

УДК 004.9+622.2+550.8.02

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

**ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ  
СИСТЕМА ДЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ,  
РАЗРАБАТЫВАЕМОГО МЕТОДОМ СКВАЖИННОГО  
ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ\***

*Представлена горно-геологическая информационная система для месторождения, разрабатываемого методом скважинного подземного выщелачивания. Система состоит из базы данных и клиентских программ, обеспечивающих ввод, хранение и обработку всего объема геологической информации, а также создание геолого-математических моделей и подсчет запасов.*

*Ключевые слова: горно-геологические информационные системы, геологоразведочные работы, геолого-математические модели, подсчет запасов, инфильтрационное месторождение, подземное выщелачивание.*

---

**С**кважинное подземное выщелачивание (СПВ) является одним из перспективных методов геотехнологии. Данным способом разрабатывают экзогенные инфильтрационные месторождения, в которых рудное тело находится в хорошо проницаемом подземном водоносном горизонте (продуктивном горизонте). Для оценки запасов и условий залегания таких месторождений, определения оптимальных методов его обработки целесообразно использовать геолого-математические модели рудного тела и рудовмещающего горизонта. Создание таких моделей осуществляется на основе данных геофизического исследования скважин (ГИС) и анализа керна разведочных и технологических скважин. Значительные объемы и разнородность этих данных являются причиной сложности анализа и низкой оперативности работы с ними. Поэтому, целесообразным является использо-

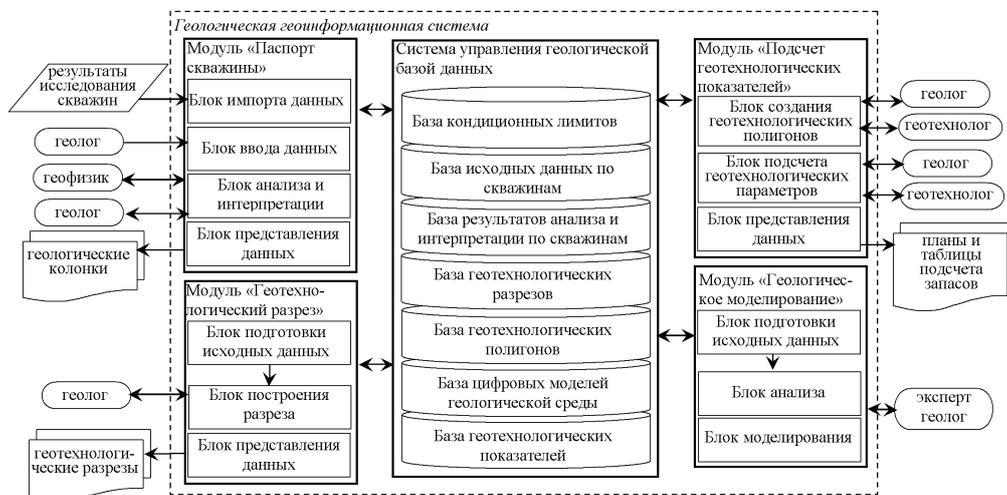
вание современных информационных технологий для хранения, обработки, анализа данных и создания на их основе цифровых моделей продуктивного горизонта.

В настоящее время существуют различные горно-геологические информационные системы, предназначенные для сбора и интерпретации данных о геологической среде, например [1–3]. 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 методом СПВ затруднительно.

В настоящей работе представлена горно-геологическая информационная система (ГИС), позволяющая проводить сбор, хранение, обработку и ин-

---

\* Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013 годы (проект П513).



**Рис. 1. Принципиальная схема горно-геологической информационной системы**

терпретацию данных о рудовмещающем горизонте, а также создание цифровых моделей геологической среды и подсчет геотехнологических показателей. В состав ГИС входит пять модулей, предназначенных для решения отдельных задач: система управления базой геологических данных (СУБГД), «Паспорт скважины», «Геотехнологический разрез», «Подсчет геотехнологических показателей», «Геологическое моделирование». Принципиальная схема ГИС приведена на рис. 1.

СУБГД предназначена для хранения всего массива информации (исходных данных, результатов их обработки и интерпретации, геотехнологических показателей, цифровых моделей и др.), а также обеспечения доступа к ним с помощью языка запросов SQL. СУБГД включает в себя семь взаимосвязанных 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 параметры моделирования и полученные распределения геологических величин. База геотехнологических показателей содержит результаты расчетов параметров геологической среды (запасы, ГРМ, средняя мощность, эффективная мощность и т.д.), рассчитанных различными методами.

Модуль «Паспорт скважины» предназначен для ввода, редактирования, анализа, интерпретации и визуализации данных по скважине. Модуль состоит из четырех блоков. Блок импорта данных позволяет перенести 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, расходомерия 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 геологами строятся литологические колонки, 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. 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 представле-

ния результатов позволяет, на основе информации базы исходных данных и базы результатов анализа и интерпретации по скважинам, 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. 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 пластового 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



**Рис. 2. Вид рабочих окон клиентских программ горно-геологической информационной системы**

разрезов и полигонов, построить чертёж 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 «Геологическое моделирование» предназначен для создания цифровых моделей геологической среды на основе баз геологических данных. Модуль состоит из трех блоков. Блок подготовки исходных данных, в соответствии с заданными пользователем критериями, формирует запросы к СУБД. На основе информации, полученной в результате выполнения запросов, блок генерирует все необходимые для моделирования данные. Блок анализа пред-

назначен для исследования исходных данных и результатов моделирования. Блок содержит набор инструментов, позволяющих определять статистические характеристики и пространственную структуру корреляции исходных данных, а также строить соответствующие статистические модели. Для анализа цифровых моделей блок визуализирует геологические данные в виде карт, сечений, разрезов, поверхностей, графиков вдоль профиля и т.д., позволяет выделять области по заданным критериям и рассчитывать для них статистические характеристики и геотехнологические показатели. Блок моделирования позволяет получать распределения физических величин, характеризующих рудовмещающий горизонт, 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 генерируется адаптивная нерегулярная расчетная сетка с заданными параметрами. Затем выбираются методы восстановления распределений физических величин и задаются значения параметров моделей. На следующем этапе проводится генерирование распределений требуемых величин 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 «Подсчет геотехнологических показателей» предназначен для создания геотехнологических полигонов (балансовых, забалансовых подсчетных блоков на всех стадиях разведки, технологических блоков) и расчета их параметров различными методами. Модуль состоит из трех блоков. Блок создания геотехнологических полигонов позволяет определить их геометрию. На интерактивной карте, в соответствии с параметрами разведочной сети и кондиционными лимитами по месторождению, формируется плановый контур подсчетного полигона. Определяются идущие в подсчет скважины, из которых выделяются сетевые. На последнем этапе уточняются параметры рудых пересечений на каждом пересекающем полигон геотехнологическом разрезе. Блок подсчета геотехнологических параметров позволяет рассчитать площадь полигона, запасы руды, полезного компонента и горно-рудной массы (ГРМ), значений средней линейной продуктивности, эффективной мощности и другие параметры. Расчеты могут проводиться методом

проекции геологических полигонов на горизонтальную плоскость (с учетом ураганных значений), методом ячеек Воронова или на основе цифровых моделей геологической среды. В последнем случае геотехнологические параметры рассчитываются с помощью интегрирования пространственных распределений физических величин по соответствующим полигонам областям. Результаты работы блока сохраняются в базе геотехнологических параметров. Блок представления данных позволяет, на основе информации баз данных геотехнологических полигонов и параметров, создавать подсчетные планы и таблицы подсчета запасов. С помощью системы диалогов пользователь может изменять параметры отображения плана (размер отображаемой области, список отображаемых полигонов и т.д.). Построенные планы могут быть распечатаны или сохранены в векторном графическом файле. Таблицы подсчета запасов могут автоматически экспортироваться в файл MS Excel.

Описанная ГГИС реализована на основе клиент-серверной технологии. В качестве СУБД может использоваться SQL Server Oracle, MS SQL Server или MS Access. Клиентские программы созданы среде программирования Borland Developer Studio 2006 и работают на персональном компьютере под управлением операционной системы MS Windows (рис. 2). Созданная ГГИС может быть использована на предприятиях, осуществляющих поиски, разведку, подготовку и разработку месторождений полезных ископаемых (уран, золото, медь, никель и др.) методом СПВ. Применение программного комплекса позволяет исключить потерю или искажение исходных данных, существенно снизить временные и трудовые затраты на подготовку, обработку,

интерпретацию и анализ разнородных данных, обеспечить оперативный и полный доступ к информации, необходимой для принятия эффективных управленческих решений. Кроме того, в результате работы ГГИС формируется единая реляционная база согласованных и непротиворечивых

данных, содержащая весь объем геологической информации о месторождении. Это позволяет интегрировать ГГИС в единую информационную среду предприятия, обеспечивая геологической информацией геотехнологическую информационную и моделирующую системы [4].

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Software and Simulation Products// CAE Mining* [Электрон. ресурс] — Режим доступа: <http://www.cae.com/en/mining/products.asp> 16.04.12.

2. *The Mining Software Solutions // Gemcom* [Электрон. ресурс] — Режим доступа: [www.gemcomsoftware.com](http://www.gemcomsoftware.com) — 16.04.12.

3. *Earth science and gis software// Rockware* [Электрон. ресурс] — Режим доступа: [www.rockware.com](http://www.rockware.com) — 16.04.12.

4. *Истомин А.Д., Носков М.Д., Кеслер А.Г., Носкова С.Н., Чеглоков А.А.* Программный комплекс для управления разработкой месторождения полезных ископаемых методом скважинного подземного выщелачивания // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2011. — №8. — С. 376—381. **ГИАБ**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Истомин Андрей Дмитриевич* — кандидат физико-математических наук, доцент, e-mail: [istomin@ssti.ru](mailto:istomin@ssti.ru).

*Носков Михаил Дмитриевич*, доктор физико-математических наук, профессор, e-mail: [nmd@ssti.ru](mailto:nmd@ssti.ru).

*Чеглоков Алексей Александрович* — e-mail: [cheglok@ssti.ru](mailto:cheglok@ssti.ru).

Северский технологический институт национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».



---

#### ИЗ АРХИВОВ ГОРНЫХ ПРЕПРИЯТИЙ



**Лебединский ГОК. Фабрика обогащения**