



УДК 504.064.2.001.18

ПРОГНОЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КМА МЕТОДАМИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Т.Н. Кравчук¹, С.В. Сергеев²

¹ Научно-технический и экспертный центр новых экотехнологий в гидрогеологии и гидротехнике «НОВОТЭК», Россия, 308002, г. Белгород, пр. Б. Хмельницкого, 131

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: sergeev@bsu.edu.ru

Разработана численная модель миграции для прогноза загрязнения подземных вод в зонах влияния хвостохранилищ Лебединского и Стойленского горно-обогатительных комбинатов. Отмечается, что разработанная модель может иметь практическое применение на горнодобывающих предприятиях Старооскольского железорудного района Курской Магнитной Аномалии для решения проблем защиты и рационального использования водных ресурсов.

Ключевые слова: горно-обогатительный комбинат, хвостохранилище, загрязнение подземных вод, моделирование миграции.

Введение

В Старооскольском железорудном районе КМА остро стоит проблема охраны и рационального использования водных ресурсов, где основными источниками загрязнения подземных вод являются хранилища отходов обогащения железных руд Лебединского и Стойленского горно-обогатительных комбинатов (ЛГОКа и СГОКа). Хвостохранилища Лебединского и Стойленского ГОКов введены в эксплуатацию соответственно в 1972 и в 1984 году.

Гидрогеологические условия района исследований характеризуются наличием двух водоносных комплексов: нижнего, приуроченного к верхней трещиноватой зоне кристаллических пород и верхнего, приуроченного к пескам и мело-мергельным отложениям мелового возраста. Водоносные комплексы разделены водоупорным слоем юрских глин.

Нижний водоносный комплекс, в силу слабой обводненности, глубокого залегания и изолированности от верхнего водоносного комплекса, не оказывает заметного влияния на уровень режим и качественный состав вод верхнего водоносного комплекса.

Основные запасы подземных вод сосредоточены в верхнем водоносном комплексе, который включает гидравлически взаимосвязанные и регионально выдержанные водоносные горизонты альб-сеноманских песков и коньяк-туронских мергельно-меловых отложений, которые представляют собой единую безнапорную систему общей мощностью 50-60 м с высокими фильтрационными свойствами водовмещающих пород.

В естественных условиях по химическому составу подземные воды района пресные, преимущественно гидрокарбонатные кальциевые, реже гидрокарбонатные магниевые-кальциевые с минерализацией 0.2-0.6 г/л и соответствуют требованиям для вод хозяйственно-питьевого назначения.

Строительство и эксплуатация горнодобывающих предприятий привели к нарушению гидродинамического режима подземных вод в связи с образованием обширных депрессионных воронок вокруг карьеров и куполов растекания техногенных вод под хвостохранилищами. В этих условиях происходит постепенное замещение природных подземных вод техногенными стоками и ухудшение их качества.

Подземные воды преимущественно альб-сеноманского водоносного горизонта широко используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения и извлекаются подземными дренажными комплексами Лебединского и Стойленского карьеров, а также водозаборами подземных вод. Основной объем хозяйственно-питьевой воды приходится на воду, извлеченную при осушении карьеров подземными дренажными комплексами, и составляет порядка 283300 м³/сут. Водозаборами извлекается порядка 117000 м³/сут подземных вод хозяйственно-питьевого назначения.

В связи с использованием подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения требуется их охрана от техногенного загрязнения, основными источниками которого являются хвостохранилища Лебединского и Стойленского ГОКов.

Содержание загрязняющих веществ в поверхностных водах хвостохранилищ в основном ниже значений предельно-допустимых концентраций (ПДК) для вод хозяйственно-



питьевого назначения. Содержание ряда веществ постоянно или эпизодически превосходит значение ПДК. Для хвостохранилища ЛГОКа это соединения азота, железа общего и нефтепродукты, а для хвостохранилища СГОКа это железо общее и нефтепродукты.

Следует отметить, что в подземных водах, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, содержание указанных компонентов не превышает значения ПДК.

Учитывая, что соединения группы азота весьма неустойчивы и подвержены процессам окисления и денитрификации для прогноза миграции представляют интерес такие загрязняющие вещества, как железо общее и нефтепродукты.

Методы исследования

Решение миграционной задачи осуществлялось методами численного моделирования с использованием лицензионной программы MT3DMS системы GMS. Эта программа использует результаты решения задачи фильтрации, выполненной с использованием программы MODFLOW. Программа MT3DMS позволяет моделировать конвективный перенос, дисперсию и химические реакции веществ в потоке подземных вод в трех измерениях. Миграционная модель полностью соответствует фильтрационной модели с добавлением миграционных параметров и граничных условий.

Миграционная модель составлена на основе модели фильтрации подземных вод, построенной в рамках работы, выполненной ООО НТЦ «НОВОТЭК» по переоценке эксплуатационных запасов дренажных вод карьера Стойленского ГОКа [1].

Водоносная толща пород реализована в фильтрационной модели как многослойная, состоящая из четырех слоев, отличающихся различными фильтрационными свойствами:

- первый слой представлен аллювиальными песками и меловыми отложениями турон-коньякского возраста;
- ко второму слою отнесены альб-сеноманские пески;
- третий слой включает глинистые слабопроницаемые образования юры;
- за четвертый слой принят нижний водоносный комплекс, включающий юрский, каменноугольный, средне-верхнедевонский и руднокристаллический водоносные горизонты.

Режим фильтрации подземных вод в верхнем (первом) слое принят безнапорным, в слоях 2 и 3 – напорно-безнапорным, в слое 4 – напорным.

Для прогноза миграции загрязняющих веществ представляет интерес меловой водоносный комплекс, объединяющий два верхних слоя: меловые отложения турон-коньякского возраста и альб-сеноманские пески.

Модель миграции построена на основе гидродинамической модели, поэтому все граничные условия (карьеры, хвостохранилища, водозаборы, реки), геометрия водовмещающих слоев и коэффициенты фильтрации на модели миграции приняты аналогичными фильтрационной модели.

Средний коэффициент фильтрации мело-мергельных отложений составляет 2,5 м/сут, а их обводненная мощность изменяется от 0 (полностью осушенные породы вблизи подземных дренажных комплексов карьеров) до 30-40 м вблизи областей фильтрации. На модели коэффициент фильтрации мело-мергельных отложений закономерно уменьшается от долин рек в сторону водоразделов от 15-20 до 0.1 м/сут. Гравитационная водоотдача мела 0.05. Аллювиальные пески характеризуются, как правило, мощностью до 10 м и средним коэффициентом фильтрации до 1 м/сут. Отражен аллювиальный водоносный горизонт на модели в поймах рек, в местах отсутствия меловых отложений.

Для альб-сеноманских песков коэффициент фильтрации в среднем составляет 15 м/сут при их мощности от 30 до 35 м. Гравитационная водоотдача песков 0.2.

Для хвостов коэффициент фильтрации принимался равным 0.01 м/сут, при средней мощности хвостов хвостохранилища ЛГОКа от 40 до 50 м, а хвостохранилища СГОКа – от 15 до 25 м. Коэффициент фильтрации 0.05 м/сут задавался на вновь возводимых участках хвостохранилищ.

В условиях Лебединского и Стойленского месторождений мело-мергельные отложения рассматриваются как гетерогенно-блоковая система с двойной пористостью. Трещиноватость мелов составляет 0.005, а пористость меловых блоков 0.45. Поэтому при расчетах на модели учитывался отвод мигрантов из трещин в поры меловых блоков. На модели миграции это учитывалось по схеме сосредоточенной емкости [2].

Активная пористость песков и хвостов принята равной 0.3.

Параметры гидродинамической дисперсии приняты постоянными по литературным данным [2]: для песков $\lambda = 0.1$ м и для мелов $\lambda = 1$ м.

В рамках данной статьи остановимся на прогнозе миграции нефтепродуктов, ПДК которых для вод хозяйственно-питьевого назначения составляет 0.1 мг/л.



Примем в качестве исходных значения концентраций нефтепродуктов в воде хвостохранилища ЛГОКа $C_0=0.45$ мг/л, а в воде хвостохранилища СГОКа $C_0=0.12$ мг/л (максимальные значения из средних за 1980-2005 года по данным ОАО «ЛГОК» и ОАО «СГОК» [1]).

Параметры массообмена для нефтепродуктов в мело-мергельных отложениях примем в соответствии с работой [3]: $\alpha=0.002$ 1/сут, $\beta=0.4$.

Значение параметра распределения при фильтрации нефтепродуктов в песках и хвостах примем по литературным данным [4]: $\beta=0.5$.

Результаты и их обсуждение

Процесс миграции загрязняющих веществ из хранилищ отходов обогащения железных руд состоит из их вертикальной фильтрации через толщу хвостов до попадания на зеркало подземных вод мело-мергельного водоносного горизонта и горизонтальной фильтрации в меловом водоносном комплексе.

Процесс фильтрации нефтепродуктов через хвосты сопровождается сорбцией. Скорость вертикального переноса загрязнений через толщу хвостов V^* с учетом сорбции описывается зависимостью [1]:

$$V^* = v \cdot n_{\text{э}}, \quad (1)$$

где $n_{\text{э}}=n_{\text{хв}}+1;\beta$ – эффективная пористость хвостов; $n_{\text{хв}}$ – пористость хвостов; β – коэффициент распределения вещества при сорбции; v – вертикальная скорость фильтрации, равная коэффициенту фильтрации хвостов, м/сут.

Время переноса сорбируемых нефтепродуктов через толщу хвостов составит:

$$T = M_{\text{ср}}:V^*, \quad (2)$$

где T – время переноса, сут; $M_{\text{ср}}$ – средняя по площади хвостохранилища мощность хвостов, м; V^* – скорость вертикального переноса, м/сут.

Выполним расчет для условий Лебединского ГОКа: $n_{\text{э}}=0.3+1:0.5=2.3$; $v^*=v:n_{\text{э}}=0.01:2.3=0.0043$ м/сут.; $T=40:0.0043=9303$ сут=25 лет.

Для условий Стойленского ГОКа: $n_{\text{э}}=0.3+1:0.5=2.3$; $v^*=v:n_{\text{э}}=0.01:2.3=0.0043$ м/сут.; $T=20:0.0043=4651$ сут=13 лет.

Таким образом, миграция нефтепродуктов в меловом водоносном комплексе начнется через 25 лет после начала складирования в хвостохранилище ЛГОКа отходов обогащения железных руд и через 13 лет после начала функционирования хвостохранилища СГОКа.

При расчете миграции нефтепродуктов в мело-мергельном водоносном горизонте необходимо учитывать процессы отвода загрязняющего компонента из трещин в меловые блоки и сорбцию, которые существенно снижают скорость распространения загрязнений.

При длительном переносе в условиях асимптотического режима скорость продвижения нефтепродуктов в мело-мергельном водоносном горизонте V^* составит:

$$V^* = v_{\text{м}}:n_{\text{э}}, \quad (3)$$

где $n_{\text{э}}=n_{\text{м}}+1;\beta$ – эффективная пористость мело-мергельных пород; $n_{\text{м}}$ – пористость мело-мергельных пород, которая в условиях асимптотического режима переноса складывается из трещиноватости мелов и пористости меловых блоков ($n_{\text{м}}=0.005+0.45=0.455$); β – коэффициент распределения вещества при сорбции; $v_{\text{м}}=k_{\text{м}}\cdot I$ – горизонтальная скорость переноса загрязнений по мело-мергельному пласту, м/сут; $k_{\text{м}}$ – коэффициент фильтрации мело-мергельных пород, м/сут.; I – гидравлический градиент.

Таким образом, эффективная пористость мело-мергельных пород, которая задается на модели миграции, составит:

$$n_{\text{э}}=n_{\text{м}}+1;\beta=(0.005+0.45)+1:0.4=2.96$$

При расчете миграции нефтепродуктов в песках альб-сеноманского водоносного горизонта необходимо учитывать сорбцию.

В условиях асимптотического режима переноса скорость продвижения нефтепродуктов в альб-сеноманских песках V^* составит:

$$V^* = v_{\text{п}}:n_{\text{э}}, \quad (4)$$

где $n_{\text{э}}=n_{\text{п}}+1;\beta$ – эффективная пористость песков; $n_{\text{п}}$ – пористость песков; β – коэффициент распределения вещества при сорбции; $v_{\text{п}}=k_{\text{п}}\cdot I$ – горизонтальная скорость переноса загрязнений по альб-сеноманским пескам, м/сут.; $k_{\text{п}}$ – коэффициент фильтрации песков, м/сут.; I – гидравлический градиент.

Таким образом, эффективная пористость альб-сеноманских песков, которая задается на модели миграции, составит:

$$n_{\text{э}}=n_{\text{п}}+1;\beta=0.3+1:0.5=2.3$$

Рассчитать расстояние переноса загрязнений на различные периоды времени можно по формуле:

$$S = T \cdot V^*, \quad (5)$$

где S – расстояние переноса загрязняющего вещества, м; T – прогнозный период времени, сут.; V^* – скорость переноса, м/сут.

Численный прогноз миграции нефтепродуктов по турон-коньякскому и альб-сеноманскому водоносным горизонтам выполнен до 2022 года на период 50 лет с момента ввода в эксплуатацию хвостохранилища ЛГОКа и 36 лет с момента начала эксплуатации хвостохранилища СГОКа.

На рисунках 1 и 2 приведены карты изолиний прогнозной концентрации нефтепродуктов на период до 2022 года соответственно для турон-коньякского и альб-сеноманского водоносных горизонтов.

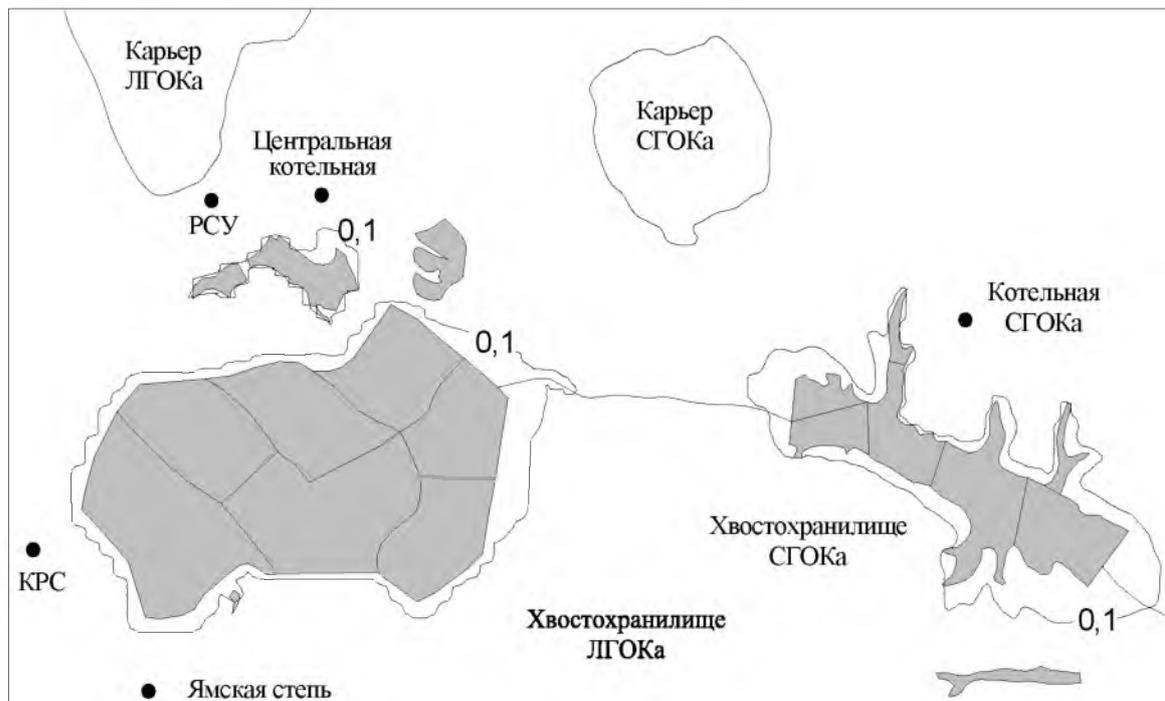


Рис. 1. Прогнозная концентрация нефтепродуктов в турон-коньякском водоносном горизонте до 2022 года через 50 лет после начала сброса хвостов обогащения в хвостохранилище ЛГОКа и через 36 лет – в хвостохранилище СГОКа

По результатам моделирования можно проследить продвижение нефтепродуктов по меловому водоносному комплексу от источников его загрязнения – хвостохранилищ Лебединского и Стойленского ГОКов. Скорость продвижения нефтепродуктов по пескам выше, чем по мелям.

Из полученных данных следует, что загрязненные нефтепродуктами подземные воды за прогнозируемый период времени до 2022 года не достигнут водозаборов, эксплуатирующих альб-сеноманский водоносный горизонт, и дренажных систем Лебединского и Стойленского карьеров.

Разработанная численная модель миграции может быть использована для прогноза загрязнения подземных вод на любые периоды времени для условий Лебединского и Стойленского железорудных месторождений КМА в гетерогенно-блоковых средах с двойной пористостью и с учетом сорбции.

Выводы

Хранилища отходов обогащения железных руд Лебединского и Стойленского горно-обогатительных комбинатов являются одним из основных источников загрязнения (влияния) на химический и качественный состав подземных вод.

Основными загрязняющими компонентами в водах хвостохранилища Лебединского ГОКа являются соединения азота, железа общего и нефтепродукты, а в водах хвостохранилища Стойленского ГОКа - железо общее и нефтепродукты.

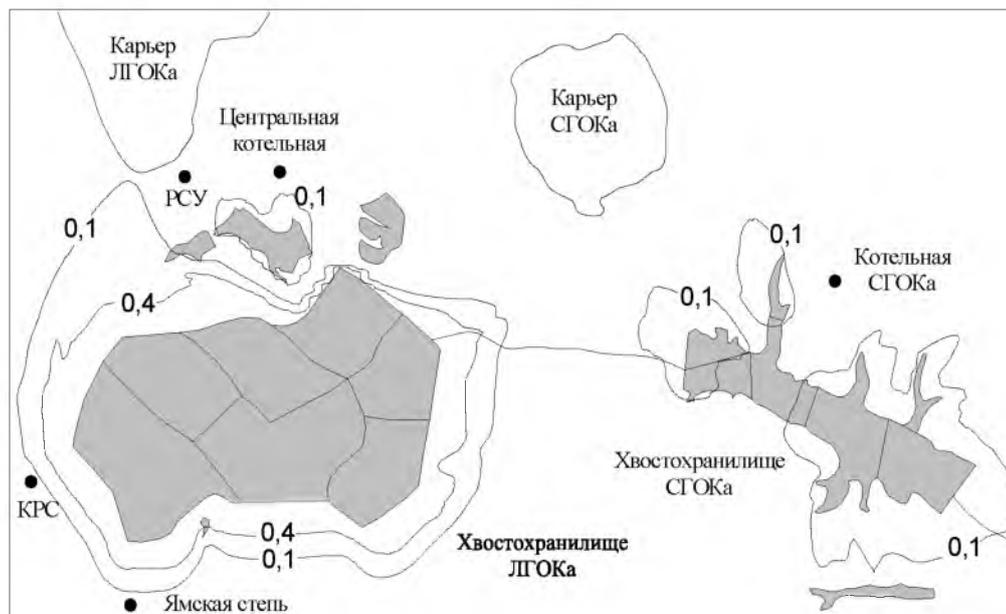


Рис. 2. Прогнозная концентрация нефтепродуктов в альб-сеноманском водоносном горизонте до 2022 года через 50 лет после начала сброса хвостов обогащения в хвостохранилище ЛГОКа и через 36 лет – в хвостохранилище СГОКа

Обозначения к рисункам:

- 0.1 изолиния концентрации нефтепродуктов, мг/л;
- КРС водозабор подземных вод, эксплуатирующий альб-сеноманский водоносный горизонт.

По результатам моделирования миграции нефтепродуктов в меловом водоносном комплексе установлено, что ореол загрязнения не достигнет действующих водозаборов на альб-сеноманский водоносный горизонт в перспективе до 2022 года.

Результаты моделирования могут быть использованы в производственной деятельности Лебединского и Стойленского ГОКов при решении вопросов, связанных с охраной и рациональным использованием водных ресурсов.

Список литературы

1. Мироненко В.А., Румынин В.Г., Учаев В.К. Охрана подземных вод в горнодобывающих районах (опыт гидрогеологических исследований). - Л.: Недра, 1980. – 320 с.
2. Переоценка эксплуатационных запасов дренажных вод карьера Стойленского ГОКа. Отчет ООО НТЦ «НОВОТЭК». – Белгород, 2005. – 208 с.
3. Экспертная оценка влияния хвостохранилища Лебединского ГОКа с учетом его развития на подземные воды, рекомендации по защите прилегающих территорий от подтопления и водных ресурсов от загрязнения. ООО НТЦ «НОВОТЭК». - Белгород, 2000. – С. 45.
4. Бочеввер Ф.М., Лапшин Н.Н., Орадовская А.Е. Защита подземных вод от загрязнения. – М.: Недра, 1979. – С. 36.

UNDERGROUND WATERS CONTAMINATION FORECAST FOR IRON ORE DEVELOPMENT OF KMA BY METHODS OF NUMERICAL SIMULATION

T.N. Kravchuk¹, S.V. Sergeev²

¹Science-technical and expert center of the new ecotechnologies in hydrogeology and hydrotechnique «NOVOTEK», B. Hmelnytsky St., 131, Belgorod, 308002, Russia

²Belgorod State National Research University, Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: sergeev@bsu.edu.ru

Numerical model of migration has been worked out for the underground waters contamination forecast in the zones of technical reservoirs influence of Lebedinsky and Stoylensky ore-dressing and processing enterprises. It is stated that the model will have practical application in the mining enterprises of Stary Oskol iron ore region of Kursk Magnetic Anomaly for solving the problems of protecting and rational usage of water resources.

Key words: ore-dressing and processing enterprise, technical reservoir, underground waters contamination, transport simulation.