

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mining technology // Datamine [Электрон. ресурс] – Режим доступа: www.datamine.co.uk – 29.10.2008.
2. The Mining software // Gemcom [Электрон. ресурс] – Режим доступа: www.gemcomsoftware.com – 29.10.2008.
3. Geology solution // Century Systems [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://www.centurysystems.net/geology.php> – 29.10.2008.
4. Earth science and gis software// Rockware [Электрон. ресурс] – Режим доступа: www.rockware.com – 29.10.2008.
5. Жиганов А.Н., Истомин А.Д., Носков М.Д. и др. Программный комплекс для моделирования процесса подземного выщелачивания урана // В кн.: Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов. В 2 т. Т. 1. – М.: «Руда и металлы», 2005. – С. 297–306.

Поступила 04.02.2009 г.

УДК 658.512:622.232

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «СЕВМУР»

А.Н. Жиганов, А.Д. Истомин, А.Г. Кеслер, М.Д. Носков, С.Н. Носкова, Т.С. Теровская

Северская государственная технологическая академия, г. Северск
E-mail: nmd@ssti.ru

Представлена методика применения геотехнологического информационно-моделирующего комплекса «Севмур» для оптимизации отработки блоков месторождения урана методом сернокислотного скважинного подземного выщелачивания.

Ключевые слова:

Управление технологическими процессами, математическое моделирование, информационные системы, геотехнология, разработка месторождений урана, скважинное подземное выщелачивание.

Скважинное подземное выщелачивание (СПВ) – это метод, позволяющий добывать полезные ископаемые путём их избирательного растворения на месте залегания и последующего извлечения на поверхность в виде химических соединений, образованных в зоне реакции. При разработке месторождений урана методом СПВ в эксплуатацию вовлекаются экзогенные месторождения, рудное тело которых находится в хорошо проницаемом подземном водоносном горизонте (продуктивном горизонте) [1–3]. Извлечение урана из рудного тела происходит через систему технологических скважин, объединённых в технологические ячейки и блоки. Через нагнетательные скважины в продуктивный горизонт подается выщелачивающий (рабочий) раствор, содержащий реагенты, способные растворять содержащие уран минералы. С помощью системы откачных скважин на поверхность выдается продуктивный раствор, который образуется в подземном водоносном горизонте в результате физико-химического взаимодействия выщелачивающих реагентов с урановыми минералами и вмещающими породами. Далее, в процессе переработки, из продуктивного раствора производится извлечение урана, а оставшиеся маточные растворы доукрепляются выщелачивающими реагентами и снова подаются в нагнетательные скважины в качестве рабочего раствора. Сложность управления СПВ обусловлена недостатком информации о состоянии продуктивного горизонта и происходящих там процессах, их высокой инерционностью и

ограниченными возможностями воздействия на движение растворов. В связи с этим, возрастает роль современных информационных технологий в повышении эффективности управления процессом СПВ.

Настоящая работа посвящена методике применения разработанного авторами геотехнологического информационно-моделирующего комплекса (ГТИМК) «Севмур» для оптимизации отработки блоков месторождения урана методом сернокислотного СПВ. ГТИМК «Севмур» создан в среде программирования Borland C++ Builder, и представляет собой многопоточное, многооконное проблемно-ориентированное программное обеспечение, работающее на персональном компьютере под управлением операционной системы Windows 2000 – XP [4, 5]. Многопоточность приложения позволяет выполнять расчеты параллельно с управлением и визуализацией результатов. Использование средств стандартного интерфейса операционной системы Windows при разработке ГТИМК предоставляет пользователю возможность работы со стандартными интерфейсными объектами – окнами, списками, таблицами. Интерфейс ГТИМК включает в себя различные элементы управления, облегчающие работу с программой – кнопки, переключатели, флажки, меню, всплывающие подсказки на русском языке и др. (рис. 1).

Комплекс состоит из геологической геоинформационной, технологической и моделирующей си-

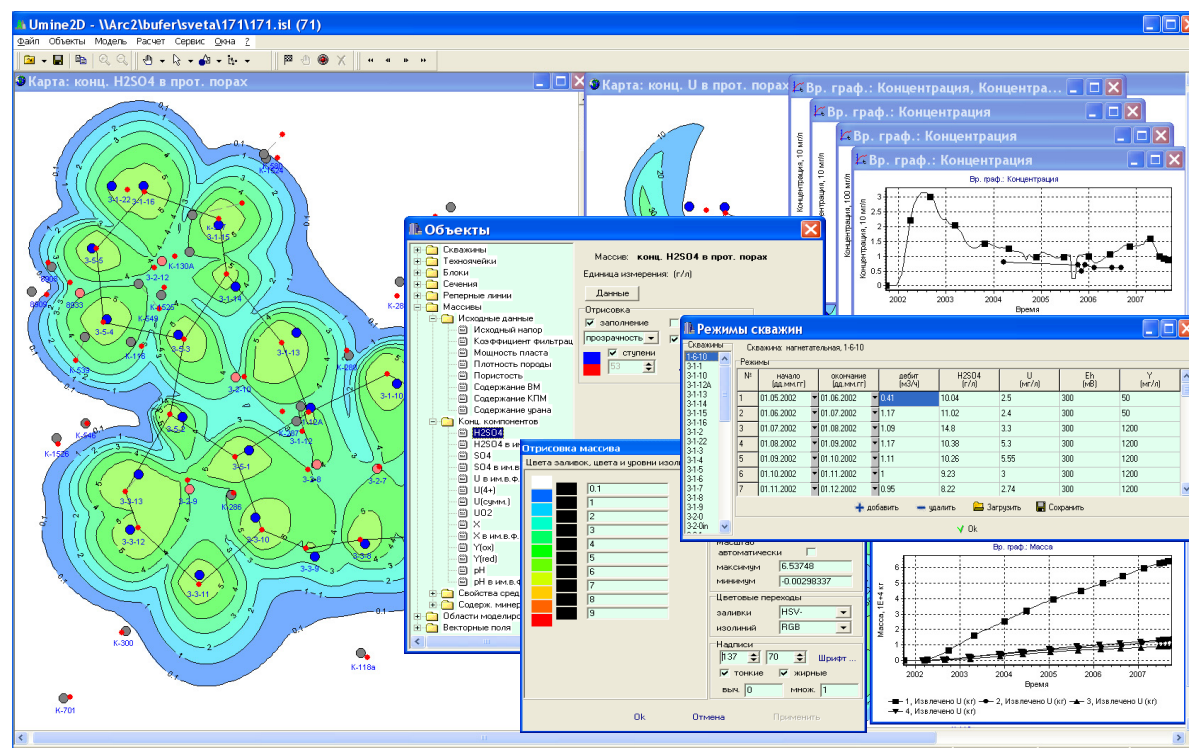


Рис. 1. Пример рабочего окна ГТИМК «Севмур»

стем. Структура комплекса представлена на рис. 2. Геологическая геоинформационная система предназначена для ввода, хранения, обработки и визуализации пространственно-временных и атрибутивных данных, характеризующих состояние продуктивного горизонта в рассматриваемой области. Геологическая геоинформационная система позволяет создавать цифровую модель (ЦМ) продуктивного горизонта, содержащую геологические (глубина залегания, мощность продуктивного горизонта, расположение рудного тела и т. д.), минералогическо-геохимические (распределение минералов в продуктивном горизонте и компонентов, растворенных в пластовых водах) и гидрогеологические (распределение проницаемости, пористости среды и др.) данные. Кроме этого, геоинформационная система содержит блок моделирования, позволяющий генерировать пространственные распределения параметров геологической среды на основе данных по скважинам.

Технологическая система предназначена для ввода, хранения и визуализации данных о техногенном воздействии на гидросферу со стороны добычного комплекса. Технологическая система позволяет создавать ЦМ технологических объектов (нагнетательных, откачных и наблюдательных скважин, ячеек, блоков). ЦМ технологических объектов содержат информацию об их расположении и основных характеристиках, а также данные о дебитах технологических скважин и составах рабочих и продуктивных растворов в различные моменты времени. Кроме того, технологическая система содержит блок расчета геотехнологических пара-

метров, позволяющий на основе результатов моделирования определять показатели отработки блоков (степень извлечения, кислотоёмкость, массу извлеченного урана и т. д.).

Моделирующая система описывает гидродинамические и физико-химические процессы, происходящие в продуктивном горизонте при сернокислотном СПВ урана. Гидродинамический блок включает в себя расчет распределения давления, скорости фильтрации растворов, конвективного массопереноса и гидродинамической дисперсии. В физико-химическом блоке рассматриваются гомогенные и гетерогенные процессы, происходящие при СПВ в системе рабочий раствор – подземные воды – вмещающая порода (взаимодействие рабочего раствора с урансодержащими минералами, растворение – осаждение минералов, кислотно-основные и окислительно-восстановительные процессы, сорбцию и десорбцию, комплексообразование). Также, в моделирующую систему входит база данных по кинетическим коэффициентам и параметрам равновесия протекающих в системе физико-химических процессов.

Применение ГТИМК для оптимизации отработки блоков месторождения урана методом СПВ осуществляется путем последовательного выполнения семи этапов. На первом этапе создаются ЦМ участков продуктивного горизонта, соответствующих обрабатываемым блокам. ЦМ участков строятся на основе данных геологических, геохимических и геофизических исследований, полученных при сооружении технологических и разведочных скважин. Имеющаяся информация вводится в базу гео-



Рис. 2. Структура геотехнологического информационно-моделирующего комплекса

логических данных с помощью блока общения геологической геоинформационной системы. Распределения параметров геологической среды генерируются на основе фактических данных по скважинам интерполяционными или геостатистическими методами в блоке геологического моделирования. Созданные ЦМ участков продуктивного горизонта анализируются, и, при необходимости, производится пополнение исходных данных, изменение параметров геологического моделирования и повторная генерация.

На втором этапе, с помощью блока общения технологической системы, создаются ЦМ технологических объектов, основанные на реальных геотехнологических данных, характеризующих расположение и режимы работы откачных и нагнетательных скважин, а также составы рабочих растворов с момента начала эксплуатации по настоящее время.

На третьем этапе определяются параметры физико-химических процессов, определяющих взаимодействие выщелачивающих растворов с рудовмещающей породой, и, с помощью блока общения моделирующей системы, заполняется соответствующая база данных. Параметры моделирования определяются по результатам калибровочных расчетов отработки блоков. Следует отметить, что первые три этапа являются подготовительными, и от качества их проведения и адекватности созданных ЦМ зависят достоверность геотехнологических расчетов и эффективность оптимизации отработки

блоков. Сбор, систематизация и ввод исходных данных являются достаточно трудоемким процессом. Однако если на геотехнологическом предприятии действует информационная система добычного комплекса, то может быть осуществлена автоматическая загрузка данных, необходимых для создания ЦМ [6].

На четвертом этапе выполняется моделирование отработки блоков с момента начала эксплуатации по настоящее время. Основой для проведения расчетов являются созданные на предыдущем этапе работ ЦМ продуктивного горизонта и технологических объектов, а также база данных параметров физико-химических процессов. Гидродинамические расчеты выполняются с учетом реальных режимов работы технологических скважин, неоднородности фильтрационных параметров продуктивного горизонта и регионального потока подземных вод. При расчетах физико-химических процессов учитываются неоднородность минералогического строения породы, кинетика взаимодействия выщелачивающего раствора с различными минералами и переменный состав рабочих растворов, закачиваемых в продуктивный горизонт. На основе результатов моделирования в технологической системе рассчитываются значения геотехнологических параметров отработки блоков.

На пятом этапе проводится анализ результатов моделирования, и выявляются участки блоков, где СПВ происходит недостаточно эффективно. Причинами неэффективной отработки блоков может

быть образование застойных гидродинамических зон с высокой концентрацией урана, подтягивание пластовых вод откачными скважинами, расположенными вблизи границы блока, выход кислотных и урансодержащих растворов за контур блока и др.

На шестом этапе вырабатываются предложения по оптимизации отработки блоков, и проводятся серии прогнозных расчетов с целью проверки правильности сделанных предложений. Методами оптимизации являются: реверс, изменение дебитов откачных и нагнетательных скважин, сооружение дополнительных скважин и вывод их из работы. Затем, выполняются прогнозны расчеты с измененными режимами отработки блоков на срок от шести месяцев до одного года, а также, для сравнения, прогнозны расчеты отработки блоков с неизменными текущими режимами.

На последнем, седьмом этапе, проводится сравнительный анализ результатов различных прогнозных расчетов и выбирается наилучший, с учетом технических возможностей, вариант отработки блоков, который рекомендуется для реализации. Критериями для выбора наилучших альтернатив являются повышение средней концентрации урана в продуктивных растворах, увеличение массы добытого урана, уменьшение расхода кислоты.

На рис. 3 приведен пример оптимизации работы гексагональной ячейки входящей в состав блока. В процессе отработки блока сформировались застойные зоны между нагнетательными скважинами в гексагональной ячейке (рис. 3, а). Переключение двух нагнетательных скважин в режим откачки (реверс скважин) и изменение дебитов нагнетательных скважин привели к исчезновению

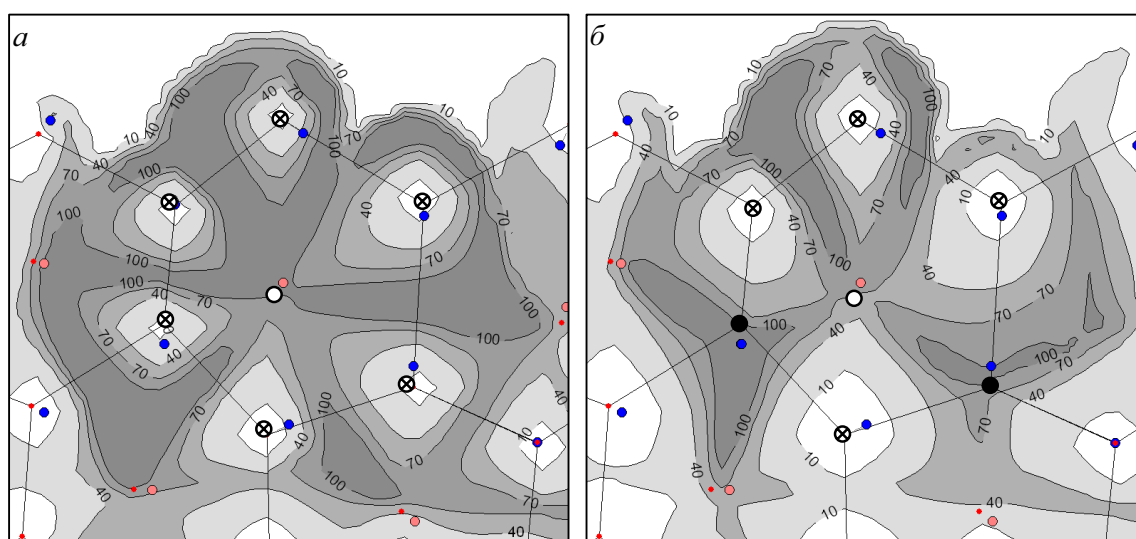


Рис. 3. Оптимизация работы гексагональной ячейки путем управления формированием застойных зон. Изолиниями показано распределение концентрации урана в продуктивных растворах (мг/л) до (а) и после (б) изменения режимов работы скважин. Ломаная линия показывает контуры ячеек. Скважины: ○ – откачная, ⊗ – нагнетательная, ● – реверсированная

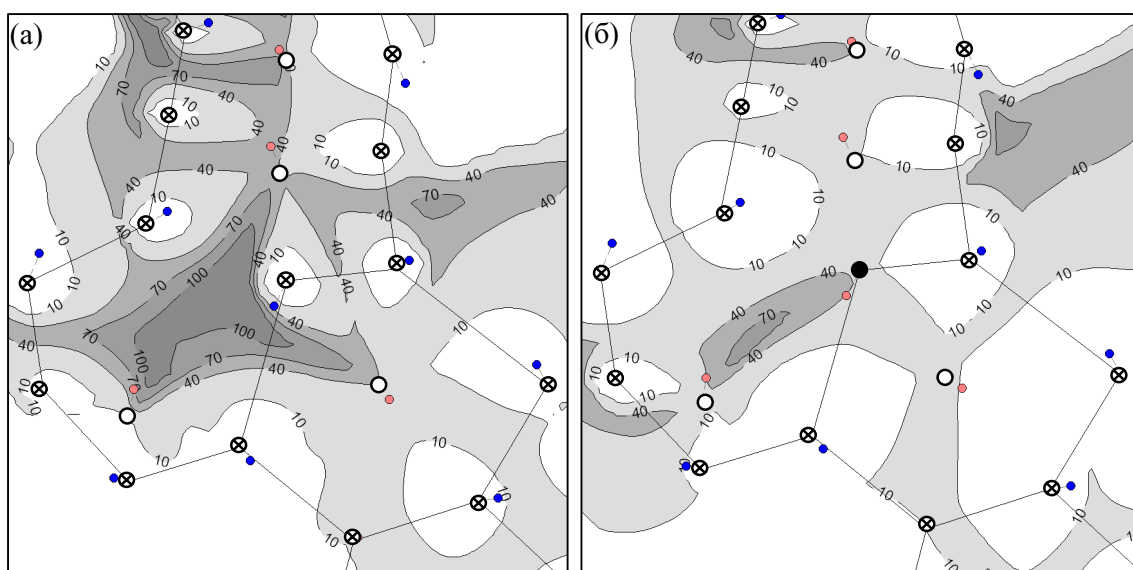


Рис. 4. Ликвидация области с низкой скоростью движения растворов и высокой концентрацией урана. Распределение концентрации урана в продуктивных растворах (мг/л) до (а) и после (б) изменения режимов работы скважин

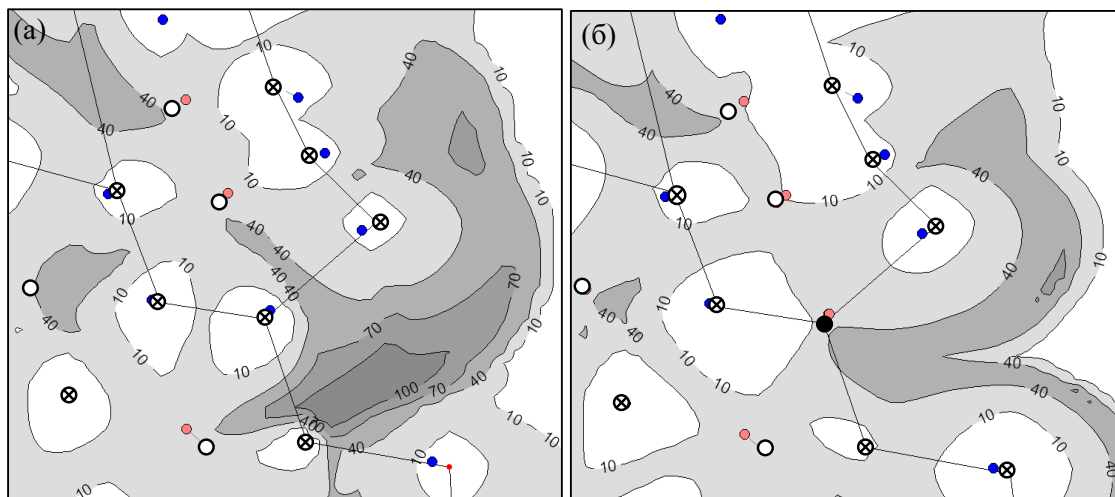


Рис. 5. Извлечение вышедших за контур блока урансодержащих растворов. Распределение концентрации урана в продуктивных растворах (мг/л) до (а) и после (б) изменения режимов работы скважин

соответствующих застойных зон и образованию, через некоторое время, новых застойных зон между откачными скважинами (рис. 3, б). После этого откачные скважины были снова переведены в режим закачки и восстановлена первоначальная гексагональная геометрия ячейки. Выполнение данной операции позволило уменьшить застойные явления и интенсифицировать отработку блока.

Другой пример оптимизации работы блока приведен на рис. 4. Из-за значительного смещения забоя откачной скважины от центра ячейки сформировалась область с низкой скоростью движения растворов и высокой концентрацией урана (рис. 4, а). Реверс одной нагнетательной скважины позволил откачать растворы с высокой концентрацией урана из образовавшейся области (рис. 4, б).

На рис. 5 показан пример оптимизации работы скважин на границе блоков. В результате работы четырех нагнетательных скважин на стыке двух блоков формируется область растворов с высокой концентрацией урана за контуром блоков (рис. 5, а). Реверс одной нагнетательной скважины позволяет извлекать эти растворы из продуктивного горизонта (рис. 5, б).

Процедуру оптимизации отработки блоков месторождения урана методом СПВ целесообразно проводить периодически, с интервалом в несколько

месяцев. Для поддержания ЦМ технологических объектов в актуальном состоянии необходимо их периодическое дополнение информацией о реальных режимах работы откачных и закачных скважин за очередной прошедший период времени. После этого, требуется выполнить продолжение моделирования отработки блоков на данный период времени.

Применение ГТИМК «Севмур» на геотехнологическом предприятии позволяет иметь информацию о состоянии продуктивного горизонта, выявлять недостатки в отработке отдельных блоков, определять факторы, влияющие на интенсивность извлечения урана и вырабатывать рекомендации по повышению эффективности. При проектировании новых блоков комплекс может использоваться для определения оптимального расположения нагнетательных и откачных скважин, подбора режимов их эксплуатации, обеспечивающих максимальную эффективность разработки месторождения. На заключительной стадии отработки блоков с помощью комплекса можно определять оптимальную последовательность вывода скважин из эксплуатации. Кроме этого, ГТИМК «Севмур» может быть использован для подготовки специалистов-геотехнологов в области скважинного подземного выщелачивания.

Работа поддержана грантами РФФИ № 06-01-00073-а и № 06-07-9690-р_офи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мамилов В.А., Петров Р.П., Шушания Г.Р. и др. Добыча урана методом подземного выщелачивания. — М.: Атомиздат, 1980. — 248 с.
2. Лавров Н.П., Абдулманов И.Г., Бровин К.Г. и др. Подземное выщелачивание полиэлементных руд. — М.: Изд-во Академии горных наук, 1998. — 446 с.
3. Белецкий В.И., Богатков Л.К., Волков Н.И. и др. Справочник по геотехнологии урана. — М.: Энергатамиздат, 1997. — 672 с.
4. Жиганов А.Н., Истомин А.Д., Носков М.Д. и др. Программный комплекс для моделирования процесса подземного выщелачивания урана // В кн.: Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов. В 2 т. Т. 1: Уран / Под ред. М.И. Фазлуллина. — М.: Издат. дом «Руда и металлы», 2005. — С. 297–306.
5. Жиганов А.Н., Истомин А.Д., Кеслер А.Г., Носкова С.Н. Математическое моделирование отработки технологического блока месторождения урана методом ПВ // Актуальные проблемы урановой промышленности: Матер. IV Междунар. научно-практ. конф. — Алматы, 2007. — С. 56–59.
6. Чеглоков А.А., Бабкин А.С., Истомин А.Д., Носков М.Д., Цигура-Косенко Д.В. Информационная система добычного комплекса предприятия подземного скважинного выщелачивания урана // Актуальные проблемы урановой промышленности: Матер. V Междунар. научно-практ. конф. — Алматы, 2008. — С. 100–106.

Поступила 04.02.2009 г.