

**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 гидрометаллургических 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.

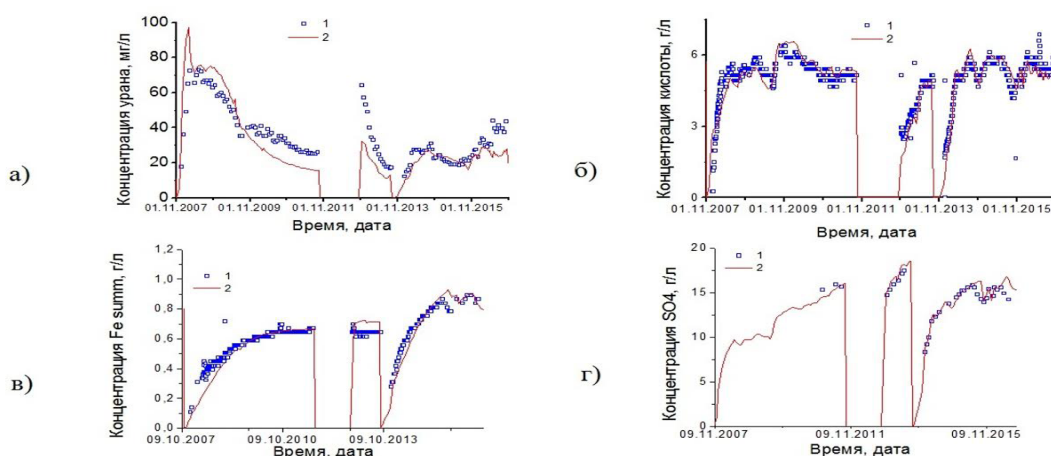


Рис.1. Зависимость концентрации урана (а), серной кислоты (б), железа (в) и сульфат-иона (г) в продуктивных растворах месторождения от времени, 1 – фактические данные, 2 – моделирование

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).

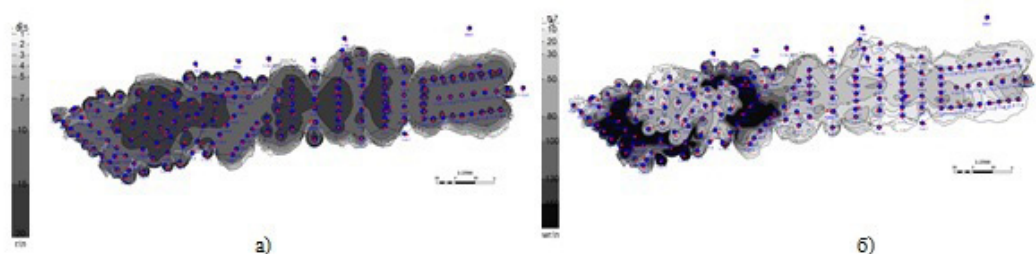


Рис.2. Концентрация сульфат-иона (г/л), (а) и урана (мг/л), (б) в подземных водах Хохловского месторождения на момент завершения отработки технологических блоков

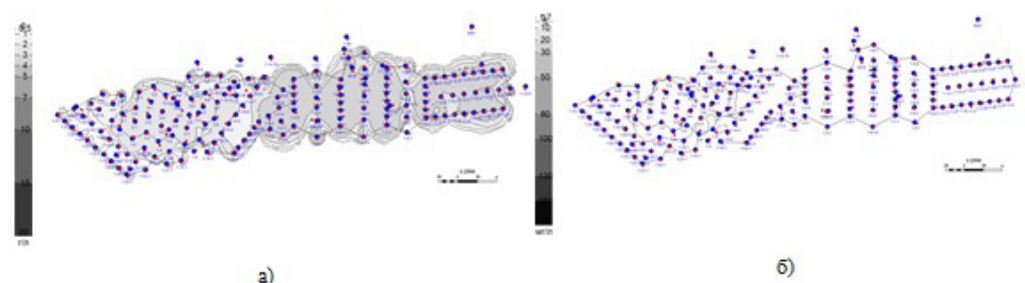


Рис. 3. Концентрация сульфат-иона (г/л), (а) и урана (мг/л), (б) в подземных водах Хохловского месторождения спустя 7 лет после завершения СПВ (б)

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.