ГЕОЛОГИЯ

GEOLOGY

УДК 624.131.7

Р.Э.ДАШКО, *д-р геол.-минерал. наук, профессор, regda2002@mail.ru*
И.В.АЛЕКСЕЕВ, *студент, alekseew.ivan@gmail.com*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

R.E.DASHKO, *Dr. in geol. & min. sc., professor, regda2002@mail.ru*
I.V.ALEXEEV, *student, alekseew.ivan@gmail.com*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ВЛИЯНИЕ ЗАКАЧКИ РУДНИЧНЫХ ВОД В НИЖНЕКАМЕННОУГОЛЬНЫЙ ВОДОНОСНЫЙ ГОРИЗОНТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВОДОЗАЩИТНОГО ЦЕЛИКА ЯКОВЛЕВСКОГО РУДНИКА ОДНОИМЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КМА (ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ)

Рассмотрено формирование рудничных вод Яковлевского рудника (Яковлевское месторождение КМА), особенности их сброса на рельеф и связанные с ними экологические проблемы. Приведены варианты очистки рудничных вод. Особое внимание уделено проекту их утилизации путем закачки в высоконапорный нижнекаменноугольный водоносный горизонт. Изложены негативные последствия данного мероприятия и характер его воздействия на водозащитный целик, определяющий безопасность ведения горных работ.

***Ключевые слова*:** рудничные воды, микроорганизмы, газогенерация, биокоррозия, безопасность ведения горных работ, водозащитный целик.

INFLUENCE OF DRAINAGE WATER INJECTION IN THE LOWER CARBONIFEROUS AQUIFER ON STABILITY OF THE PROTECTIVE AQUICLUDE OF THE YAKOVLEVSKY MINE OF THE SAME-NAME DEPOSIT KMA (PHYSICAL-CHEMICAL AND BIOCHEMICAL ASPECTS)

Drainage water formation of the Yakovlevsky mine (Yakovlevsky deposit, KMA) is considered, as well as the features of its discharge to soak away and thereto related ecological issues. Ways of drainage water treatment are presented. The particular focus is given to the project of its disposal in the high-head Lower Carboniferous aquifer using injection methods. Negative effects of this measure and nature of its impact on the water-protective layer, determining safety of mining operations, are stated.

***Key words*:** drainage water, microorganisms, gas-generation, biocorrosion, safety of mining operations, water-protective aquiclude.

В настоящее время в обводнении Яковлевского рудника принимают участие, главным образом, два водоносных горизонта – рудно-кристаллический и нижнекаменноугольный. Именно они определяют формирование объемов и химического состава рудничных вод. В начале 2012 г. общий водоприток в подземные выработки, на 2/3 сформированный водами нижнекаменноугольного горизонта и на 1/3 – водами рудно-кристаллического, составил 420 $м^3$/сут. Воды первого поступают в процессе нисходящего перетекания из карбонатной толщи нижнекаменноугольного горизонта. Они обладают гидрокарбонатно-натриевым составом, общей минерализацией менее 600 мг/л и характеризуются повышенным содержанием фторидов (более 5-8 мг/л до 14-15 мг/л), а также генерацией сероводорода в нижней части разреза.

Воды рудно-кристаллического горизонта приурочены к трещиноватым материнским породам зоны коры выветривания докембрийских кристаллических образований, интрузиям гранитов, а также дисперсным железным рудам. Осушение рудно-кристаллического горизонта производится с помощью самоизливающихся горизонтальных и слабонаклонных скважин, действующих на горизонте –425 м. Кроме того, повсеместно фиксируется разгрузка вод по тектоническим трещинам гранитных тел. В химическом отношении воды рудно-кристаллического горизонта имеют хлоридно-натриевый состав, содержание бикарбонатов около 200 мг/л и минерализацию от 2,3-3,0 г/л. В зонах восходящего перетекания глубинных вод в гранитных массивах минерализация повышается до 12 г/л, отмечаются повышенные содержания брома, бора, эксгаляции газов – метана, азота, аргона, гелия. Смешение вод указанных горизонтов в подземных выработках сопровождается загрязнением их нефтепродуктами (в том числе горюче-смазочными материалами) и утечками из локальных канализационных систем рудника. Кроме того, эти воды обогащаются тонкодисперсным материалом железных руд в процессе размыва стенок водоотводящих канавок. Формирующиеся таким образом рудничные воды характеризуются следующим химическим составом: содержание Na^+ и K^+ – 1151,2 мг/л, NH_4^+ – 0,22 мг/л, Cl^- – 1553,0 мг/л, SO_4^{2-} – 142,3 мг/л, NO_3^- – 8,32 мг/л, NO_2^- – 0,027 мг/л, pH – 7,91, минерализация – 2842,0 мг/л*.

В воде также присутствуют такие микрокомпоненты, как фтор (6,68 мг/л), железо общее (0,23 мг/л), медь (10^{-3} мг/л), цинк ($3 \cdot 10^{-2}$ мг/л), никель ($7 \cdot 10^{-4}$ мг/л), марганец ($6 \cdot 10^{-2}$ мг/л), свинец ($3 \cdot 10^{-4}$ мг/л). Нефтепродукты зафиксированы в количестве $2 \cdot 10^{-2}$ мг/л. Особое внимание должно быть обращено на содержание общей органики, определяемой по значению химического потребления кислорода (ХПК), которое достигает 32,72 мг O_2/л, а также на значение биологического потребления кислорода (БПК) 7,94 мг O_2/л, характеризующее присутствие аэробной микрофлоры. Содержание взвешенных веществ равно 15 мг/л, их состав не изучался. Однако, исходя из параметров устойчивости суспензии рудничных вод и их цвета, основным компонентом взвеси являются коллоидные фракции гидрооксидов железа богатых железных руд типа «красок».

Воды указанного состава откачиваются на поверхность, в пруд-отстойник, откуда по Вороньей балке попадают в Рязановское водохранилище, затем сбрасываются в Крапивинское водохранилище, расположенное на р.Ворскла (см. рисунок). В результате этого ухудшаются состав и свойства речных вод системы Днепра, предназначенных для рыбохозяйственного использования. В сбрасываемых водах наблюдается превышение установленных приказом Росрыболовства (от 18.01.2010 № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбо-

* *Гусев В.Н.* Основные принципы организации и развития гидрогеомеханического мониторинга в подземных выработках Яковлевского рудника / В.Н.Гусев, Р.Э.Дашко, Н.С.Петров // Записки Горного института. СПб, 2006. Т.168. С.149-158.

Gusev V.N., Dashko R.E., Petrov N.S. Main principles of organization and development of hydrogeomechanical monitoring in the underground workings of the Yakovlevsky mine // Proceedings of Mining Institute. Saint Petersburg, 2006. Vol.168. P.149-158.

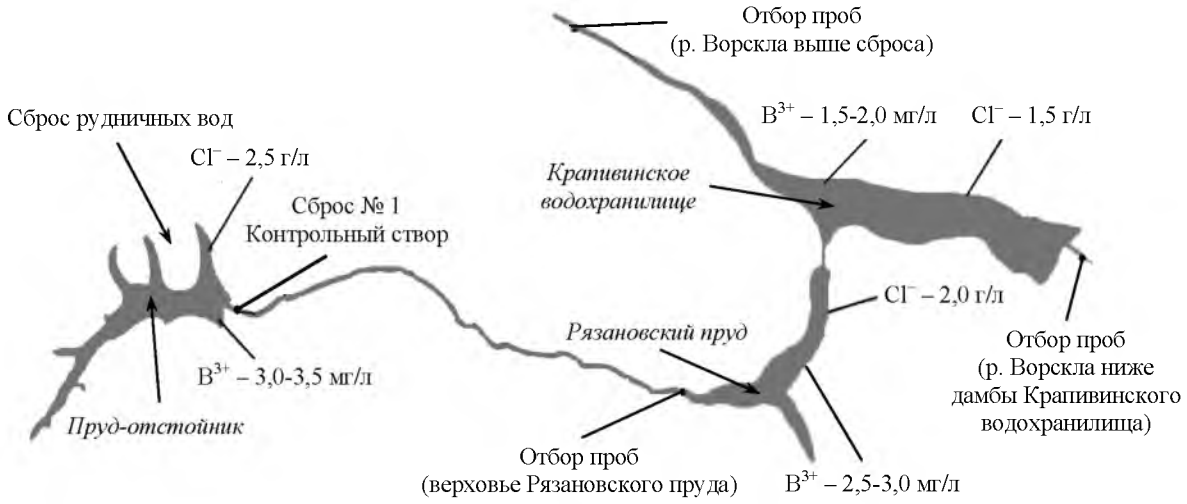


Схема сброса рудничных вод на рельеф

хозяйственного значения») предельно-допустимых концентраций ряда веществ: хлора (300 мг/л); сульфат-иона (100 мг/л); бора (0,5 мг/л); железа (0,1 мг/л); фтора (0,05 мг/л); аммония (0,05 мг/л); марганца (0,01 мг/л); цинка (0,001 мг/л).

Увеличение объемов добычи железных руд и развитие фронта очистных работ, наблюдаемое в данный момент на Яковлевском руднике, неразрывно связано с изменением количества откачиваемых вод (420 $м^3$/ч в 2012 г. против 450 $м^3$/ч в 2011 г.). Очевидно, что пруды-отстойники, а также водохранилища, в которых разбавление рудничных стоков происходит за счет атмосферных осадков и поступления грунтовых вод, не могут и дальше выполнять своей экологической функции. Для решения проблемы защиты поверхностных вод от загрязнения был предложен ряд вариантов очистки рудничных стоков. Основное внимание было уделено хлоридам, фторидам и бору, концентрации которых значительно превышают допустимые.

Способ, предложенный Горным университетом, заключается в доведении дренируемых вод до требуемых кондиций, допускающих их прямой сброс в речную сеть, путем разбавления пресными водами дополнительного водохранилища, расположенного выше Крапивинского водохранилища и аккумулирующим паводковую воду, расход которой для данного региона превышает 9 $м^3$/с. Кроме того, для очистки вод рекомендуется использовать фильтрующую дамбу, состоящую из гравия известняка с примесью песчано-глинистого материала, с уложенными на ее верховой откос сменяемыми сорбирующими фтор и бром габионами («тюфяками»). Рассматривается также возможность утилизации дренируемых вод в качестве минеральных, что в значительной степени может снизить объемы высокоминерализованных вод. Высокое содержание хлоридов, щелочных элементов, полезных бальнеологических микрокомпонентов (брома, бора, фтора), кремниевой кислоты позволяет использовать эти воды как лечебные для питья, а также ванн и орошений.

Другим вариантом утилизации рудничных вод, сбрасываемых в р. Ворскла, служит проект, предложенный ОАО НТЦ «НовоТЭК», который предусматривает сокращение их объема путем закачки части этих вод в существующие в пределах шахтного поля скважины, пройденные ранее для реализации водопонижения нижнекаменноугольного водоносного горизонта. Предлагается проводить обратную закачку вод с дебитом 250 $м^3$/ч в скважины № 52в, 59в, 28в, 57в и 1008.

Следует отметить, что эффективность осушения рудного тела во многом обеспечивает безопасность ведения горных работ

на Яковлевском руднике, а также устойчивость пород и руд на разрабатываемых глубинах. Существующая разность напоров между рудно-кристаллическим и нижнекаменноугольным водоносными горизонтами предопределяет нисходящее перетекание пресных вод известняков нижнего карбона и формирование общих водопритоков в горные выработки. Предлагаемая «НовоТЭК» закачка рудничных вод приведет к восстановлению пьезометрической поверхности нижнекаменноугольного водоносного горизонта и скажется на интенсификации процессов перетекания вод через верхнюю часть рудного тела за счет роста градиентов напора. Закачка рудничных вод значительно усугубит напряженную гидродинамическую обстановку в подземных выработках, которая чревата возможностью формирования локальных прорывов подземных вод через водозащитный целик. За счет вторичного увлажнения руд и пород, снижения прочности структурных связей в результате выщелачивания карбонатов из прочных типов руд и перехода БЖР в неустойчивое состояние интенсифицируется процесс куполения в водозащитной зоне целика на горизонте –370 м, происходит снижение мощности этой зоны и, как следствие, повышается вероятность прорывов.

Для оценки изменения напряженно-деформированного состояния защитного целика при закачке рудничных стоков в нижнекаменноугольный водоносный горизонт доцентом кафедры горных предприятий и подземных сооружений Д.А.Потемкиным было проведено компьютерное моделирование с учетом реальной геолого-гидрогеологической ситуации на руднике, которое позволило выявить участки растягивающих напряжений, негативно сказывающихся на прочности известняков и способствующих формированию прорывов подземных вод.

Специального изучения требует вопрос влияния закачки рудничных вод в карбонатную толщу и на протекающие в ней физико-химические и биохимические процессы. Как отмечалось, в нижней и средней части толщи нижнекаменноугольного горизонта Яковлевского рудника имеется богатейший источник органического вещества в форме бурых углей, углистых битуминозных глин, в которых присутствуют соединения серы и азота. Об активной деятельности микроорганизмов в подобных условиях свидетельствует образование сероводорода, генерируемого сульфатредуцирующими бактериями, относящимися к числу анаэробных гетеротрофов. При закачке рудничных вод будет наблюдаться повышение минерализации вод карбонового водоносного горизонта, поступление питательных и энергетических субстратов, что является фактором, активизирующим микробную деятельность и биохимические процессы в пласте. В водоносный горизонт будут поступать калий, натрий, соединения серы, азота, фосфаты, а также ряд микроэлементов: железо, бор, бром, играющие важную роль в жизнедеятельности микробиоты. Белки, жиры и углеводы, поступающие с рудничными водами, будут служить прекрасным субстратом для действующего микробиоценоза. Одновременно с ними в водоносный горизонт будут попадать и окисленные нефтепродукты, которые легко утилизируются богатым биоценозом, являясь для него идеальной подкормкой. Следует также отметить существование на руднике температурного оптимума для деятельности микроорганизмов, утилизирующих углеводороды и другие органические вещества.

В 2011 г. доцентом кафедры микробиологии СПбГУ Е.Ю.Дмитриевой были проведены микробиологические исследования образцов рудничных вод Яковлевского рудника, направленные на выявление в них бактерий-газообразователей. Определение присутствия денитрификаторов проводилось по появлению пузырьков газа. Признаками роста сульфатредуцирующих бактерий было образование сероводорода (оценивался органолептически) и черного налета или осадка гидротроилита в пробирках. Результаты таких исследований осадка рудничных вод свидетельствуют о высокой зараженности этих вод разными группами микроорганизмов, что отражается общим микробным числом свыше 10^5 КОЕ/мл. В водах присут-

ствуют мощные газообразователи: денитрификаторы, сульфит- и сульфат-редукторы, а также ацидофильные тиобациллы, вырабатывающие серную кислоту и активно участвующие в разрушении металлических конструкций.

Согласно РД 51-31323949-48-2000 «Гидрогеоэкологический контроль на полигонах закачки промышленных сточных вод», необходимо учитывать наличие в стоках сульфатредуцирующих бактерий, поскольку при закачке происходит активизация их деятельности, сопровождающаяся непрерывным образованием большого количества H_2S. В случае Яковлевского рудника повышение содержания сероводорода в перетекающих через водозащитный целик водах нижнекаменноугольного водоносного горизонта может спровоцировать растворение карбонатного цемента прочных железных руд, которые служат жестким каркасом водозащитного целика. Ослабление каркаса приведет к снижению прочности и устойчивости целика, а следовательно, и к резкому снижению допускаемого давления напорного горизонта.

При биохимическом газообразовании угрозу представляет также образование метана и молекулярного азота, относящихся к малорастворимым газам, которые при накоплении в пласте приводят к повышению газодинамического давления, сказывающегося на напряженно-деформированном состоянии. Причем в проведенных опытах образование метана происходит благодаря обнаруженным на руднике метанообразующим бактериям, особо активно протекая при наличии в воде жирных кислот и углеводов, характерных для бытовых отходов и канализационных стоков, которые зафиксированы в рудничных водах. Обнаруженные денитрифицирующие бактерии ответственны за образование молекулярного азота*.

Одновременное снижение прочности глинистых прослоев (за счет роста микробной массы) в толще известняков и развитие газодинамического давления (за счет депонирования CH_4 и N_2) приведет к ослаблению всего массива в целом. Фильтрация сероводородных вод через водозащитный целик вызовет снижение его прочности, интенсифицирует процессы перетекания и куполения, повышая риск возникновения локальных прорывов на разрабатываемых глубинах не только за счет ослабления защитного массива, но и снижения его мощности.

Таким образом, реализация проекта «НовоТЭК» по закачке рудничных вод должна рассматриваться с точки зрения безопасности ведения горных работ и появления реальной возможности затопления рудника при прорыве вод из высоконапорного водоносного горизонта.

---

* *Аркадьева З.А.* Промышленная микробиология: Учеб. пособие для вузов / З.А.Аркадьева, А.М.Безбородов / Под ред. Н.С.Егорова. М., 1989. 688 с.

Arkadieva Z.A., Bezborodov A.M. Industrial microbiology: Textbook for students / Ed. by N.S.Egorova. Moscow, 1989. 688 p.