

Код МРНТИ 52.13.31:38.61.25

*М.В. Ряжских¹, В.И. Титов¹, М.С. Ступакова², Д.А. Менгель²

¹Открытое акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, защите инженерных сооружений от обводнения, специальным горным работам, геомеханике, геофизике, гидротехнике, геологии и маркшейдерскому делу» (г. Белгород, Россия),

²Акционерное общество «Качары руда» (Республика Казахстан)

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДОПРИТОКОВ В КАРЬЕР КАЧАРСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО РАЗВИТИЮ СИСТЕМЫ ОСУШЕНИЯ

Аннотация. На железорудном карьере в последние годы актуальной стала проблема оползневых процессов на верхних горизонтах отработки. Задачами исследований являлись оценка сложившейся гидродинамической обстановки в результате добычи полезного ископаемого, выявление причин оползневых процессов и дальнейшее прогнозирование водопритоков в выработанное пространство. Цель работы – обеспечение устойчивости откосов бортов на карьере, разработка технических решений по развитию системы осушения и уменьшение обводненности пород на участках ведения горных работ. Было выполнено гидрогеологическое и тепловизионное обследование карьера. Анализ условий формирования и распределения притока подземных вод в карьере, обоснование и разработка системы осушения выполнялись на базе современной универсальной комплексной программы.

Ключевые слова: железорудное месторождение, карьер, гидрогеологические условия, численное моделирование, водопритоки, система осушения, дренажные сооружения, горизонтальная дренажная скважина.

Қашар темір рудасы кен орнының карьеріне су ағындарының қалыптасу шарттарын талдау және дренаждық жүйені дамытудың техникалық шешімдерін әзірлеу

Аңдатпа. Соңғы жылдары тау-кен өндірісінің жоғарғы горизонттарында көшкін процестерінің проблемасы темір рудалы карьерде өзекті болып отыр. Зерттеудің міндеттері тау-кен жұмыстарын жүргізу нәтижесінде қалыптасқан гидродинамикалық жағдайды бағалау, көшкін процестерінің себептерін анықтау және судың құймаққа түсуін одан әрі болжау болды. Жұмыстың мақсаты карьердегі бүйірлік беткейлердің тұрақтылығын қамтамасыз ету, дренаждық жүйені дамыту бойынша техникалық шешімдерді әзірлеу және тау-кен аймақтарындағы тау жыныстарында кесілген суды азайту болды. Карьерге гидрогеологиялық және тепловизор түсіру жұмыстары жүргізілді. Жер асты суларының карьерге түсуін қалыптастыру және болу шарттарын талдау, дренаждық жүйені негіздеу және дамыту заманауи әмбебап біріктірілген бағдарлама негізінде жүргізілді.

Түйінді сөздер: темір кен орны, карьер, гидрогеологиялық жағдайлар, сандық модельдеу, су ағындары, дренаж жүйесі, дренаждық құрылыстар, қолденең дренаждық ұңғыма.

Analysis of the conditions for the formation of water inflows into the quarry of the Kachar iron ore deposit and the development of technical solutions for the development of a drainage system

Abstract. In recent years, the problem of landslide processes on the upper horizons of mining has become topical in the iron ore open pit. The objectives of the research were to assess the current hydrodynamic situation as a result of mining, identify the causes of landslide processes and further forecast water inflows into the goaf. The purpose of the work was to ensure the stability of the slopes of the sides in the quarry, the development of technical solutions for the development of a drainage system and the reduction of water cut in the rocks in the mining areas. A hydrogeological and thermal imaging survey of the quarry was carried out. The analysis of the conditions for the formation and distribution of groundwater inflow into the quarry, the justification and development of the drainage system were carried out on the basis of a modern universal integrated program.

Key words: iron ore deposit, quarry, hydrogeological conditions, numerical modeling, water inflows, drainage system, drainage facilities, horizontal drainage well, sustainability, landslide processes.

Введение

Качарское железорудное месторождение находится на территории п. Качар Федоровского района в 45 км севернее г. Рудный; входит в сферу деятельности АО «Качары руда» и обрабатывается открытым способом. В настоящее время площадь карьера около 8,33 км² (ширина 2,92 км и длина 3,58 км), глубина карьера составляет около 480 м. Рудник работает с 1987 г.

В пределах горного отвода находятся четыре отвала вскрышных пород №7, №4, №3 и №8.

Для защиты карьера от поверхностного стока и организованного отвода воды имеется копань «Качар» и система нагорных канав.

По нагорным канавам в копань также сбрасывается часть грунтовых, па- водковых и дождевых вод из карьера.

Гидрогеологические условия района и месторождения сложные и предопределены особенностями их геологического строения и физико-географической обстановкой. Сверху вниз выделяются: грунто- вые поровые воды четвертичных отложений, пластово-поровые, слабо напорные в палеогеновых и меловых породах, напорные трещин- ные и трещинно-карстовые воды, приуроченные к изверженным, ме- таморфическим и осадочным обра- зованиям палеозоя.

До отработки месторождения естественный поток подземных вод

был направлен с запада на восток к р. Тобол, которая является на иссле- дуемой территории региональным базисом эрозии. При строительстве карьера были вскрыты все водонос- ные горизонты региона. В процессе осушения горной выработки в водо- носных горизонтах сформировалась депрессионная воронка, которая по результатам наблюдений за подзем- ными водами в последние годы ста- билизовалась и распространяется в радиусе порядка 7 км.

Система осушения состоит из подземного дренажного комплек- са и внутрикарьерных дренажных устройств. Средний водоприток в карьер в 2020 г. составил 237,6 м³/ч, в том числе за счет подземных вод

198 м³/ч и атмосферных осадков 39,6 м³/ч. Однако, несмотря на незначительный приток, за последнее время отмечается ухудшение условий для ведения горных работ. В верхних горизонтах, представленных глинистыми песками олигоцен-четвертичного возраста и глинами чеганской свиты, стали формироваться оползневые процессы¹.

Задачами исследований являлись оценка сложившейся гидродинамической обстановки в результате добычи полезного ископаемого, анализ структуры подземного потока и прогноз водопритоков в выработанное пространство, разработка технических решений по развитию системы осушения и повышение устойчивости уступов бортов карьера^{2,3}.

Методы исследования

Анализ и оценка сложившейся гидродинамической обстановки проводились в 2 этапа.

На первом этапе специалистами ОАО «ВИОГЕМ» были проведены полевые работы по обследованию всех бортов карьера и отвалов АО «Качары руда». В ходе исследований была выполнена гидрогеологическая съемка по выявлению источников водопоявлений, которые влияют на обводнение участков ведения горных работ. Дополнительно для обнаружения скрытых источников обводнения была произведена тепловизионная съемка приборного массива карьера и отвалов пород. По результатам маршрутного обследования зафиксированы выходы воды на северном, южном, западном и восточном бортах карьера. Установлена эффективность работы водоотводных канав, закартированы оползневые деформации на участках северного и южного бортов карьера.

Анализ результатов обследования участков расположения отвалов показал, что бессточный равнинный характер рельефа местности совместно с геолого-гидрогеологическими условиями залегания слабопроницаемых глинистых пород

в основании отвалов способствуют формированию техногенных водоносных горизонтов типа верховодки с близким к поверхности или выходящим на поверхность уровнем воды, что является дополнительным источником питания потока подземных вод, направленного в карьер¹.

На втором этапе для более глубокого анализа формирования водопритоков в карьер Качарского железорудного месторождения, получения количественных показателей прогноза водопритоков и разработки технических решений по развитию системы осушения были использованы методы цифровых технологий. Для оценки водопритоков при отработке железорудного карьера на начальном этапе исследований создавалась компьютерная региональная геофильтрационная модель района Качарского месторождения и, в дальнейшем, на ее основе строилась более детальная локальная модель¹.

Разработка геофильтрационной модели Качарского карьера основывалась на материалах по геолого-гидрогеологическим условиям, гидрологическим данным, количеству атмосферных осадков, уровням подземных вод, фильтрационным

параметрам, инфильтрации и водопритока к карьеру, а также на полученных результатах ОАО «ВИОГЕМ» при гидрогеологической и тепловизионной съемках карьера и отвалов пород¹.

Методика создания модели включала следующие этапы:

- схематизация природных и техногенных условий в районе исследований;
- подготовка и обработка исходной информации, разработка геологической и концептуальной моделей;
- переход от концептуальной модели к региональной геофильтрационной модели железорудного района и ее калибровка;
- на базе региональной модели создание локальной модели и ее калибровка для разработки технических решений по развитию системы осушения карьера.

Генерирование региональной численной модели стало возможным, благодаря использованию универсального программного обеспечения GMS (Groundwater Modeling System, USA), которое позволяет разрабатывать реалистичные объемные гидрогеологические модели для решения широкого класса задач: обоснование систем

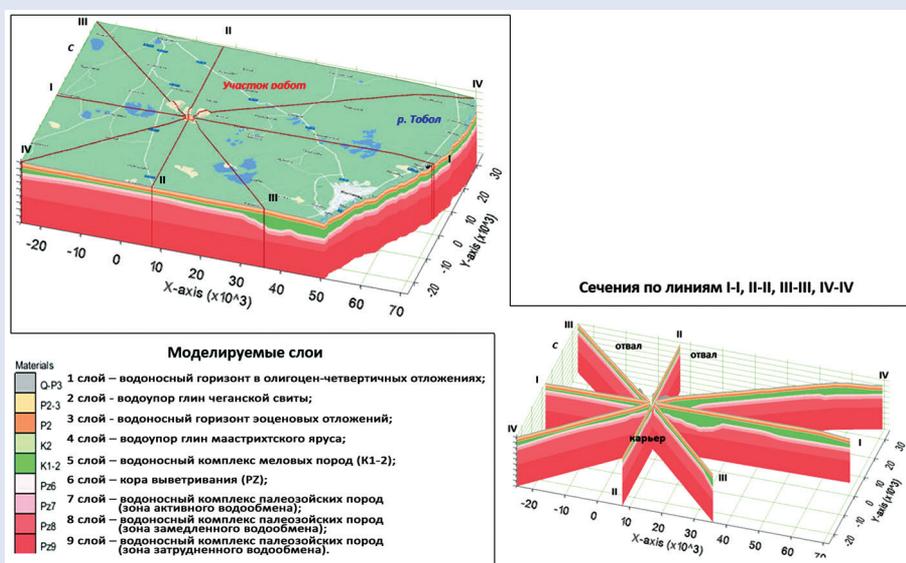


Рис. 1. Схема геофильтрационной модели в аксонометрии.
Сурет 1. Аксонометриядағы геофильтрация моделінің схемасы.
Figure 1. Scheme of the geofiltration model in axonometry.

¹Анализ условий формирования водопритоков в карьер и отвалы Качарского железорудного месторождения АО «Качары руда»; разработка технических решений по развитию системы осушения и водоотведения по объекту «Реконструкция Качарского карьера» [в 6 кн.]. – Белгород: ОАО «ВИОГЕМ», 2022.

²Справочник по осушению горных пород. / Под ред. Станченко И.К. – М.: Недра, 1984. – 572 с.

³Мироненко А.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики. – М.: Недра, 1974. – 296 с.

осушения месторождений, сравнение эффективности разных вариантов осушения и выбор оптимального; определение притоков к отдельным дренажным устройствам и дренажной системе защищаемого объекта на каждый период его обработки; прогноз влияния горно-осушительных работ на режим подземных вод прилегающей территории и решение задач по рациональному использованию водных ресурсов^{4,5} [1].

Поток подземных вод на участке моделирования схематизируется как плано-пространственный. Основным базисом эрозии для исследуемой территории является р. Тобол, которая задана в качестве внешней границы модели на востоке уровнем и сопротивлением ложа реки. Остальные рубежи модели реализованы как граничные условия первого рода и совпадают с границами ненарушенного режима подземных вод.

Область регионального моделирования исследуемой территории представляет собой прямоугольник размерами 60 км × 100 км и общей площадью 6000 км². Для моделирования выбрана прямоугольная конечно-разностная сетка с постоянным шагом по плановым пространственным координатам, равным 250 м.

Исходя из характера залегания и фильтрационных свойств пород, сверху вниз расчетная схема представлена девятью слоями (рис. 1):

- 1 слой – водоносный горизонт в олигоцен-четвертичных отложениях (Q-P₃);
- 2 слой – водоупор глин чеганской свиты (P_{2,3});
- 3 слой – водоносный горизонт эоценовых отложений (P₂);
- 4 слой – водоупор глин маастрихтского яруса (K₂);
- 5 слой – водоносный комплекс меловых пород (K_{1,2});
- 6 слой – кора выветривания (PZ);
- 7 слой – водоносный комплекс палеозойских пород (зона активно водообмена, PZ);
- 8 слой – водоносный комплекс палеозойских пород (зона замедленного водообмена, PZ);

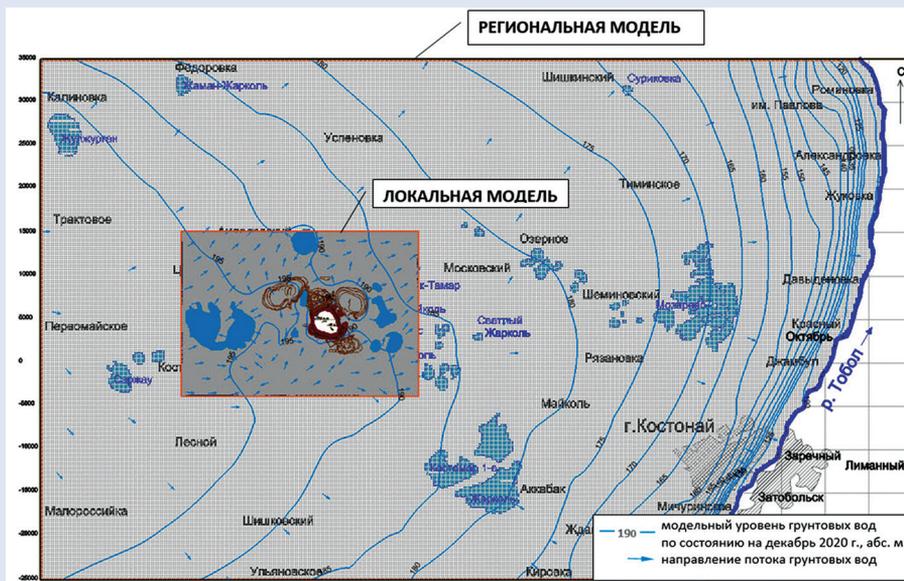


Рис. 2. Решение обратной задачи на локальной модели на 2020 г. в сочетании с региональной моделью.

Сурет 2. 2020 жылға арналған жергілікті модель бойынша аймақтық модельмен біріктірілген кері есептің шешімі.

Figure 2. Solution of the inverse problem on the local model for 2020 in combination with the regional model.

9 слой – водоносный комплекс палеозойских пород (зона затрудненного водообмена, PZ).

В результате, исследуемая область фильтрации на участке Качарского железорудного месторождения, соответственно, по осям X, Y и Z была разбита на 400 × 240 × 9 ячеек. Всего на модели было реализовано 864000 расчетных блоков.

Для формирования реалистичной трехмерной гидродинамической модели в программу была введена вся необходимая исходная информация, характеризующая геолого-гидрогеологические условия района работ, а также дополнительные количественные и качественные данные о природной среде и техногенной нагрузке.

Калибровка численной гидродинамической модели района Качарского месторождения и прилегающей территории производилась в две стадии:

- решение в стационарных условиях с получением модельных ненарушенных уровней воды;
- решение с максимальным приближением модельных и фактических уровней и водопритоков к карьеру на декабрь 2020 г.

Многочисленным перебором различных вариантов обратной задачи было достигнуто соответствие в установленном диапазоне модельных и натуральных значений напоров и уровней водоносных горизонтов и комплексов на моделируемой территории, при этом суммарный модельный водоприток в карьер за счет подземных вод составил 203,6 м³/ч (фактический 198 м³/ч). Разница между суммарным фактическим и модельным водопритоками составила незначительную величину в 2,8%. Разработанная региональная геофильтрационная модель была использована для создания локальной модели и прогноза изменения гидродинамической обстановки при развитии карьера и сооружении дренажных устройств.

Расчеты прогнозных водопритоков в карьер производились в 2 стадии. На 1 стадии на разработанной региональной модели были определены предварительные прогнозные водопритоки в карьер. Прогноз водопритоков затем был уточнен по трем основным этапам развития карьера: 2022 г., 2030 г. и конец отработки на локальных моделях.

⁴Кинцельбах В. Моделирование массопереноса и фильтрации подземных вод на основе компьютерных технологий. – Белгород: ВИОГЕМ, 2009.
⁵Groundwater Modeling System. / Tutorials, version 10.3. AQUAVEO. – 2018. – 1404 p.

Таблица 1
Кесте 1
Table 1

Распределение водопритока по участкам карьера (север и юг, региональная модель)
Су ағынын карьер учаскелері бойынша бөлу (солтүстік және оңтүстік, аймақтық үлгі)
Distribution of water inflow by quarry sections (north and south, regional model)

Водоносные горизонты, комплексы	Водопритоки подземных вод в карьер			
	Северный участок (абс. отм. отработки – 282 м)		Южный участок (абс. отм. отработки – 45 м)	
	м ³ /сут.	м ³ /ч	м ³ /сут.	м ³ /ч
<i>Осадочная толща</i>				
Водоносный горизонт олигоцен-четвертичных отложений	108,0	4,5	177,6	7,4
Водоносный горизонт эоценовых отложений	24,0	1,0	9,6	0,4
Водоносный комплекс меловых пород	624,0	26,0	264,0	11,0
Суммарный водоприток	732,0	31,5	451,2	18,8
<i>Коренные породы</i>				
Водоносный комплекс палеозойских пород	1550,4	64,6	2128,8	88,7
Общий водоприток	2306,4	96,1	2580,0	107,5

Для более детального моделирования и оценки параметров потока подземных вод, учета уровней воды в наблюдательных скважинах на модели и технических показателей горизонтов отработки карьера Качарского месторождения создавалась локальная «дочерняя» модель, охватывающая непосредственно область существующей системы мониторинга в районе карьера.

Локальная модель была получена из региональной с использованием принципа «дочернего» моделирования. GMS 10.3 включает версию MODFLOW-LGR, позволяющую делать сгущение сетки на требуемых участках в процессе решения геофильтрационных задач. MODFLOW-LGR может использоваться для создания моделей, содержащих локально улучшенные регионы в областях, где задаются ячейки малых размеров. Эти регионы признаются «дочерними» сетками региональной («родительской») модели с исходной сеткой. В MODFLOW-LGR баланс рассчитывается относительно напоров и потоков «дочерней» и исходных сеток с использованием итерационного метода при сохранении согласованности в граничных условиях вдоль границ «дочерней» и «родительской» (исходной) моделей⁵.

Для локального моделирования была определена площадь, охватывающая территорию вокруг Качарского

карьера, равную 520,065 км², которая представляет собой прямоугольник размерами 27,3 км × 19,05 км. Для локальной модели принята разбивка 50,0×50,0 м. При этом на модели по осям X, Y и Z, соответственно, было реализовано 546 × 381 × 9 ячеек, что составило 1872234 расчетных блоков (рис. 2).

Расчетами при многовариантном моделировании определены:

- распределение водопритока по водоносным горизонтам и комплексам;
- прогнозные притоки подземных вод в карьер по трем основным периодам его отработки;
- необходимое количество дренажных скважин в системе, их производительность и расстояние между ними;
- понижение уровня подземных вод в результате работы дренажных устройств.

Результаты исследования

В результате моделирования поставленных задач был проведен анализ формирования водопритоков из водоносных горизонтов и комплексов.

Основной приток подземных вод в карьер формируется из водоносного комплекса палеозойских пород и составляет на модели 153,3 м³/ч. Водоприток из водоносного комплекса меловых пород рассчитан на модели в объеме 37,0 м³/ч. Наиболее осушенными являются водоносные

горизонты в олигоцен-четвертичных отложениях, приток из которых на модели не превысил 11,9 м³/ч и в эоценовых отложениях – 1,4 м³/ч. Распределение водопритока по участкам карьера представлено в табл. 1.

Анализ условий распределения притока подземных вод в карьер на модели показал¹, что для осадочных пород основной водоприток формируется со стороны севера, северо-востока (31,5 м³/ч), по сравнению с южным бортом (18,8 м³/ч), а для палеозойских пород значительная часть притока приходится на южный участок (за счет карстующихся пород), приток к которому составил 88,7 м³/ч, по сравнению с северным (64,6 м³/ч), несмотря на то, что северный участок был отработан в 2020 г. до отметки –282 м, а южный до отметки –45 м.

Прогнозные водопритоки с учетом поступления поверхностных вод в карьер без дренажных мероприятий на модели составили:

- на 2022 г. – 271,1 м³/ч;
- на 2030 г. – 306,8 м³/ч;
- на конец отработки – 369 м³/ч.

Обсуждение результатов

На верхних горизонтах карьера происходит интенсивное питание за счет инфильтрации со стороны отвалов, техногенных водоемов и нагорных канав. В процессе дополнительного питания развивается замачивание пород в слабопроницаемых грунтах, что приводит к оползневым процессам на верхних горизонтах

и создает неблагоприятную обстановку для ведения горных работ³.

Для исключения деформаций верхних горизонтов олигоцен-четвертичных пород и глин чеганской свиты на локальной геофильтрационной модели на все периоды отработки были разработаны технические решения по развитию системы осушения. Система защиты карьера от подземных вод должна:

- обеспечить максимально возможный перехват потока подземных вод до их поступления на откосы уступов;
- сформировать в приоткосном массиве депрессионные поверхности, снижающие поровое давление и предотвращающие фильтрационные деформации уступов;
- обеспечить общую устойчивость бортов карьера как при длительном их стоянии, так и при постоянном продвижении [2-5].

В процессе моделирования технических решений были выбраны наиболее оптимальные варианты

дренажных мероприятий. Для Качарского месторождения на 2023-2030 гг. и 2031 г. – конец отработки карьера основным был рекомендован специальный способ осушения, при котором в качестве дренажных устройств используются горизонтальные дренажные скважины (ГДС). Специальный способ осушения с применением ГДС является наиболее приемлемым с экономической точки зрения и простым в исполнении, а также является мобильным и обеспечивает при незначительных притоках подземных вод отодвигание депрессионной воронки в рыхлых породах в глубь массива, что приводит к повышению устойчивости уступов [6-8].

В результате моделирования были определены параметры дренажных устройств и их дебит. Горизонтальные дренажные скважины бурят в борт карьера для осушения олигоцен-четвертичных пород. Они имеют протяженность (глубину) 80 м, сооружаются по 3 скважины

в кусте из каждого дренажного узла веером с углом между скважинами 40-65° с таким расчетом, чтобы охватить максимальную площадь осушения. Система осушения карьера на 2030 г. состоит из 23 дренажных узлов горизонтальных скважин (рис. 3).

Первые 2 дренажных узла (ДУ1 и ДУ2) сооружаются в ближайший год на северном борту карьера с наиболее неблагоприятными условиями обводнения и деформациями пород. Прогнозный суммарный дебит 23 дренажных узлов горизонтальных скважин на 2030 г. составил 322,0 м³/сут. (13,42 м³/ч), прогнозные дебиты отдельных скважин на отдельных участках достигает 30 м³/сут., при этом уровень грунтовых вод снижается на 0,5-7,0 м и происходит отодвигание депрессионной воронки в глубь массива, что приводит к уменьшению порового давления.

На конец отработки в работе остается 20 дренажных узлов горизонтальных скважин; также для дополнительного осушения меловых пород со стороны их максимального развития было предложено соорудить 6 водопонижающих скважин. Приток к дренажным узлам горизонтальных скважин составил 297,6 м³/сут. (12,4 м³/ч), к водопонижающим скважинам – 691,2 м³/сут. (28,8 м³/ч) при понижении уровней грунтовых вод на 0,5-14,0 м, что уменьшает вероятность возникновения деформационных процессов на верхних горизонтах карьера.

Разработанные технические решения по развитию системы осушения обеспечивают опережающий перехват потока подземных вод до поступления его в открытые горные выработки и позволяют бороться с фильтрационными деформациями на верхних уступах карьера, повышают геомеханическую устойчивость олигоцен-четвертичных пород, что существенно улучшает условия отработки добычных горизонтов⁶.

Закключение

Разработаны региональная и локальная геофильтрационные модели в программном комплексе GMS.

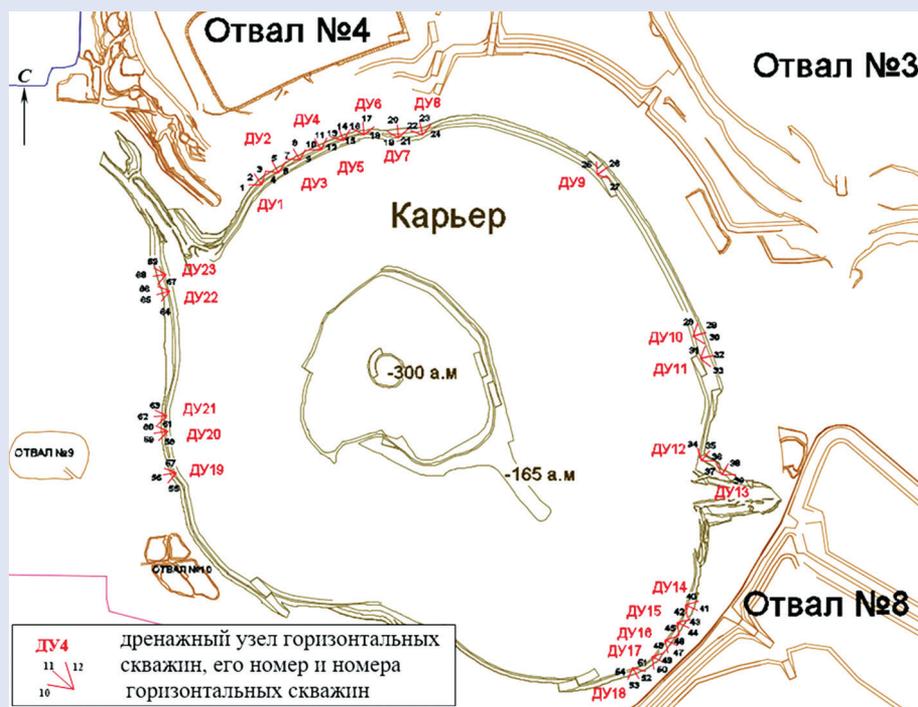


Рис. 3. Схема размещения дренажных узлов горизонтальных скважин (2030 г.).

Сурет 3. Көлденең ұңғымалардың дренаждық қондырғыларын орналастыру схемасы (2030 ж.).

Figure 3. Scheme of placement of drainage units of horizontal wells (2030).

⁶Геолого-структурное картирование уступов южного и юго-восточного бортов карьера «Восточный» и оценка их устойчивости. Гидрогеологическое обоснование, разработка локальной геофильтрационной модели и технических решений по снижению обводненности бортов карьера «Восточный». – Белгород: ОАО «ВНОГЕМ», 2017.

На моделях выполнены всесторонние исследования сложившейся гидродинамической обстановки при ведении добычных работ на Качарском железорудном месторождении. Получена актуальная структура потока подземных вод с учетом размеров карьера, технологии ведения вскрышных и добычных работ, сформированных отвалов, искусственных водоемов и водотоков, технологии защиты

карьера от отрицательного влияния поверхностных и подземных вод.

Анализ результатов моделирования и условий формирования водопритоков в карьер позволил разработать технические решения по развитию системы осушения с целью уменьшения отрицательного воздействия подземных вод на устойчивость уступов бортов карьера, снижению порового давления в породах прибортового

массива и обеспечению наиболее благоприятных условий для ведения горных работ на горизонтах отработки. Выполнена многовариантная оценка различных комбинаций дренажных устройств (горизонтальные и вертикальные скважины, их комбинации, узкотраншейные дрены, площадной дренаж) и предложены наиболее оптимальные структура и технология осушения карьера и основания отвалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Jay Krishna Takir. Гидрогеологическое моделирование для совершенствования систем и мониторинга подземных вод. // Прикладная наука о воде. – 2017. – Т. 7. – С. 3223-3240 (на английском языке)
2. Титов В.И., Забусов Н.И., Ряжских М.В., Лукьяненко Н.И. Изучение гидрогеологической обстановки для выработки проектных решений по снижению обводненности бортов карьеров. // Горный журнал. – 2019. – №10(2267). – С. 15-18 (на русском языке)
3. Агарков Н.Б., Еремица В.Г., Маликов А.М., Шконда В.Н. Научно-технические исследования и проектирование систем осушения. // Горный журнал. – 2019. – №10(2267). – С. 22-24 (на русском языке)
4. Воронин А.А., Волков Ю.И., Жданова Т.В., Вершинина О.О. Обоснование и разработка современных способов защиты горных выработок от подземных вод. // Горный журнал. – 2019. – №10(2267). – С. 18-21 (на русском языке)
5. Агарков Н.Б., Волков Ю.И. Технология проектирования систем осушения и гидрогеологические исследования. // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2020. – №2. – С. 18-22 (на русском языке)
6. Чучелин Л.Д., Кузькин В.С., Малацковский Ф.С. и др. // Осушение бортов карьеров с помощью горизонтальных дренажных скважин. // Горный журнал. – 1981. – №12. – С. 16-18 (на русском языке)
7. Müller M., Jolas P., Mansel H., Struzina M., Drebenstedt C. Осушение многоводных карьеров с рыхлой горной породой – альтернативные решения с помощью горизонтальных скважин. // Шахтные воды и окружающая среда. – 2011. – Т. 30. – Вып. 2. – С. 90-104 (на английском языке)
8. Mansel H., Drebenstedt C., Jolas P., Blankenburg R. Осушение карьеров горизонтальными скважинами. // Международная ассоциация шахтных вод. – 2012. – С. 574А-574І (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Jay Krishna Takir. Жер асты суларының жүйелерін жақсарту үшін гидрогеологиялық модельдеу және мониторинг. // Қолданбалы су туралы ғылым. – 2017. – Т. 7. – Б. 3223-3240 (ағылшын тілінде)
2. Титов В.И., Забусов Н.И., Ряжских М.В., Лукьяненко Н.И. Ашық карьерлердің жақтарын суаруды азайту бойынша жобалық шешімдерді әзірлеу мақсатында гидрогеологиялық жағдайды зерттеу. // Тау-кен журналы. – 2019. – №10(2267). – Б. 15-18 (орыс тілінде)
3. Агарков Н.Б., Еремица В.Г., Маликов А.М., Шконда В.Н. Дренаждық жүйелерді ғылыми-техникалық зерттеу және жобалау. // Тау-кен журналы. – 2019. – №10(2267). – Б. 22-24 (орыс тілінде)
4. Воронин А.А., Волков Ю.И., Жданова Т.В., Вершинина О.О. Кен қазбаларын жер асты суларынан қорғаудың заманауи әдістерін негіздеу және дамыту. // Тау-кен журналы. – 2019. – №10(2267). – Б. 18-21 (орыс тілінде)
5. Агарков Н.Б., Волков Ю.И. Дренаждық жүйелерді жобалау технологиясы және гидрогеологиялық зерттеулер. // Қазақстанның тау-кен журналы. – Алматы, 2020. – №2. – Б. 18-22 (орыс тілінде)
6. Чучелин Л.Д., Кузькин В.С., Малацковский Ф.С. және т.б. // Көлденең дренажды ұңғымаларды пайдалана отырып, карьер қабырғаларын дренаждау. // Тау-кен журналы. – 1981. – №12. – Б. 16-18 (орыс тілінде)

7. Müller M., Jolas P., Mansel H., Struzina M., Drebenstedt C. Көп сулы горизонтты шоғырландырылмаған тау жыныстарының ашық кеніштерін сусыздандыру – көлденең ұңғымалармен балама шешімдер. // Шахта суы және қоршаған орта. – 2011. – Т. 30. – Шығ. 2. – Б. 90-104 (ағылшын тілінде)
8. Mansel H., Drebenstedt C., Jolas P., Blankenburg R. Көлденең ұңғымаларды пайдалана отырып, ашық шахталарды сусыздандыру. // Тау-кен суларының халықаралық қауымдастығы. – 2012. – Б. 574A-574I (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Jay Krishna Takur. Hydrogeological modeling to improve groundwater systems and monitoring. // Applied Water Science. – 2017. – Т. 7. – P. 3223-3240 (in English)
2. Titov V.I., Zabusov N.I., Ryazhskikh M.V., Luk'yanenko N.I. Izuchenie gidrogeologicheskoy obstanovki dlya vyrabotki proektnyx reshenij po snizheniyu obvodnennosti bortov kar'erov [Study of the hydrogeological situation to develop design solutions to reduce the watering of the sides of open pits]. // Gornyj zhurnal = Mining journal. – 2019. – №10(2267). – P. 15-18 (in Russian)
3. Agarkov N.B., Eremica V.G., Malikov A.M., Shkonda V.N. Nauchno-texnicheskie issledovaniya i proektirovanie sistem osusheniya [Scientific and technical research and design of drainage systems]. // Gornyj zhurnal = Mining journal. – 2019. – №10(2267). – P. 22-24 (in Russian)
4. Voronin A.A., Volkov Yu.I., Zhdanova T.V., Vershinina O.O. Obosnovanie i razrabotka sovremennykh sposobov zashhity gornyx vyrabotok ot podzemnykh vod [Substantiation and development of modern methods of protection of mine workings from underground waters]. // Gornyj zhurnal = Mining journal. – 2019. – №10(2267). – P. 18-21 (in Russian)
5. Agarkov N.B., Volkov Yu.I. Tekhnologiya proektirovaniya sistem osusheniya i gidrogeologicheskije issledovaniya [Technology for designing drainage systems and hydrogeological studies]. // Gornyj zhurnal Kazaxstana = Mining journal of Kazakhstan. – Almaty, 2020. – №2. – P. 18-22 (in Russian)
6. Chuchelin L.D., Kuz'kin B.C., Malackovskij F.S. i dr. // Osushenie bortov kar'erov s pomoshh'yu gorizontal'nykh drenazhnykh skvazhin [Drainage of open pit walls using horizontal drainage wells]. // Gornyj zhurnal = Mining journal. – 1981. – №12. – P. 16-18 (in Russian)
7. Müller M., Jolas P., Mansel H., Struzina M., Drebenstedt C. Dewatering of Multi-aquifer Unconsolidated Rock Opencast Mines – Alternative Solutions with Horizontal Wells. // Mine Water and the Environment. – Jun2011. – Vol. 30 Issue 2. – p. 90-104 (in English)
8. Mansel H., Drebenstedt C., Jolas P., Blankenburg R. Dewatering of opencast mines using horizontal wells. // International Mine Water Association. – 2012. – P. 574A-574I (in English)

Сведения об авторах:

Ряжских М.В., старший научный сотрудник гидрогеологического отдела Открытого акционерного общества «ВЮГЕМ» (г. Белгород, Россия), Rjzhskikh_MV@viogem-sp.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8283-0360>

Титов В.И., главный специалист гидрогеологического отдела Открытого акционерного общества «ВЮГЕМ» (г. Белгород, Россия), Titov_VI@viogem-sp.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6166-6215>

Ступакова М.С., гидрогеолог Акционерного общества «Качары руда» (г. Рудный, Казахстан), Info.kacharyruda@erg.kz; <https://orcid.org/0000-0003-2287-0878>

Менгель Д.А., главный геотехник Акционерного общества «Качары руда» (г. Рудный, Казахстан), Info.kacharyruda@erg.kz; <https://orcid.org/0000-0002-2613-5689>

Авторлар туралы мәліметтер:

Ряжских М.В., «ВЮГЕМ» Ашық акционерлік қоғамының гидрогеология бөлімінің аға ғылыми қызметкері (Белгород қ., Ресей)

Титов В.И., «ВЮГЕМ» Ашық акционерлік қоғамының гидрогеология бөлімінің бас маманы (Белгород қ., Ресей)

Ступакова М.С., «Кашары руда» Акционерлік қоғамының гидрогеологы (Рудный қ., Қазақстан)

Менгель Д.А., «Кашары руда» Акционерлік қоғамының бас геотехнигі (Рудный қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Ryazhskikh M.V., Senior Researcher at the Hydrogeological Department of the Open Joint Stock Company «VIOGEM» (Belgorod, Russia)

Titov V.I., Chief Specialist at the the Hydrogeological Department of the Open Joint Stock Company «VIOGEM» (Belgorod, Russia)

Stupakova M.S., Hydrogeologist of the Joint Stock Company «Kachary ruda» (Rudny, Kazakhstan)

Mengel D.A., Chief Geotechnician of the Joint Stock Company «Kachary ruda» (Rudny, Kazakhstan)