

УДК 550.8.02

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ИНФИЛЬТРАЦИОННОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ УРАНА

А.Д. Истомин, М.Д. Носков, А.А.Чеглоков

Северская государственная технологическая академия

E-mail: science@ssti.ru

*Представлена геологическая геоинформационная система, предназначенная для информационного обеспечения геологоразведочных работ на инфильтрационном месторождении урана. Система состоит из базы данных и нескольких проблемно-ориентированных клиентских программ, предназначенных для ввода, хранения, обработки, интерпретации и анализа геологической, литологической, минералогической, технологической и др. информации. Кроме того, система позволяет на основе фактических данных создавать двух и трехмерные цифровые модели геологической среды.*

### **Ключевые слова:**

*Геоинформационные системы, математическое моделирование геологической среды, геологоразведочные работы, подсчет запасов, инфильтрационное месторождение урана.*

Сырьевое обеспечение атомного энергопромышленного комплекса основано на добыче природного урана. В России добыча урана осуществляется как традиционными горными способами, так и методами геотехнологии. Одним из перспективных методов геотехнологии является подземное скважинное выщелачивание (ПСВ). Методом ПСВ разрабатывают экзогенные инфильтрационные месторождения урана, рудное тело которых находится в хорошо проницаемом подземном водоносном горизонте (продуктивном горизонте). Для оценки запасов и условий залегания экзогенного инфильтрационного месторождения урана, определения оптимальных методов его отработки целесообразно использовать цифровые модели рудного тела и рудовмещающего горизонта. Создание таких моделей осуществляется на основе данных геофизического исследования скважин (ГИС) и анализа керн на разведочных и технологических скважин. Значительные объемы и разнородность этих данных являются причиной сложности анализа и низкой оперативности работы с ними. Поэтому, целесообразным является использование современных информационных технологий для хранения, обработки, анализа данных и создания на их основе цифровых моделей продуктивного горизонта.

В настоящее время существуют различные информационные системы, предназначенные для сбора и интерпретации данных о геологической среде, например [1–4]. Они в большей степени предназначены для предприятий, разрабатывающих месторождения полезных ископаемых традиционными подземными или открытыми горными способами, и не учитывают специфики геотехнологических методов. Поэтому применение таких систем на предприятиях по разработке месторождения урана методом ПСВ затруднительно.

В настоящей работе представлена геологическая геоинформационная система (ГГИС) предназначена для предприятий, разведывающих, подготавливающих к отработке и разрабатывающих месторождения урана методом ПСВ. Система

позволяет проводить сбор, хранение, обработку, визуализацию и интерпретацию данных о рудовмещающем горизонте. В состав ГГИС входит шесть модулей, предназначенных для решения отдельных задач: система управления базой геологических данных (СУБГД), «Электронный паспорт скважины», «Геотехнологический разрез», «Подсчет геотехнологических показателей», «Геологическое моделирование», «Представление и анализ геологических данных». Структура ГГИС приведена на рис. 1.

СУБГД предназначена для хранения всего массива данных (исходные, результаты их обработки и интерпретации, геотехнологические показатели, цифровые модели и др.), а также обеспечения доступа к ним на основе SQL (рис. 1). СУБГД включает в себя семь реляционных баз данных. База кондиционных лимитов содержит значения параметров и критериев, используемых при анализе геологической среды рассматриваемого месторождения. База исходных данных по скважинам предназначена для хранения полного объема первичных данных, в том числе результатов геофизических исследований, проб, описаний кернов, строений скважин и т. д.

База результатов анализа и интерпретации содержит результаты обработки первичных данных по скважинам: рудные интервалы, пересечения, сводные геологические колонки и др. В базе геотехнологических разрезов хранятся построенные геологом на различных стадиях разведки разрезы рудовмещающего горизонта с распределениями геологических и геотехнологических параметров. База геотехнологических полигонов содержит параметры технологических блоков, балансовых и забалансовых подсчетных блоков для различных стадий разведки. База цифровых моделей геологической среды содержит двух- и трехмерные модели залежей месторождения. Для каждой залежи может быть создано произвольное количество моделей. База геотехнологических показателей содержит результаты расчетов параметров геологической среды (запасы урана, горно-рудной массы, мощность и т. д.), рассчитанных различными методами.

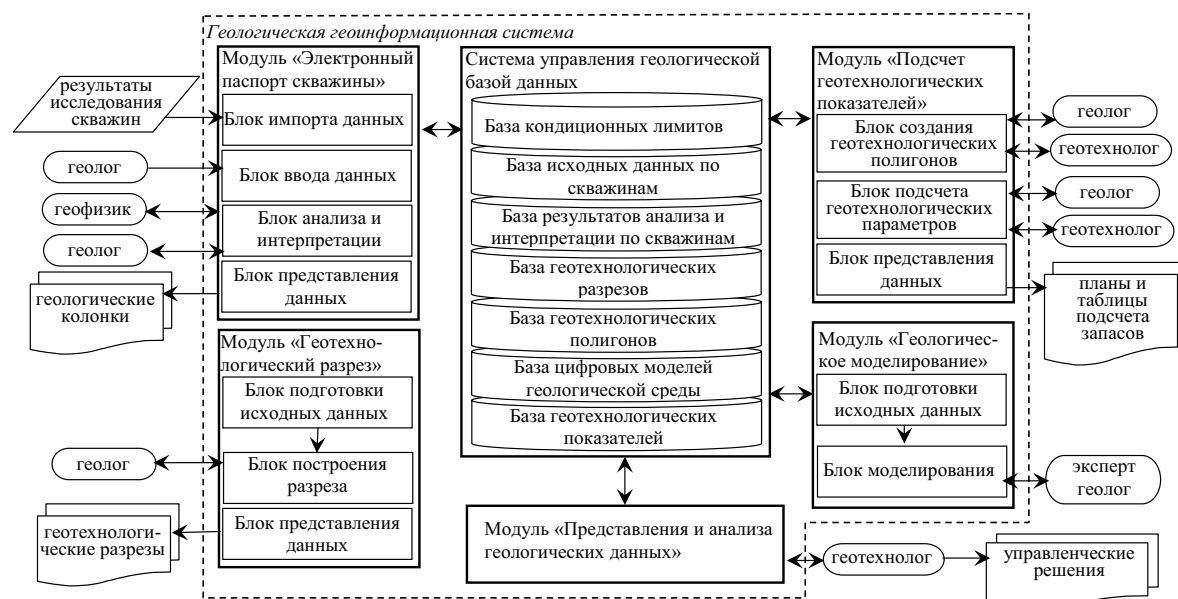


Рис. 1. Структура геологической геоинформационной системы

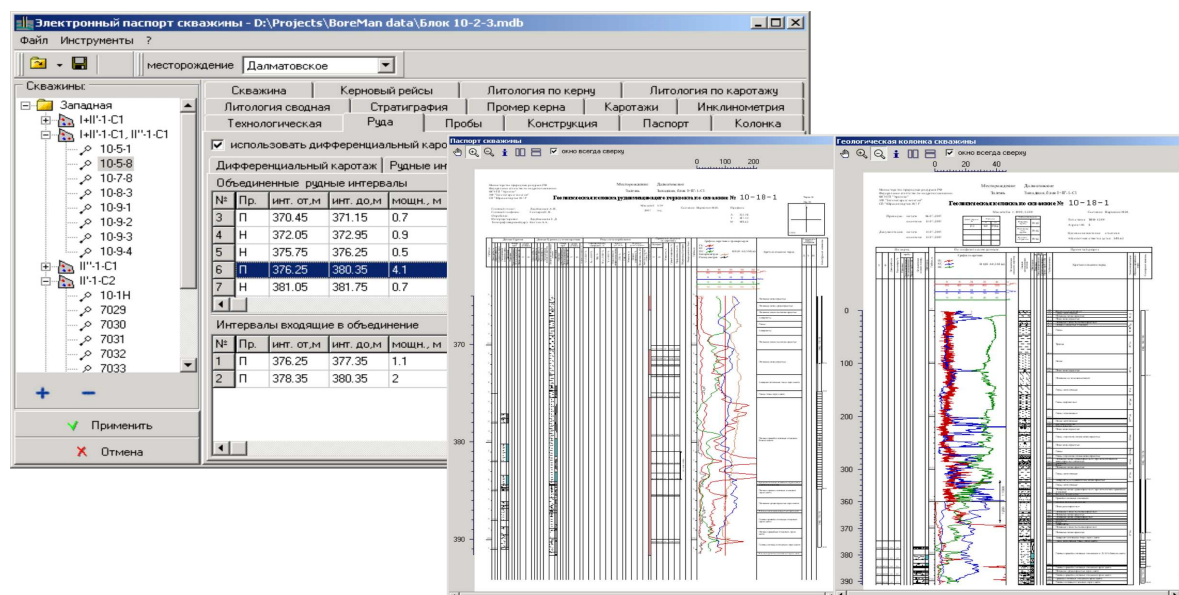


Рис. 2. Примеры рабочих окон модуля «Электронный паспорт скважины»

Модуль «Электронный паспорт скважины» предназначен для ввода, редактирования, анализа, интерпретации и визуализации данных по скважине (рис. 2). Модуль состоит из четырех блоков. Блок импорта данных позволяет импортировать в базу исходных данных результаты геофизических исследований скважин, полученные с помощью цифровых каротажных станций (LAS-файлы, формат станций «Кобра» и др.). Для каждой скважины может сохраняться произвольное количество каротажных кривых любого типа (КС, ПС, ГК и др.). Блок ввода позволяет с помощью системы диалогов вводить координаты устья скважины, документацию по бурению, результаты обработки керна (параметры рейсов, литология по керну, керновые, гранулометрические, литологогеохимические и

другие пробы) и конструкцию скважины (элементы конструкции и их параметры). Блок анализа и интерпретации позволяет геофизику и геологу с помощью системы визуальных инструментов провести обработку исходных данных по скважине, рассчитать координаты ствола скважины по данным инклинометрии.

На основе анализа результатов ГИС и данных бурения геофизику строится литологическая колонка по каротажу, а геологом — сводная литологическая колонка, определяются стратиграфия, технологические интервалы, дифференциальные рудные интервалы. Последние объединяются в рудные интервалы, а те в свою очередь в объединенные рудные интервалы в соответствии с принятыми для данного месторождения кондиционными лимитами.

ми. Значения кондиционных лимитов (бортовое содержание, минимальный линейный запас и др.) для каждого месторождения хранятся в соответствующей базе данных и могут редактироваться пользователем с помощью диалога блока анализа и интерпретации. Блок представления результатов позволяет на основе информации базы исходных данных и базы результатов анализа и интерпретации построить геологическую колонку и геологическую колонку рудовмещающего горизонта по скважине. С помощью системы диалогов пользователь может изменять параметры отображения колонок (масштаб части колонки, список отображаемых каротажных кривых, шкалы каротажей и т. д.). Построенные колонки могут быть распечатаны на принтере или плоттере в любом масштабе, а также сохранены в векторном графическом файле (Enhanced metafile, Windows metafile или Scalable vector graphics).

Модуль «Геотехнологический разрез» предназначен для ввода, редактирования и визуализации данных по геотехнологическому разрезу (рис. 3). Модуль состоит из трех блоков. Блок подготовки исходных данных позволяет, с помощью интерактивной карты, определить список скважин, отображаемых на разрезе, и ломаную линию профиля, вдоль которой строится разрез. Кроме этого, в соответствии с критериями, заданными пользователем, блок формирует исходные данные по скважинам на основе информации базы исходных данных и базы результатов анализа и интерпретации. Блок построения разреза позволяет пользователю с помощью интерактивных визуальных инструментов задавать границы проницаемых областей, балансовых и забалансовых рудных тел, фундамента, ритмопачек и зоны пластowego окисления. Результаты работы этого блока сохраняются в базе геотехнологических разрезов. Для каждого профиля может

сохраняться произвольное количество разрезов. Блок представления результатов позволяет на основе информации баз данных геотехнологических разрезов и полигонов построить чертеж выбранного геотехнологического разреза по данному профилю. С помощью системы диалогов пользователь может изменять параметры отображения (размер отображаемой области по вертикали, отображаемые данные для каждой скважины, список отображаемых блоков и т. д.). Построенные разрезы могут быть распечатаны или сохранены в векторном графическом файле.

Модуль «Подсчет геотехнологических показателей» предназначен для создания геотехнологических полигонов (балансовых, забалансовых подсчетных блоков на всех стадиях разведки, технологических блоков) и расчета их параметров различными методами (рис. 4). Модуль состоит из трех блоков. Блок создания геотехнологических полигонов позволяет определить их геометрию в трехмерном пространстве, тип, стадию разведки и т. д. Для этого, сначала, на основе данных базы разрезов определяются рудные пересечения и эффективная мощность для выбранной рудной пачки по скважинам. Затем, на интерактивной карте в соответствии с параметрами разведки и кондиционными лимитами по месторождению формируется контур балансового или технологического блока. Для подсчетного блока при необходимости может быть создан забалансовый подсчетный блок. После этого, для созданных блоков определяется список сетевых скважин. На последнем этапе определяются контуры блока на геотехнологических разрезах. Блок подсчета геотехнологических параметров позволяет рассчитать площадь блока, запасы руды, урана и горно-рудной массы, значений средней линейной продуктивности, эффективной мощности и другие параметры.

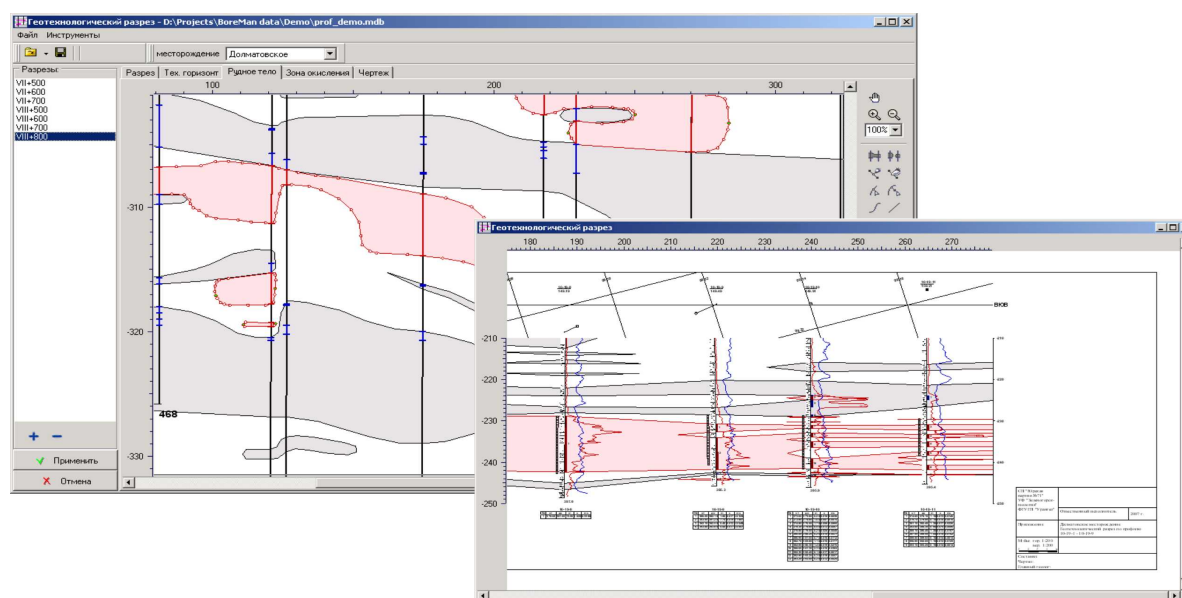


Рис. 3. Примеры рабочих окон модуля «Геотехнологический разрез»

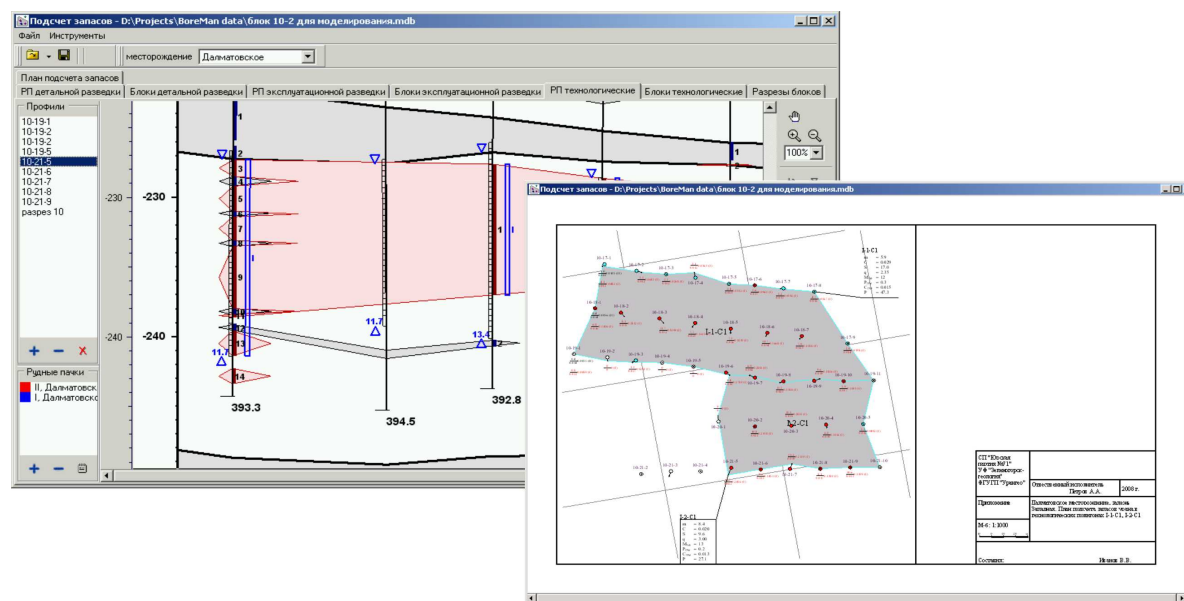


Рис. 4. Примеры рабочих окон модуля «Подсчет геотехнологических показателей»

Расчеты проводятся по методике принятой Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых РФ или на основе цифровых моделей геологической среды. В последнем случае геотехнологические параметры рассчитываются с помощью интегрирования пространственных распределений физических величин по соответствующим блокам областям. Результаты работы блока сохраняются в базе геотехнологических параметров. Блок представления данных позволяет, на основе информации баз данных геотехнологических полигонов и параметров, создавать планы и таблицы подсчета запасов. С помощью системы диалогов пользователь может изменять параметры отображения плана (размер отображаемой области, список отображаемых блоков и т. д.). Построенные планы могут быть распечатаны или сохранены в векторном графическом файле. Таблицы подсчета запасов могут автоматически экспортироваться в файл MS Excel.

Модуль «Геологическое моделирование» предназначен для создания двух- и трехмерных цифровых моделей геологической среды на основе баз геологических данных (рис. 5). Модуль состоит из двух блоков. Блок подготовки исходных данных в соответствие с заданными пользователем критериями формирует запросы к СУБД. На основе информации, полученной в результате выполнения запросов, блок генерирует все необходимые для моделирования данные. Блок моделирования позволяет получать распределения характеристик рудовещающего горизонта на основе фактических данных по скважинам (анализ керна, данные геофизических исследований и др.), статистических данных по месторождению и экспертных оценок пользователя интерполяционными, геостатистическими или стохастическими методами. На первом этапе создания цифровой модели геологической среды, в соответствие с размерностью задачи, генерируется двух-

или трехмерная нерегулярная расчетная сетка с заданными параметрами. Затем выбираются методы восстановления распределения физических величины в цифровой модели и задаются значения параметров моделей. При использовании геостатистических методов проводится анализ пространственной структуры корреляции данных и строятся изотропные или анизотропные математические модели вариограмм. На следующем этапе проводится генерирование распределения выбранным методом с соответствующими значениями параметров. После этого проводится кросс-валидация полученных распределений и при необходимости процедура повторяется. Полученные цифровые модели сохраняются в соответствующей базе данных.

Модуль «Представления и анализа геологических данных» позволяет визуализировать фактические данные, геотехнологические разрезы и цифровые модели рудоносного горизонта, в виде карт, сечений, разрезов, поверхностей, трехмерных тел, графиков вдоль профиля и т. п. (рис. 6). Кроме этого модуль позволяет проводить анализ имеющихся данных (выделять двухмерные или трехмерные области по заданным критериям, рассчитывать интегральные и средние значения характеристик геологической среды для заданных пользователем двух- или трехмерных областей и т. д.).

Описанная ГГИС была реализована в среде программирования Borland Builder 5.0, СУБД создана на основе Oracle 10g. Система также может работать с СУБД, реализованной на основе MS Access или MS SQL Server. Программное обеспечение предназначено для работы на персональном компьютере под управлением операционной системы MS Windows 2000, XP. Использование ГГИС осуществляется поэтапно. Первоначально в базу данных заносятся результаты ГИС и исследования керна. Затем производится интерпретация этих данных и создаются элек-



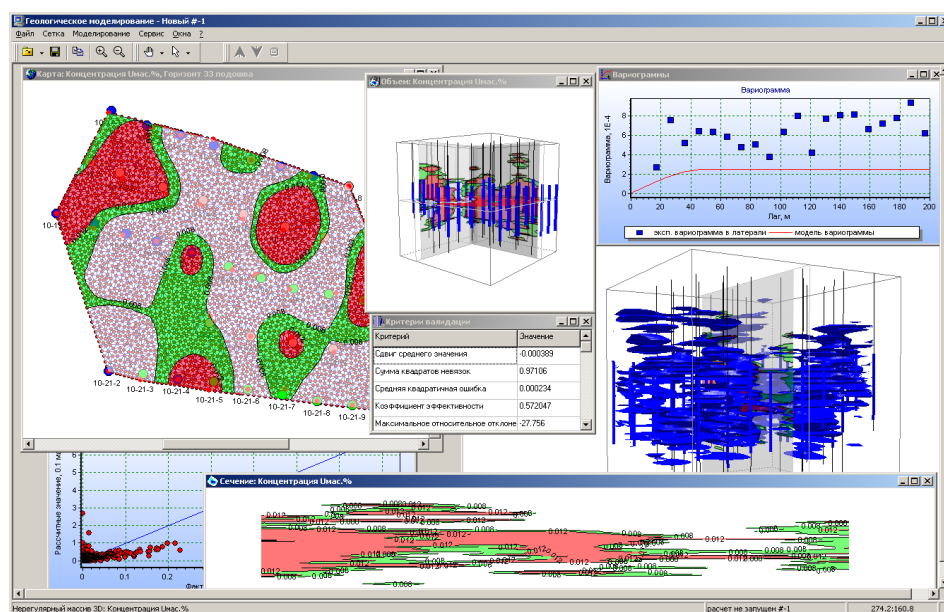


Рис. 5. Рабочее окно модуля «Геологическое моделирование»

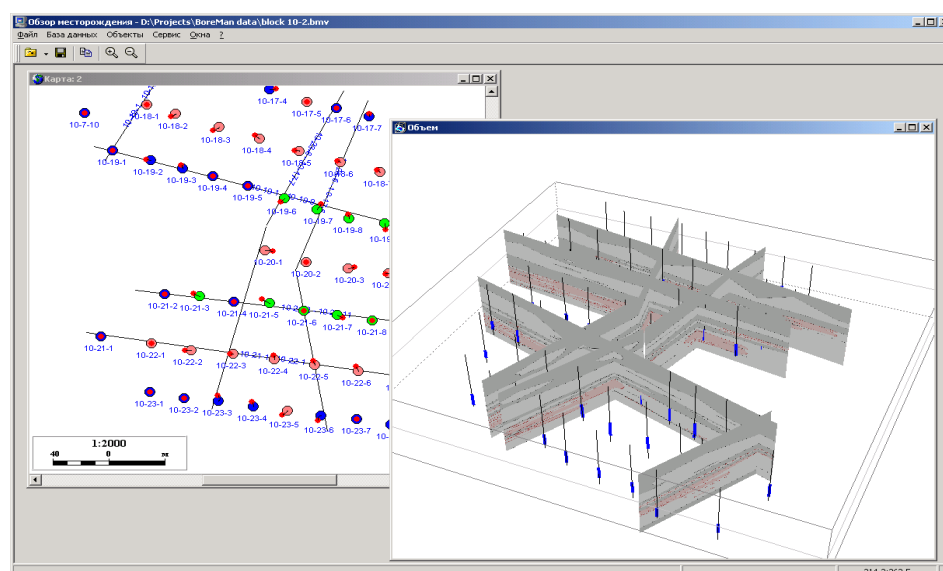


Рис. 6. Рабочее окно модуля «Представление и анализ геологических данных»

тронные паспорта скважин. На следующем этапе геологом на основе данных по скважинам строятся геотехнологические разрезы. С помощью разрезов производится анализ строения рудовмещающего горизонта и выделяются подсчетные и/или технологические блоки. На основе данных по скважинам и разрезам строятся цифровые модели геологической среды. Затем выполняются подсчеты геотехнологических показателей. На заключительном этапе с помощью модуля «Представления и анализа геологических данных» геотехнолог проводит анализ всех имеющихся данных и на их основе выбирает оптимальную схему разработки месторождения.

Применение ГГИС позволит на предприятиях ПСВ урана исключить потерю или искажение исходных данных, существенно снизить временные и тру-

довые затраты на подготовку, обработку, интерпретацию и анализ разнородных данных, создать двух- и трехмерные цифровые модели продуктивного горизонта различными методами, обеспечить оперативный доступ к информации, необходимой для принятия эффективных управленческих решений. Кроме этого ГГИС может на основе имеющейся информации автоматически генерировать исходные данные для проведения геотехнологических расчетов с помощью специализированного программного обеспечения [5]. Созданная система при незначительной модификации может быть использована на предприятиях, добывающих другие полезные ископаемые (золото, рений, скандий и др.) методом ПСВ.

Работа выполнена при финансовой поддержке ОАО «ТВЭЛ» и гранта РФФИ № 06-07-9690-р\_офи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mining technology // Datamine [Электрон. ресурс] – Режим доступа: [www.datamine.co.uk](http://www.datamine.co.uk) – 29.10.2008.
2. The Mining software // Gemcom [Электрон. ресурс] – Режим доступа: [www.gemcomsoftware.com](http://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](http://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](mailto: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-