от объема всех подземных вод). В этой связи выполнен прогноз водопритокков из батского водоносного горизонта с учетом расширения и углубления чаши карьера. Для оценки и прогноза обводнения карьера из батских песков разработана численная модель геофильтрации района Михайловского железорудного месторождения.

5. Анализ перспективного развития фронта горных работ в карьере выявил, что существующая система осушения в целом может сохранять устойчивость определенное время. Исключением является северо-западный борт карьера, который на более поздних этапах отработки выйдет за пределы существующего дренажного контура некоторых подземных горных выработок ПДРК, что послужит причиной увеличения общего притока дренажных вод в карьер на 9 %.

6. Выполнено прогнозное моделирование с учетом сооружения дополнительного дренажного штрека к границам горного отвода для размещения восстающих дренажных скважин на батские пески и с учетом того, что существующие дренажные сооружения (штреки с восстающими скважинами) будут подработаны карьером и частично выведены из эксплуатации. Установлено при этом, что удельный приток на северо-западном борту карьера в результате сооружения дренажного штрека у границ горного отвода уменьшится в 1,5 раза (с 1,2 до 0,8 м³/сут на 1 п. м. откоса).

7. Опираясь на результаты прогнозных расчетов, методами численного моделирования общего притока подземных вод в карьер обосновано необходимое количество и разработана схема расположения дренажных узлов восстающих дренажных скважин для обеспечения эффективного осушения карьера Михайловского железорудного месторождения вплоть до 2032 года.

Выводы

1. В статье приведены результаты исследования гидрогеологических условий района карьера Михайловского железорудного месторождения в связи с процессами его дренажа комбинированно-поверхностным и подземным способом. Результаты статистической обработки внушительного объема геолого-гидрогеологических материалов и прогнозного

гидрогеофильтрационного моделирования позволили обосновать и разработать схему расположения горных выработок с необходимым количеством дренажных узлов восстающих водопонижающих скважин ПДрК для обеспечения эффективного осушения карьера Михайловского железорудного месторождения при его развитии в северо-западном направлении вплоть до 2032 года.

2. Результаты исследований могут быть полезными при изучении и планировании эффективных дренажных мероприятий на карьере Лебединского железорудного месторождения (ЛГОК, КМА), подземном руднике Яковлевского месторождения богатых железных руд (ЯГОК, КМА), а также на прочих месторождениях полезных ископаемых с аналогичными или похожими геолого-гидрогеологическими условиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Железные руды КМА. Москва, 2001: 616. [Iron ores of the KMA / edited by V. P. Orlov, I. A. Shevryev, N. A. Sokolov. Moscow, 2001:616 (In Russ.)]
2. Железорудная база России. Москва, 1998: 842. [Iron ore base of Russia. Moscow, 1998: 842 (In Russ.)]
3. Дунаев ВА, Рягузов НТ, Серый СС. Структурное районирование Михайловского железорудного месторождения в связи с устойчивостью откосов действующего карьера *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 1996;6:14-20. [Dunaev VA, Ryaguzov NT, Sery SS. Structural zoning of the Mikhailovsky iron ore deposit in connection with the stability of the slopes of the operating quarry. *Mining information and analytical bulletin*. 1996;6:14-20 (In Russ.)]
4. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии (КМА): В 3 томах. Т. II: Гидрогеология и инженерная геология. Москва, 1972: 479. [Geology, hydrogeology and iron ores of the Kursk Magnetic Anomaly (KMA) basin: In 3 volumes. Vol. II: Hydrogeology and engineering geology. Moscow, 1972: 479 (In Russ.)]
5. Гидрогеология СССР. Т. IV: Воронежская и смежные области. Москва, 1971: 499. [Hydrogeology of the USSR. Vol. IV: Voronezh and adjacent regions. Moscow, 1971: 499 (In Russ.)]
6. Смольянинов ВМ. Подземные воды Центрально-Черноземного региона: условия их формирования, использование. Воронеж, 2003: 240. [Smolyaninov VM. Groundwater of the Central Black Earth Region: conditions of their formation, use. Voronezh, 2003: 240 (In Russ.)]
7. Пономаренко ЮВ. Способ осушения бортов глубоких карьеров с помощью систем комбинированных дренажных устройств. *Горный журнал*. 2014;7:52-4. [Ponomarenko YuV. Method of draining the sides of deep quarries using systems of combined drainage devices. *Mining Journal*. 2014;7:52-4 (In Russ.)]
8. Трубецкой КН, Волков ЮИ, Изотов АА и др. Осушение глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых системами восстающих дренажных скважин – технология будущего. *Неделя горняка – 2006: сб. материалов*. Белгород, 2006: 175-84. [Trubetskoy KN, Volkov YuI, Izotov AA, et al. Drainage of deep-lying 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.)]
9. Козуб АВ, Исмагилов РИ, Бадтиев БП и др. Опыт освоения и осушения месторождения в сложных гидрогеологических условиях. *Горная промышленность*. 2019;5(147):12-4. [Kozub AV, Ismagilov RI, Badtiev BP, et al. Experience in the development and drainage of a deposit in complex hydrogeological conditions. *Mining Industry*. 2019;5(147):12-4 (In Russ.)]
10. Трубецкой КН, Краснянский ГЛ, Хронин ВВ и др. Проектирование карьеров. 3-е изд., перераб. Москва, 2009: 696. [Trubetskoy KN, Krasnyansky GL, Khronin VV et al. Quarry design. 3rd ed., revised. Moscow, 2009:696 (In Russ.)]
11. Мироненко ВА, Молский ЕВ, Румынин ВГ. Горнопромышленная гидрогеология. Москва, 1989: 287. [Mironenko VA, Molsky EV, Rumynin VG. Mining hydrogeology. Moscow, 1989: 287 (In Russ.)]
12. Еланцева ЛА, Зайцев ДА, Фоменко СВ. Гидрогеологические прогнозы в целях осушения месторождения алмазов им. В. Гриба. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2019;7(330):53-61. [Elantseva LA, Zaitsev DA, Fomenko SV. Hydrogeological forecasts for the purpose of draining the V. Grib diamond deposit. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources*. 2019;7(330):53-61]
13. MODFLOW and Related Programs. URL: <https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/modflow-and-related-programs>.
14. Harbaugh AW. MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model – the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods. *Persistent*. URL: <http://pubsdata.usgs.gov/pubs/tm/2005/tm6A16>.
15. Anderson MP, Woessner WW, Hunt R. J. Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2015: 630.
16. Depner JS, Rasmussen T. C. Hydrodynamics of Time-Periodic Groundwater Flow: Diffusion Waves in Porous Media. *Geophysical Monograph Series* 224. New York: American Geophysical Union, 2017: 304.
17. Bastian P, Kraus J, Scheichl R, et al. Simulation of Flow in Porous Media Applications in Energy and Environment. *Radon Series on Computational and Applied Mathematics*. 2013;12:222.
18. Кушнерчук ВВ, Хаустов ВВ, Тюпин ВН и др. О проблеме эксплуатации восстающих дренажных скважин при осушении Михайловского месторождения (Курская магнитная аномалия). *Маркшейдерия и недропользование*. 2024;3:80-8. [Kushnerchuk VV, Khaustov VV, Tyupin VN, et al. On the problem of operation of rise-up drainage wells during drainage of the Mikhailovsky deposit (Kursk Magnetic Anomaly). *Mine surveying and subsoil use*. 2024;3: 80-8 (In Russ.)]
19. Кушнерчук ВВ, Хаустов ВВ, Ермолович ЕА и др. Влияние подработки горных выработок подземного дренажного комплекса на процессы осушения карьера Михайловского ГОКа им. А.В. Варичева (Курская магнитная аномалия). *Маркшейдерия и недропользование*. 2024;4:47-55. [Kushnerchuk VV, Khaustov VV, Ermolovich EA, et al. The influence of undermining of mine workings of the underground drainage complex on the drainage processes of the quarry of the Mikhailovsky GOK named after A. V. Varichev (Kursk Magnetic Anomaly). *Mine surveying and subsoil use*. 2024;4:47-55 (In Russ.)].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Вячеслав Викторович Кушнерчук – аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 308015, г. Белгород, Российская Федерация, e-mail: 1415728@bsuedu.ru



Владимир Васильевич Хаустов – доктор геолого-минералогических наук, доцент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 308015, г. Белгород, Российская Федерация, <http://orcid.org/0000-0002-1895-7367>, WoS Researcher ID: C-3838-2016, Scopus Author ID: 7003912446, e-mail: khaustov@bsuedu.ru



Людмила Анатольевна Семенова – кандидат педагогических наук, доцент, Юго-Западный государственный университет, 305040, г. Курск, Российская Федерация, <http://orcid.org/0000-0002-4816-101X>, e-mail: romahka31@yandex.ru



Александр Иванович Карнюшкин – кандидат технических наук, доцент, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, 105005, г. Москва, Российская Федерация, <http://orcid.org/000-0001-5685-162X>, e-mail: him_expert@mail.ru



Владимир Викторович Симонян – доктор технических наук, доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Российская Федерация, <http://orcid.org/0000-0002-3224-9500>, WoS Researcher ID: AAV-8457-2020, e-mail: simonyan.vladimir@gmail.com

ABOUT THE AUTHORS

Vyacheslav V. Kushnerchuk – Postgraduate Student, Belgorod State National research university, 308015, Belgorod, Russian Federation, e-mail: 1415728@bsuedu.ru

Vladimir V. Khaustov – Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Associate Professor, Belgorod National Research University, 308015, Belgorod, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-1895-7367>, WoS Researcher ID: C-3838-2016, Scopus Author ID: 7003912446, e-mail: khaustov@bsuedu.ru

Lyudmila A. Semenova – Cand. Sci. (Pedagogy), Associate Professor, Southwestern State university, 305040, Kursk, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-4816-101X>, e-mail: romahka31@yandex.ru

Alexander I. Karnyushkin – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Moscow State Technical University named after N. E. Bauman, 105005, Moscow, Russian Federation, <http://orcid.org/000-0001-5685-162X>, e-mail: him_expert@mail.ru

Vladimir V. Simonyan – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 129337, Moscow, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-3224-9500>, WoS Researcher ID: AAV-8457-2020, e-mail: simonyan.vladimir@gmail.com

Критерии авторства / Contribution:

В. В. Кушнерчук – написание текста статьи, анализ результатов исследования, выполнение работы по систематизации материала; В. В. Хаустов – постановка задачи, написание текста статьи; Л. А. Семенова – проведение полевых работ; А. И. Карнюшкин – генерация идеи исследования; В. В. Симонян – постановка задачи, анализ результатов исследования. / V. V. Kushnerchuk – writing the text of the article, analyzing the research results, performing work on systematizing the material; V. V. Khaustov – problem statement, writing the text of the article; L. A. Semenova – conducting field work; A. I. Karnyushkin – generating the research idea; V. V. Simonyan – problem statement, analysis of research results.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

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

Информация о статье

Поступила в редакцию: 24.04.2025.

Поступила после рецензирования: 27.04.2025.

Принята к публикации: 03.05.2025.

Article info

Received: 24.04.2025.

Revised: 27.04.2025.

Accepted: 03.05.2025.