

ценность их за счет этого фактора может повышаться. Химический тип определяется как сульфатно-хлоридный натриевый или хлоридно-сульфатный натриевый.

Самый глубокий, продуктивный горизонт – морсовский среднего девона. Минеральные воды приурочены к гипсово-доломитовым известнякам. Глубина кровли горизонта достигает 330-350 м. Горизонт так же, как и вышеуказанные является напорным. Однако отмечается пониженная водообильность пород, т.к. удельный дебит скважин составляет в районе г. Чаплыгина 0,007 л/сек [1].

Воды характеризуются повышенной минерализацией, около 10 мг/дм<sup>3</sup>. В водах как правило присутствует в повышенных значениях бром до 70 мг/дм<sup>3</sup>.

Применяя опыт работ на минеральные воды России и проведя территориальный анализ Хлевенского района можно сделать рекомендации о совместной эксплуатации воробьевского и мосоловских продуктивных водоносных горизонтов. При совместном использовании горизонтов дебит скважин будет увеличен и, таким образом, общая производительность их существенно возрастет. Совместное

использование горизонтов не повлияет на изменение минерализации воды и лечебного фактора. Это определяется тем, что химический состав минеральных вод этих горизонтов практически одинаков.

Перспективные минеральные воды могут быть использованы как лечебно-столовые и лечебные при развитии курортов и здравниц. Бальнеологические свойства минеральной воды "Хлевенская" могут с успехом применяться при заболеваниях печени, желчно-выводящих путей, хронических болезнях желудка, обмена веществ и др.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Окорочков В.А. Минеральные подземные воды // Природа Липецкой области и ее охрана. – Воронеж, 1993. – С. 48-54.
2. Панкратов В., Шукина Р. Как сохранить здоровье в условиях экологического неблагополучия // Природа Липецкой области и ее охрана. – Липецк, 1999. – С. 26-34.
3. Смирнова А.Я., Бочаров В.Л., Лукьянов В.Ф. Минеральные воды Воронежской области. Воронеж, 1995. – 182 с.

*УДК 556.3:550.42*

## ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД МИХАЙЛОВСКОГО ПРОМРАЙОНА КМА

**М.Н. Бугреева, Р.И. Титов**

*Воронежский государственный университет*

В статье дана оценка гидродинамического и гидрогеохимического режимов альб-сеноманского водоносного горизонта Михайловского промрайона. Указана связь этих режимов с деятельностью горно-обогатительного комбината. В пределах исследуемой территории выделено два гидродинамических района, для которых установлены ведущие гидрохимические типы вод. Указаны основные техногенные объекты, влияющие на химический и уровневый режимы водоносного горизонта. Установлена их пространственная корреляция с локальными аномалиями меди, железа и нитратов. Предложены водоохранные мероприятия.

Район Михайловского месторождения железистых кварцитов приурочен к юго-западному склону Среднерусской возвышенности и представляет собой слабовсхолмленную равнину, расчлененную сетью речных долин, балок и оврагов. Абсолютные отметки дневной поверхности варьируют от +150 м в долинах рек до 220-235 м на водоразделах. В рельефе междуречий преобладают ландшафты возвышенных пологохолмистых равнин с глубиной эрозийного вреза до 50-80 м, иногда до 110 м. В результате проведения горно-добычных работ, рельеф на месторождении значительно преобразился. Интенсивное техногенное воздействие привело к образованию новых специфичных форм рельефа: карьера размером 6,5x2,5 км; отвалов вскрышных пород, возвышающихся на 40-50 м над дневной поверхно-

стью; широких полей гидроотвалов. При этом первичные формы рельефа задействованы для создания искусственных водоемов, отвалов и гидроотвалов, хвостохранилища. Построена густая сеть автодорог, железнодорожных путей, электролиний, трубопроводов.

Гидрография района представлена бассейном реки Свапа и ее притоками: Усожа, Чернь, Речица, Песочная и другими более мелкими речками и ручьями. Долины наиболее крупных рек имеют террасированные склоны и относительно широкие поймы. Мелкие водотоки наследуют долины древних балок, склоны которых часто изрезаны оврагами. Режимы рек Чернь и Речица нарушены из-за воздействия водопонижающей системы карьера Михайловского ГОКа. Для защиты карьера от затопления паводко-

выми водами по их бортам отсыпаны дамбы и прорыты отводные каналы. На упомянутых выше реках создано несколько мелких водохранилищ и прудов, в том числе и хвостохранилище на реке Песочная, служащее для складирования хвостов магнитной сепарации. Воды рек района используются для водоснабжения, орошения, разведения рыбы и рекреации.

Михайловское железорудное месторождение КМА является одним из крупнейших в Российской Федерации. Запасы его служат сырьевой базой Михайловского горно-обогатительного комбината – одного из крупнейших предприятий по производству агроруды, железорудных офлюсованных окатышей и концентрата.

Производственная деятельность комбината сильно изменила строение и свойства подземной гидросферы. С введением в эксплуатацию Михайловского месторождения сформировалась специфическая гидродинамическая обстановка, происходит изменение химического состава поверхностных и подземных вод. Наиболее подвержен антропогенному воздействию альб-сеноманский водоносный горизонт, который является одним из главных источников водоснабжения района.

На территории Михайловского горно-обогатительного комбината (МГОК) имеется сеть режимных скважин, по которым проводятся наблюдения за уровнями воды и химическим составом водоносных горизонтов.

Для установления особенностей гидрогеохимической обстановки альб-сеноманского водоносного горизонта в пределах Михайловского промрайона нами решались следующие задачи:

- изучение гидродинамической обстановки;
- обработка и интерпретация данных химических анализов воды;
- выделение техногенных объектов;
- выявление специфики техногенной трансформации химического состава подземных вод.

Для наблюдения за гидродинамической и гидрохимической обстановкой силами режимного отряда МГОКа осуществлялся ежеквартальный отбор проб на химический анализ и измерение уровня подземных вод различных горизонтов. Основным объектом наблюдений является альб-сеноманский водоносный горизонт, так как более всех подвержен техногенному воздействию и в тоже время является важным источником водоснабжения населения района.

Основная часть наблюдательных скважин расположена на правом берегу хвостохранилища и вокруг карьера. Таким образом, наблюдательная сеть покрывает площадь более 140 км<sup>2</sup> (рис. 1). Пробы воды на химический анализ были также отобраны из пяти источников (родников) и четырех колодцев. Химический анализ проб воды проводился в санитарно-технической лаборатории МГОКа по стандартным гостированным методикам с при-

менением фотоколориметра КФК-3 и иономера И-130 (измерение рН) и по методике Лурье [5].

Гидрогеологические условия района исследований во многом определяются геоструктурными особенностями территории: расположение в пределах сводовой части Воронежской антеклизы, разделяющей Московскую синеклизу и Днепровско-Донецкую впадину. Северо-восточный склон антеклизы более пологий, с погружением 1-2 м на 1 км, является областью питания водоносных горизонтов Московского артезианского бассейна. Юго-западный склон, к которому приурочен Михайловский горнодобывающий район, погружается на 7-12 м на 1 км и служит областью питания водоносных горизонтов Днепровского бассейна. Водораздел бассейна проходит к северу от сводовой части Воронежского поднятия и приурочен к условной линии Кромы-Тросна.

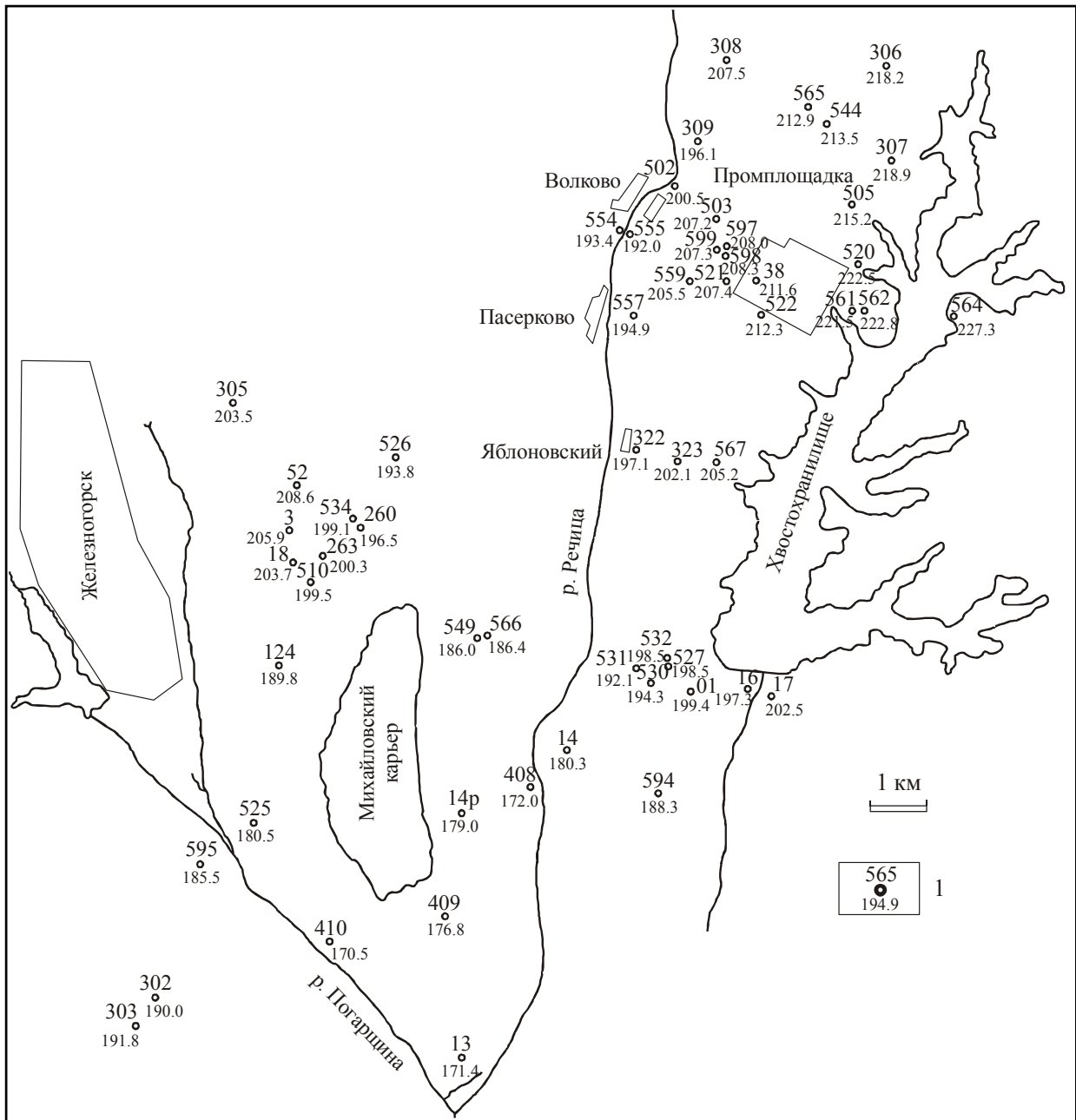
В пределах месторождения толща келловейских глин разделяет два гидравлически обособленных комплекса водоносных пород; верхний водоносный комплекс объединяет воды четвертичных и меловых отложений, нижний – воды юрских, девонских и рудно-кристаллических пород. Между водоносными горизонтами нижнего водоносного комплекса существует активная гидравлическая связь, обусловленная наличием непосредственного контакта батских песков и девонских водоносных прослоев с трещиноватой зоной железистых кварцитов и богатых руд.

Рассмотрим подробнее гидродинамические условия альб-сеноманского водоносного горизонта. С момента введения в эксплуатацию объектов Михайловского ГОКа (карьер, хвостохранилище) произошло нарушение естественных гидродинамических условий. На исследуемой территории по особенностям гидродинамики альб-сеноманского водоносного горизонта можно выделить две зоны:

- 1) зона влияния карьера;
- 2) зона влияния хвостохранилища.

В районе карьера на площади более 110 км<sup>2</sup> в результате деятельности системы гидрозащиты сформировалась депрессионная воронка. Понижение уровня подземных вод, по данным многолетних наблюдений режимного отряда, достигает до 40 м. По периметру карьера породы-коллекторы альб-сеноманского возраста полностью осушены. Геометрия воронки сложная. Нижний бьеф плотины шламоотстойника, расположенной в двух километрах к северу от карьера, создает существенный подпор водам рассматриваемого водоносного горизонта. Кроме того, подпор создается за счет фильтрации вод из многочисленных мелких прудов и озер, техногенных грунтовых вод отвалов вскрышных пород, расположенных вблизи восточного, южного и юго-западного бортов карьера.

В районе хвостохранилища сформировалась качественно иная ситуация. Искусственно созданный водоем, протяженностью около 10,5 км, создает подпор водам альб-сеноманского водоносного гори-



**Рис. 1.** Схема расположения скважин, пробуренных на альб-сеноманский водоносный горизонт, в пределах Михайловского промрайона: 1 – скважина, её номер (вверху) и абсолютная отметка уровня альб-сеноманского водоносного горизонта (внизу).

зонта. С момента создания хвостохранилища уровень воды в водоносном горизонте повысился на 10–20 м. Кроме того, за счет фильтрации вод из хвостохранилища образовался четвертичный водоносный горизонт, который эксплуатируется для нужд фабрик обогащения и окомкования. Движение подземных вод происходит в направлении реки Чернь, которая дренирует исследуемый водоносный горизонт. В направлении фильтрации воды имеют практически постоянный напорный градиент. Почти все наблюдательные скважины расположены на правом берегу хвостохранилища, однако подобная ситуация, вероятно, сложилась и в левобережной части рассматриваемой зоны.

Таким образом, на исследуемой территории имеют место две гидродинамические зоны: зона депрессии, созданная системой гидрозащиты карьера и зона подпора подземных вод, возникающая за счет хвостохранилища.

Специфика гидродинамических условий Михайловского промрайона в некоторой степени определяет формирование гидрогеохимических особенностей альб-сеноманского водоносного горизонта

Физические свойства альб-сеноманских вод представлены цветностью и мутностью. Цветность изменялась от 7° (скв. 554) до 60° (скв. 409). Мутность превышала норму по всем скважинам и составила 6,8 – 210 мг/дм<sup>3</sup> (норма 1,5 мг/дм<sup>3</sup>). Нефтепро-

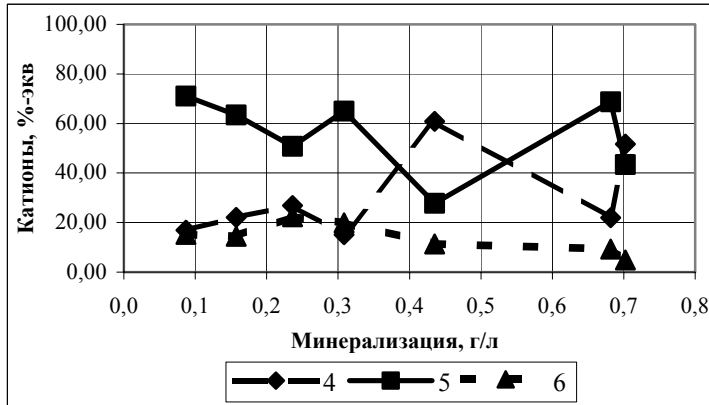
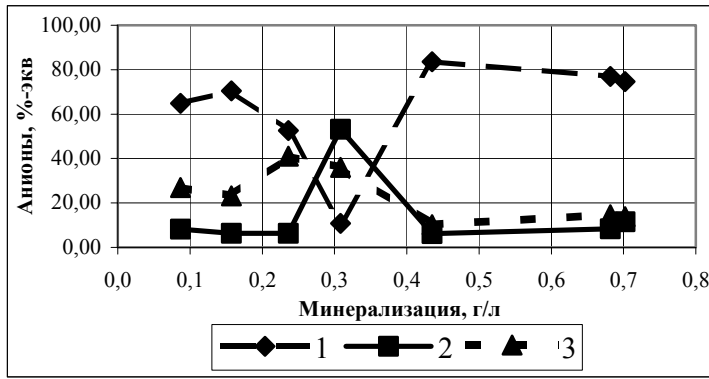


Рис. 2. Зависимость минерализации и содержания основных катионов и анионов в воде района хвостохранилища: 1-  $HCO_3^-$ ; 2-  $SO_4^{2-}$ ; 3-  $Cl^-$ ; 4-  $Ca^{2+}$ ; 5-  $Mg^{2+}$ ; 6-  $(Na+K)^+$

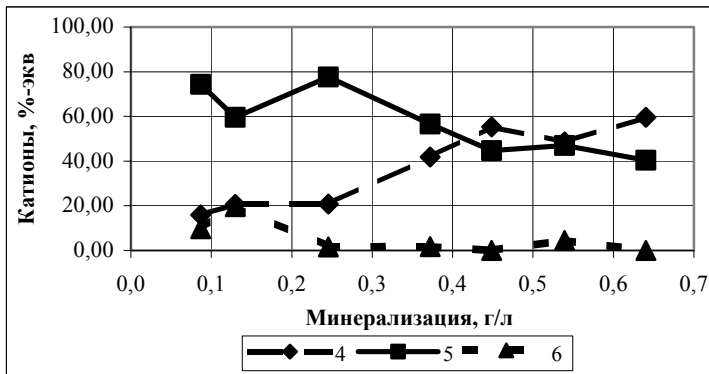
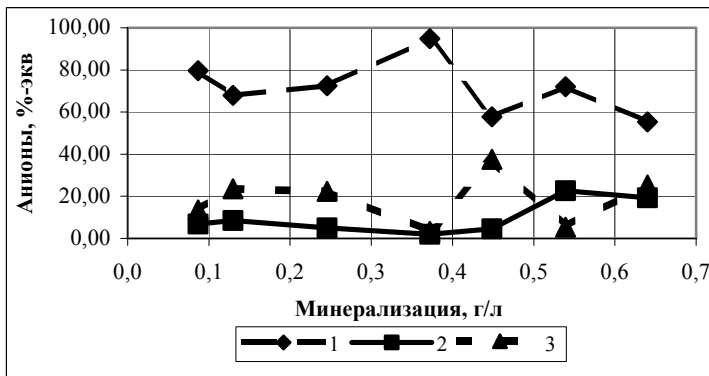


Рис. 3. Зависимость минерализации и содержания основных катионов и анионов в воде района карьера: 1-  $HCO_3^-$ ; 2-  $SO_4^{2-}$ ; 3-  $Cl^-$ ; 4-  $Ca^{2+}$ ; 5-  $Mg^{2+}$ ; 6-  $(Na+K)^+$

дукты присутствовали во всех пробах воды, величина которых изменялась от 0,08 (скв. 522) до 4,47 (скв. 567).

Воды альб-сеноманского водоносного горизонта характеризуются следующими концентрациями основных ионов (в  $mg/dm^3$ ): гидрокарбонаты 24,4 (скв. 522) – 305,1 (скв. 409); хлориды 6 (скв. 410) – 106 (скв. 522); сульфаты 4,4 (скв. 525) – 94 (скв. 595); кальций 4 (скв. 562) – 76,2 (скв. 595); магний 9,7 (скв. 554) – 46,2 (скв. 522). Величина жесткости изменялась от 0,9 (скв. 526) до 6,8  $mg-экв/dm^3$  (скв. 595), то есть воды от очень мягких до жестких. Активная реакция воды (pH) от слабощелочной (7,4) до щелочной (9,6).

По данным химических анализов были созданы вспомогательные графики зависимости минерализации и содержания макрокомпонентов в воде (рис. 2,3), с помощью которых выделены ведущие геохимические типы, применительно к двум гидродинамическим зонам (табл. 1).

В пределах первой гидродинамической зоны (район карьера) такими типами являются: гидрокарбонатный магниевый или магниево-кальциевый; гидрокарбонатно-хлоридный магниево-кальциевый или кальциево-магниевый; гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый; гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатный кальциево-магниевый. Как видно из таблицы и графиков, с ростом минерализации среди анионов типобразующими, помимо гидрокарбонатов и хлоридов, становятся сульфаты, а среди ведущих катионов магний постепенно уступает место кальцию.

Подземные воды второй зоны (район хвостохранилища) характеризуются гидрокарбонатно-хлоридным магниевым или магниево-кальциевым и гидрокарбонатно-хлоридным смешанного катионного состава типами вод, а также гидрокарбонатным кальциево-магниевым или магниево-кальциевым типами. Увеличение минерализации и изменение типов воды происходит по направлению движения грунтового потока, что связано, по всей видимости, с физико-химическими процессами в системе вода-порода [6]. Следует указать на относительно повышенную минерализацию воды из родников и колодцев (более 0,45  $г/дм^3$ ). Это, вероятно, определяется процессами смешения вод четвертичного и альб-сеноманского водоносных горизонтов.

Таблица 1

**Ведущие геохимические типы воды альб-сеноманского водоносного горизонта  
в пределах гидродинамических зон**

Гидродинамический район (зона)	Минерализация, г/дм <sup>3</sup>	Тип воды
Район карьера	0-0,15	HCO <sub>3</sub> Mg
	0,15-0,25	HCO <sub>3</sub> -Cl Mg-Ca
	0,25-0,4	HCO <sub>3</sub> Mg-Ca
	0,4-0,5	HCO <sub>3</sub> -Cl Ca-Mg
	0,5-0,6	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> Ca-Mg
	0,6-0,7	HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub> Ca-Mg
Район хвостохранилища	0-0,15	HCO <sub>3</sub> -Cl Mg
	0,15-0,2	HCO <sub>3</sub> -Cl Mg-Ca
	0,2-0,3	HCO <sub>3</sub> -Cl Mg-Ca-Na
	0,3-0,4	SO <sub>4</sub> -Cl Mg
	0,4-0,55	HCO <sub>3</sub> Ca-Mg
	0,55-0,7	HCO <sub>3</sub> Mg-Ca

Таблица 2

**Характеристика техногенных объектов Михайловского промрайона**

Название объекта	Местонахождение	Виды проявления техногенной нагрузки	
		Динамика подземного потока	Компоненты загрязнители
Михайловский карьер	2-3 км к востоку от города Железнодорожска	Осушение горизонта, депрессионная воронка	
Хвостохранилище	В 10 км западнее города Железнодорожска	Подпор подземных вод	
Отвалы вскрышных пород	Юго-западный, южный и юго-восточный борта карьера	Подпор подземных вод	Железо, медь, нитраты
Шламоотстойник (пруды ДСФ)	В двух километрах севернее карьера	Подпор подземных вод	
Промплощадка	2 км к востоку от деревни Пасерково		Нитраты и предположительно железо
Ферма КРС	В 1 км южнее деревни Волково		Нитраты
Свинокомплекс «Горняк»	В 1,5 км к западу от нижнего бьефа плотины хвостохранилища		Нитраты

На гидродинамический и гидрохимический режимы подземных вод оказывает непосредственное влияние деятельность предприятий Михайловского горно-обогатительного комбината (МГОКа). В пределах исследуемого района выделено 7 крупных техногенных объектов: Михайловский карьер, хвостохранилище, промплощадка, отвалы вскрышных пород, шламоотстойник, ферма крупного рогатого скота, свиноферма (табл. 2).

**Михайловский карьер** расположен в 2-3 км от города Железнодорожска. Длина карьера 5,5 км, ширина – 3 км, глубина до 210 м. В результате деятельности дренажной системы гидрозащиты в районе объекта полностью отсутствует альб-сеноманский и другие водоносные горизонты. В районе карьера сформировалась обширная депрессионная воронка.

**Хвостохранилище** расположено в 10 км западнее города Железнодорожска. Образовано в результате подпруживания реки Песочная. Имеет длину около 11 км. Используется для складирования хвостов магнитной сепарации руды. Разделено дамбами на три отсека. Уровень воды в среднем отсеке хвостохранилища составляет 230 м и имеет тенденцию к росту.

**Отвалы вскрышных пород** расположены в юго-западной, южной и юго-восточной частях карьера. В большинстве случаев отвалы представляют собой смесь покровных суглинков, глин, песков, алевритов, а также скальных пород различного генезиса. Высота отвалов достигает до 40-50 м.

**Промплощадка** Михайловского ГОКа находится в северо-восточной части Железнодорожского района в 14 км от города Железнодорожска. Она расположена на водоразделе рек Чернь и Песочная. К основным объектам, которые размещены на промплощадке, относятся: корпуса крупного, среднего и мелкого дробления, корпус обогащения, склады концентрата и известняка, корпуса окомкования, обжига и грохочения, вагоноопрокидыватель, главные подстанции и др.

Таким образом, деятельность МГОКа сильно изменила, прежде всего, гидродинамическую обстановку, создав участки подпора и депрессии водоносного горизонта (карьер, хвостохранилище).

Влияние хвостохранилища можно оценить двояко. С одной стороны, это источник слабоминерализованных вод, что при существующем подпоре способствует уменьшению концентрации веществ-загрязнителей. С другой стороны, на фоне низкой

минерализации отмечается повышенное содержание железа и нефтепродуктов.

Естественная гидрогеохимическая обстановка правого берега хвостохранилища нарушена в результате деятельности промплощадки ГОКа. В подземную воду поступают нитраты; возможно, имеют место процессы разбавления и смешения вод за счет более активного водообмена в районе промплощадки. Левый берег хвостохранилища не содержит крупных промышленных и хозяйственных объектов. Здесь сформировалась специфическая геохимическая обстановка с характеристиками латерального механического и, возможно, щелочного геохимического барьеров [4]. На данном участке, в направлении предполагаемого движения подземных вод, происходит уменьшение концентрации железа, нитратов, изменение pH с 8,8 до 7,5. Этому, вероятно, способствуют особенности гидродинамики и литологический состав обводненной толщи [1,2].

Перенос пород фундамента и осадочного чехла на поверхность, в зону активного водообмена, способствует активному выносу компонентов горных пород. Установлено, что положение отвалов вскрышных пород коррелируется с аномалиями содержания в подземных водах железа и меди элементами, отражающими геохимическую специфику исследуемого района.

Содержание меди в воде альб-сеноманского водоносного горизонта не превышает допустимых концентраций (1 мг/дм<sup>3</sup>). Минимальные значения – до 0,01 мг/дм<sup>3</sup> фиксируются в районе хвостохранилища (скв. 565, 564). В этом гидродинамическом районе можно выделить две отрицательные и одну положительную аномалии. Первые локализованы вблизи хвостохранилища (скв. 527, 561, 38), представлены минимальными значениями 0,01 и 0,062 мг/дм<sup>3</sup>. Положительная аномалия имеет максимум 0,62 мг/дм<sup>3</sup>, который фиксируется лишь одной скважиной (скв. 554). На левом берегу хвостохранилища происходит постепенное увеличение концентрации меди в направлении фильтрации вод.

Максимальные концентрации (до 0,71 мг/дм<sup>3</sup>) зафиксированы в районе карьера (скв. 409). В целом, в данном районе минимальные концентрации меди – от 0,025 до 0,062 мг/дм<sup>3</sup> зафиксированы лишь в скважинах, расположенных к северу от карьера (скв. 3,52,260,526) и в воде скважины 595 (0,011 мг/дм<sup>3</sup>). Повышенные значения прослеживаются в воде скважин, расположенных вдоль западного, южного и юго-восточного бортов карьера (скв. 525, 408, 409, 410).

Железо в подземных водах данного горизонта практически повсеместно распространено в концентрациях, превышающих предельно допустимые. Минимальные концентрации (0,03-0,25 мг/дм<sup>3</sup>), не превышающие ПДК, отмечены в скважине 555, во всех источниках и колодцах, кроме колодца в деревне Волково. Максимальные концентрации (3,75-5,15 мг/дм<sup>3</sup>) отмечены в скважинах 563, 557 (район хвостохранилища), 595 и 409 (отвалы в районе карьера).

Подобные высокие концентрации, вероятно, обусловлены как естественно-геохимическим фоном, так и процессами выноса железа из пород отвалов и хвостов. Подобное повышенное содержание железа можно объяснить естественными геохимическими особенностями Курской магнитной аномалии, то есть повышенным естественным геохимическим фоном. При этом необходимо отметить, что имеются данные химических анализов воды альб-сеноманского водоносного горизонта на период разведки других месторождений [3]. Эти химические анализы не показывают сколь-нибудь значительных концентраций железа. Это позволяет предположить, что высокий фон содержания этого компонента обусловлен и техногенной деятельностью (эксплуатация месторождения).

Концентрация нитратов в альб-сеноманском водоносном горизонте много меньше допустимых и в среднем составляет около 1,7 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальное значение (6,6 мг/дм<sup>3</sup>) зафиксировано в скважине 595 к западу от карьера, минимальное – 0,07 мг/дм<sup>3</sup> в воде источника у плотины хвостохранилища. Аномальные содержания, по отношению к фоновому, имеются в воде скважин 561 и 563, расположенных вблизи нижнего бьефа и в верховьях хвостохранилища соответственно. Достаточно высокими можно также считать и концентрации нитратов в районе промплощадки (правый берег хвостохранилища, скв. 522, 38, 559, 554). Не смотря на то, что общее содержание нитратов в воде не превышает допустимых норм, свиноккомплекс и ферму КРС следует отнести к потенциальным источникам поступления в подземную воду нитратов. Об этом свидетельствуют пространственно приуроченные к ним положительные аномалии малой интенсивности (до 3 мг/дм<sup>3</sup>).

Проведенные исследования указали на необходимость разработки водоохранных мероприятий. В качестве таких мероприятий нами рекомендуются:

- дальнейшие мониторинговые наблюдения за химическим составом и уровнями подземных вод по существующей сети скважин;
- бурение дополнительных наблюдательных скважин на левом берегу хвостохранилища и вокруг карьера для мониторинга химического состава вод и уровня режима;
- дополнительные исследования, направленные на изучение естественных и создания искусственных геохимических барьеров для улучшения качества вод альб-сеноманского водоносного горизонта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Блинов С.М. Основы применения геохимических барьеров для охраны окружающей среды: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. н. – Пермь, 2000. – 23 с.
2. Вахтанова А.Н., Косинова И.И., Коновалова О.Н. Особенности формирования геохимических барьеров в зоне аэрации // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. -1997. -№ 3. – С. 129-134.

3. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии (КМА). Т. II. Гидрогеология и инженерная геология / Под ред. А.Т. Бобрышева. – М., 1972. – 479 с.
4. Геохимия техногенных процессов / Под ред. И.К. Карпова. – М., 1990. – 176 с.
5. Лурье Ю.И. Унифицированные методы анализа вод. – М., 1971. – 375 с.
6. Смирнова А.Я., Бугреева М.Н. Химический состав грунтовых вод Воронежской области как основа прогнозирования экологического состояния водозаборов // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. -1997. - № 3. – С. 118-121.

