

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПОДЗЕМНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ УРАНА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ

Т.С. Теровская

Научный руководитель профессор М.Д. Носков

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, г. Северск, Россия

Метод скважинного подземного выщелачивания (СПВ) оказывает меньшее влияние на окружающую среду по сравнению с традиционными подземным и открытым горными способами. Добыча урана осуществляется с помощью сооружения системы технологических скважин, вскрывающих содержащий рудное тело продуктивный горизонт. В нагнетательные скважины подаются выщелачивающие растворы способные избирательно растворять урансодержащие минералы. Продуктивный раствор извлекается на поверхность откачными скважинами и поступает на перерабатывающий комплекс для сорбционного извлечения урана. Таким образом, добыча осуществляется без поднятия руды на поверхность путем избирательного растворения минералов урана непосредственно в недрах. При этом разработка месторождения не сопровождается образованием отвалов вскрышных пород и хвостохранилищ, осушением подземных водоносных горизонтов, образованием сбросных вод гидromеталлургических заводов и др. Однако, при разработке месторождения методом СПВ, в результате нагнетания выщелачивающего раствора и взаимодействия его с вмещающей породой, в подземные воды поступают различные загрязняющие вещества [1, 2]. Для обеспечения экологической безопасности добычи урана методом СПВ и снижения воздействия на окружающую среду необходимо контролировать и прогнозировать распространение технологических выщелачивающих растворов и загрязнение подземных вод, как в процессе подземного выщелачивания, так и после его завершения.

При оценке геоэкологических последствий СПВ существует необходимость использования методов компьютерного моделирования. Это обусловлено сложностью происходящих при СПВ процессах и их высокой инерционностью, недостатком информации о состоянии продуктивного горизонта, высокой стоимостью сооружения дополнительных наблюдательных скважин.

Для прогнозирования распределения индикаторов загрязнения в продуктивном горизонте была разработана геоэкологическая моделирующая система [3]. Разработанное программное обеспечение основано на математической модели, позволяющей описывать движение загрязняющих компонентов, таких как уран, серная кислота, железо, алюминий, магний, кальций, калий, натрий и др. В модель включено описание гидродинамических процессов (конвективный массоперенос, гидродинамическая дисперсия, диффузия) и физико-химических процессов (комплексобразование, гомофазные и гетерофазные окислительно-восстановительные и кислотно-основные процессы, молекулярная сорбция, ионообменная сорбция, хемосорбция, реакции осаждения-растворения минералов, соосаждение компонентов раствора), определяющих миграцию индикаторов загрязнения в продуктивном горизонте. При моделировании учитываются режимы работы технологических скважин, составы рабочих растворов, неоднородности фильтрационных параметров продуктивного горизонта и региональный поток подземных вод [3].

В качестве примера применения геоэкологической моделирующей системы рассматривалось моделирование загрязнения подземных вод при отработке Хохловского месторождения и процесса самоочистки продуктивного горизонта после завершения добычи урана. Эпигнозный расчет отработки Хохловского месторождения проводился с момента начала эксплуатации по 01.11.2016г. Значения дебитов технологических скважин и составов выщелачивающих растворов для эпигнозного расчета соответствовали реальным данным. Для подтверждения адекватности описания процесса СПВ геоэкологической моделирующей системой, было проведено сравнение рассчитанных и фактических временных зависимостей концентрации урана, железа, серной кислоты и сульфат-иона в продуктивных растворах месторождения, рисунок 1.

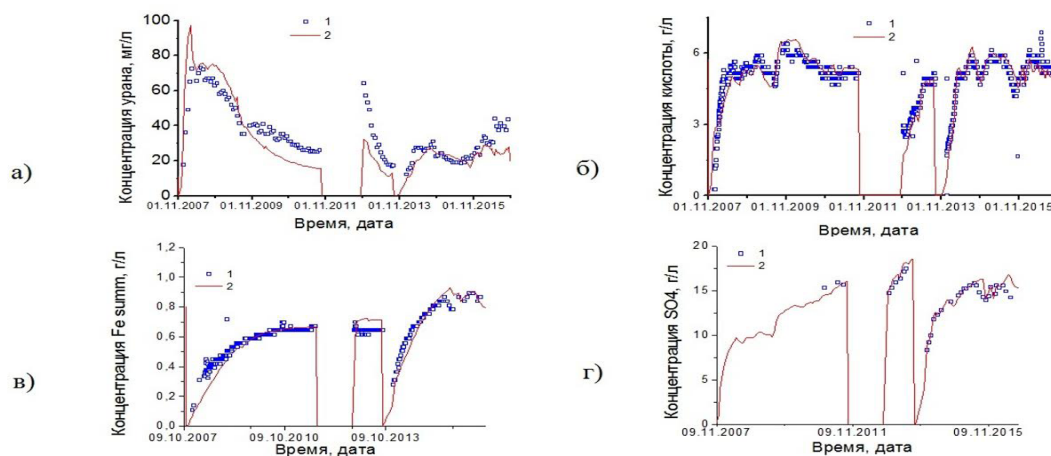


Рис.1. Зависимость концентрации урана (а), серной кислоты (б), железа (в) и сульфат-иона (г) в продуктивных растворах месторождения от времени, 1 – фактические данные, 2 – моделирование

На рисунке 2 представлены карты распределения концентраций урана и сульфат-иона на конец эпигнозного расчета (01.11.2016г). В процессе добычи в продуктивный горизонт подается серная кислота, при этом уменьшается значение pH среды внутри контура блока и увеличивается содержание сульфат-иона в подземных водах. Сульфат-ион имеет максимальную миграционную способность, по сравнению с другими индикаторами загрязнения, которые образуются при подземном выщелачивании [1]. С течением времени концентрация сульфат-иона увеличивается, т.к. данный компонент не извлекается на перерабатывающем комплексе предприятия, а копится в технологических растворах. Поэтому сульфат-ион распространяется на большие расстояния по сравнению с другими загрязняющими компонентами, и по его содержанию в подземных водах можно судить о степени загрязнения продуктивного горизонта. В процессе СПВ урана сульфат-ион распространяется от 40 до 80 метров за контур блока при соблюдении баланса по откачным и нагнетаемым растворам. На рисунке 2,б изображено распределение урана в подземных водах. На карте видна зона с высоким содержанием этого компонента, так как до 2015 года в этой области уран не извлекался. За контур блоков данный компонент распространяется незначительно, около 20 метров.

Для прогнозирования распределения индикаторов загрязнения в продуктивном горизонте после завершения процесса добычи урана методом СПВ были проведены прогнозные расчеты. При этом после наступления 01.10.2016г все скважины месторождения были отключены. На рисунке 3 представлены карты распределения сульфат-иона и урана в подземных водах через семь лет после завершения добычи урана. Последняя изолиния соответствует значению ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ГН 2.1.5.2280-07).

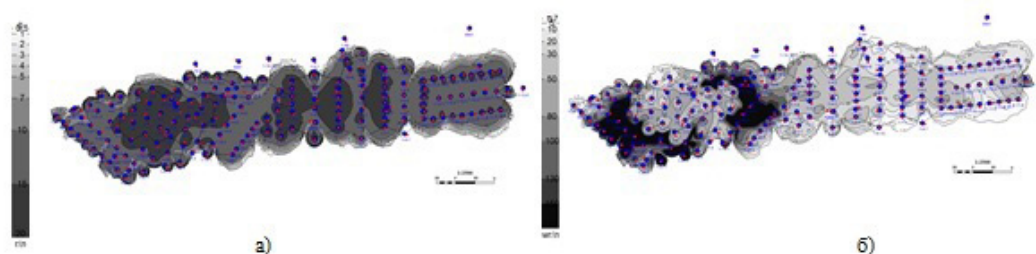


Рис.2. Концентрация сульфат-иона (г/л), (а) и урана (мг/л), (б) в подземных водах Хохловского месторождения на момент завершения отработки технологических блоков

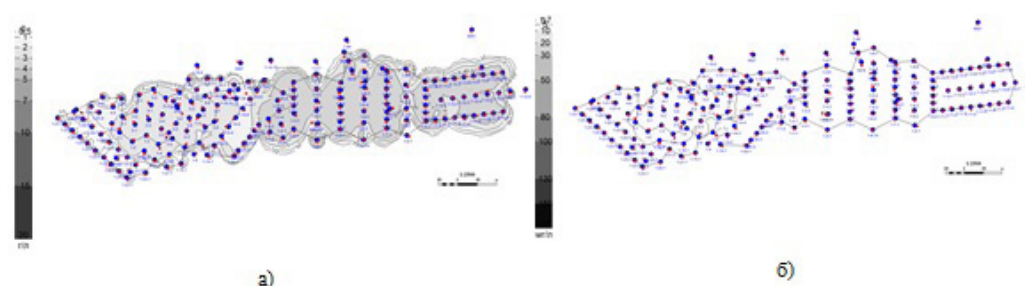


Рис. 3. Концентрация сульфат-иона (г/л), (а) и урана (мг/л), (б) в подземных водах Хохловского месторождения спустя 7 лет после завершения СПВ (б)

Результаты моделирования показывают, что области влияния подземного выщелачивания на окружающую среду локальны. После завершения добычи происходит автоочистка продуктивного горизонта в результате различных физико-химических и гидродинамических процессов внутри области незначительно выходящей за границы технологических блоков, около 40-80 метров.

Литература

- 1 Белецкий В.И., Богатков Л.К., Волков Н.И. и др. Справочник по геотехнологии урана. – М.: Энергatomиздат, 1997. – 672с.
- 2 Лаверов Н.П., Абдульманов И.Г., Бровин К.Г. и др. Подземное выщелачивание полиэлементных руд. – М.: Издательство академии горных наук, 1998, 446с.
- 3 Теровская Т.С., Кеслер А.Г., Носков М.Д. Математическое моделирование миграции загрязняющих компонентов, образующихся при сернокислотном скважинном выщелачивании урана. / Известия вузов. Физика. – 2014. – Т.57, №2-2. – С. 83-89.