

Истомин А.Д.¹, Ладейщиков А.В.², Лаптев Ю.И.³,
Носков М.Д.¹, Чеглоков А.А.¹ (1 — Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, 2 — ФГУП «Урангео» УФ «Зеленогорскгеология», 3 — АО «Далур»)

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОЛОГО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАСТОВО-ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ДАЛМАТОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА

*Представлена горно-геологическая информационная система, предназначенная для ввода, хранения, обработки, интерпретации и визуализации информации о рудовмещающем горизонте, создания на ее основе моделей геологической среды. Рассмотрен опыт применения системы для геолого-математического моделирования Далматовского инфильтрационного месторождения урана, отрабатываемого методом подземного выщелачивания. **Ключевые слова:** горно-геологическая информационная система, геолого-математическое моделирование, пластово-инфильтрационное месторождение, геотехнологические параметры.*

Istomin A.D.¹, Ladeyshchikov A.V.², Laptev Yu.I.³, Noskov M.D.¹,
Cheglovkov A.A.¹ (1 — Seversk institute of technology of NIYaU ME-PhI, 2 — Urango, Zelenogorskgeologiya, 3 — Dalur)

EXPERIENCE OF APPLICATION OF GEOLOGICAL AND MATHEMATICAL MODELLING OF SHEETED AND INFILTRATION SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF THE DALMATOVSKY FIELD OF URANIUM

*Provided geological information system designed for entering, storing, processing, interpretation and visualization of information on rudovmещающем horizon, creating models of the geological environment. The experience of application system for geological-mathematical modeling of Dalmatovsky infiltration uranium deposits, located in-situ leaching method. **Key words:** geological information system, geological-mathematical modeling, sheeted and infiltration field, geotechnological settings.*

Перспективным методом разработки экзогенных пластово-инфильтрационных месторождений урана является скважинное подземное выщелачивание (СПВ). В настоящее время этим методом ведется добыча урана в Казахстане, Узбекистане, США, России и других странах. Разведка, вскрытие и отработка пластово-инфильтрационных месторождений методом СПВ сопряжены с анализом значительных объемов разнородных пространственно-распределенных данных, что существенно затрудняет их анализ и снижает оперативность работы с ними. Исходя из этого, целесообразным является использование современных информационных технологий для ввода, хранения, обработки, анализа и визуализации данных, создания на их основе цифровой модели продуктивного горизонта, а также расчета геологических и геотехнологических параметров [1]. В настоящее время существуют различные информационные системы сбора и анализа данных о геологической среде и построения геолого-математических моделей рудного тела [5–7]. Они в большей степени ориентированы на предприятия, разрабаты-

вающие месторождения традиционными подземным или открытым способами, и не учитывают специфики геотехнологических методов, требующих не только построения контура рудного тела и распределения содержания полезного компонента в нем, но и описания гидрогеологических условий и распределения геофильтрационных параметров в рудовмещающем водоносном горизонте. Поэтому применение таких систем на предприятиях по разработке месторождения методом СПВ затруднительно.

В настоящей работе представлена специализированная горно-геологическая информационная система (ГИИС), предназначенная для работы с пластово-инфильтрационными месторождениями, а также рассмотрен опыт ее применения при разработке Далматовского месторождения урана методом СПВ [2–4]. Система позволяет проводить сбор, хранение, обработку и интерпретацию данных о рудовмещающем горизонте и выполнять геолого-математическое моделирование продуктивного горизонта. При разработке ГИИС были учтены потребности специалистов осуществляющих различные виды геологических работ. В основу алгоритмов обработки геологической информации были положены методики, отработанные при получении и обработке геологической информации по гидрогенным месторождениям урана и апробированные при защите запасов в ГКЗ.

ГИИС создана на основе клиент-серверной технологии и имеет модульную структуру. Серверная часть представляет собой реляционную СУБД и созданную в ней базу геологических данных (БГД), предназначенную для хранения и обеспечения доступа ко всему массиву геологической информации. Структура таблиц и индексов БГД учитывает логические связи между геологическими данными, что позволяет обеспечить их целостность и непротиворечивость. Шесть модулей ГИИС представляют собой клиентские программы, предназначенные для решения отдельных задач. Два вспомогательных модуля «Администратор» и «Перенос данных по скважинам» предназначены соответственно для управления базой геологических данных и согласованного переноса информации по скважинам между различными базами данных.

Модуль «Паспорт скважины» (рис. 1) предназначен для ввода, редактирования, анализа, интерпретации и визуализации данных по скважине. Модуль позволяет импортировать в базу данных результаты геофизических исследований скважин, полученные с помощью цифровых каротажных станций (LAS-файлы, формат станций «Кобра» и др.), либо оцифрованных графиков каротажных исследований аналоговой записи. Для каждой скважины может сохраняться произвольное количество каротажных кривых любого типа, в том числе и контрольных исследований (КС, ПС, ГК и др.). С помощью системы диалогов пользователь может вводить координаты устья скважины, документацию по бурению, результаты документации и опробования керна (параметры рейсов, литологическое описание и эпигенетические изменения пород, минерализацию, интервалы отбора проб), основные параметры скважины и конструкцию обсадной или технологической ко-

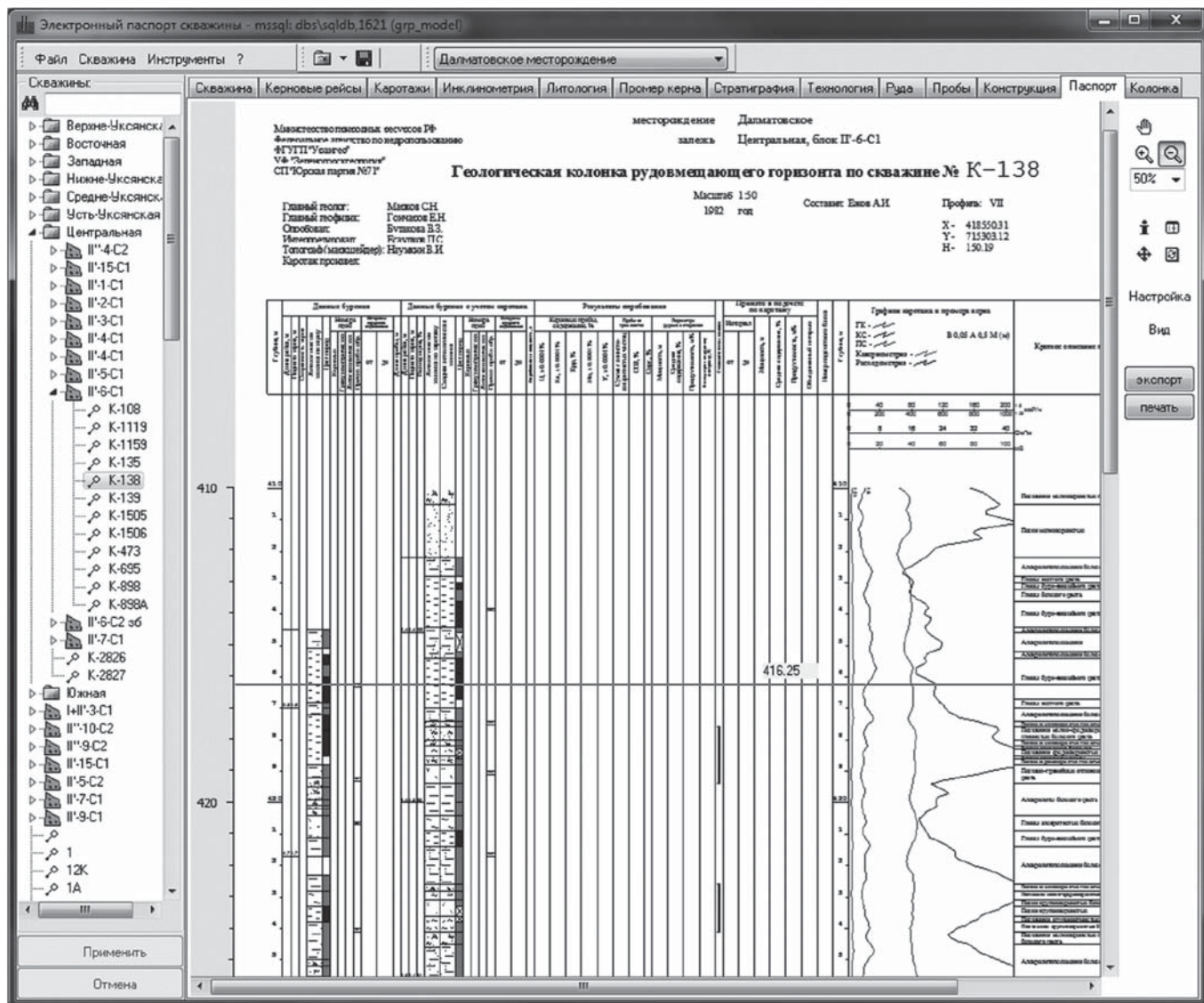


Рис. 1. Модуль «Паспорт скважины»

лонны. Набор интерактивных визуальных инструментов позволяет провести анализ и интерпретацию исходных данных по скважине: рассчитать координаты ствола скважины по данным инклинометрии, увязать описание керна и данные геофизических исследований, установить стратиграфию вскрытых отложений, определить технологические типы рудовмещающего разреза, выделить рудные интервалы в соответствии с принятыми для данного месторождения кондиционными лимитами. Полученные результаты представляются в виде автоматически генерируемой геологической колонки, с выбором необходимого масштаба отображения.

Использование модуля «Геотехнологический разрез» (рис. 2) позволяет увязать данные по скважинам путем построения геотехнологических разрезов вдоль заданных пользователем профилей. Исходные данные при этом формируются автоматически. На разрезах, с помощью интерактивных визуальных инструментов задаются границы проницаемых областей, балансовых и забалансовых рудных тел, фундамента, ритмопачек и зоны пластового окисления.

Модуль «Геологическое моделирование» (рис. 3) предназначен для создания цифровых моделей геологической среды на основе информации базы геологических данных. Цифровые модели представляют собой двумерные распределения продуктивности и эффективной мощности в пределах залежи, представляющие собой дискретные массивы значений заданных в узлах нерегулярной треугольной адаптивной сетки. Исходные данные формируются автоматически в соответствии с заданными пользователем критериями (границы области моделирования, ритмопачка, стадия разведки и т.д.). Модуль содержит набор инструментов, позволяющих определять статистические характеристики и пространственную структуру корреляции исходных данных, а также строить соответствующие статистические модели. Распределения продуктивности и эффективной мощности продуктивной пачки на адаптивной нерегулярной сетке может быть получено с помощью интерполяционных (обратных расстояний, минимальной кривизны, естественных соседей Симпсона и Лапласа) и геостатистическими (кригинг и логкригинг) методами.

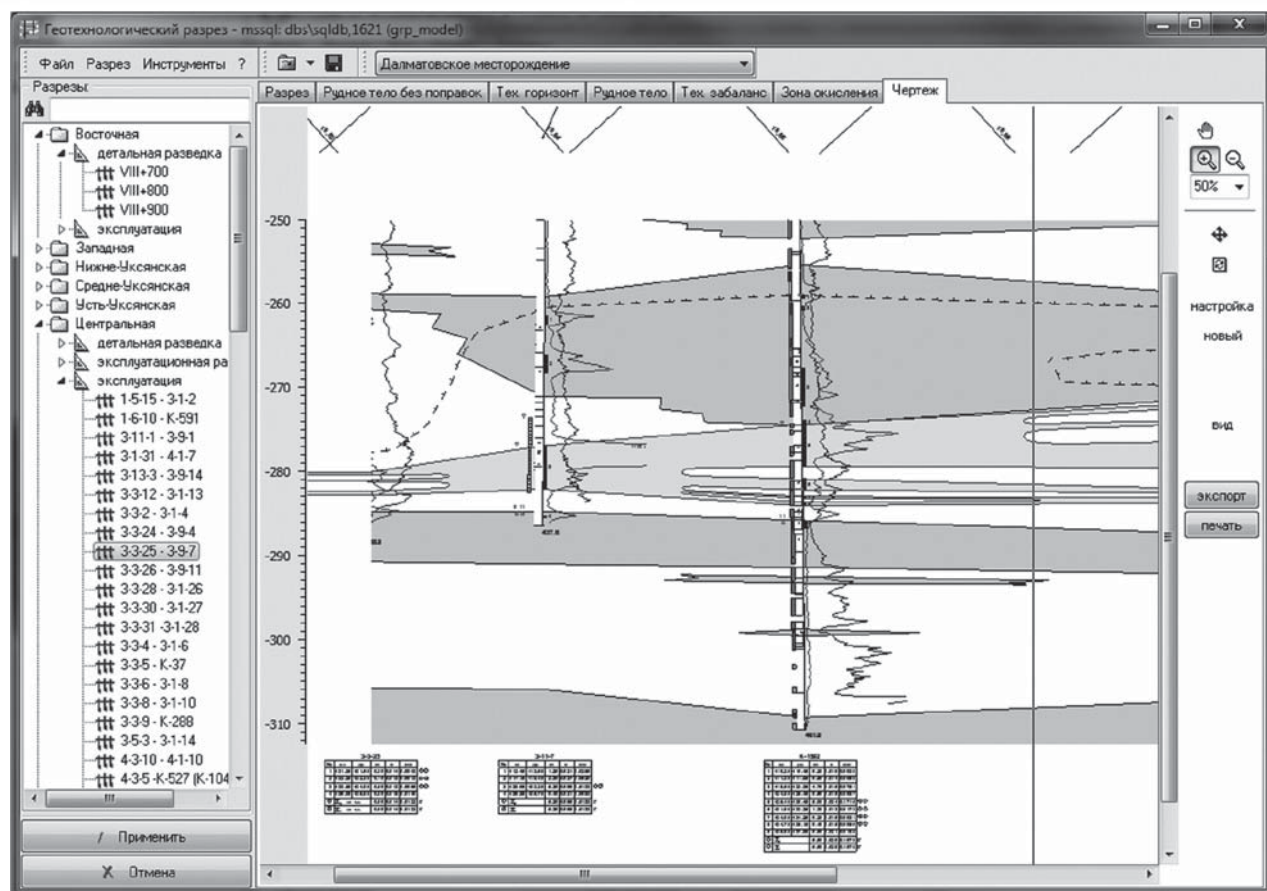


Рис. 2. Модуль «Геотехнологический разрез»

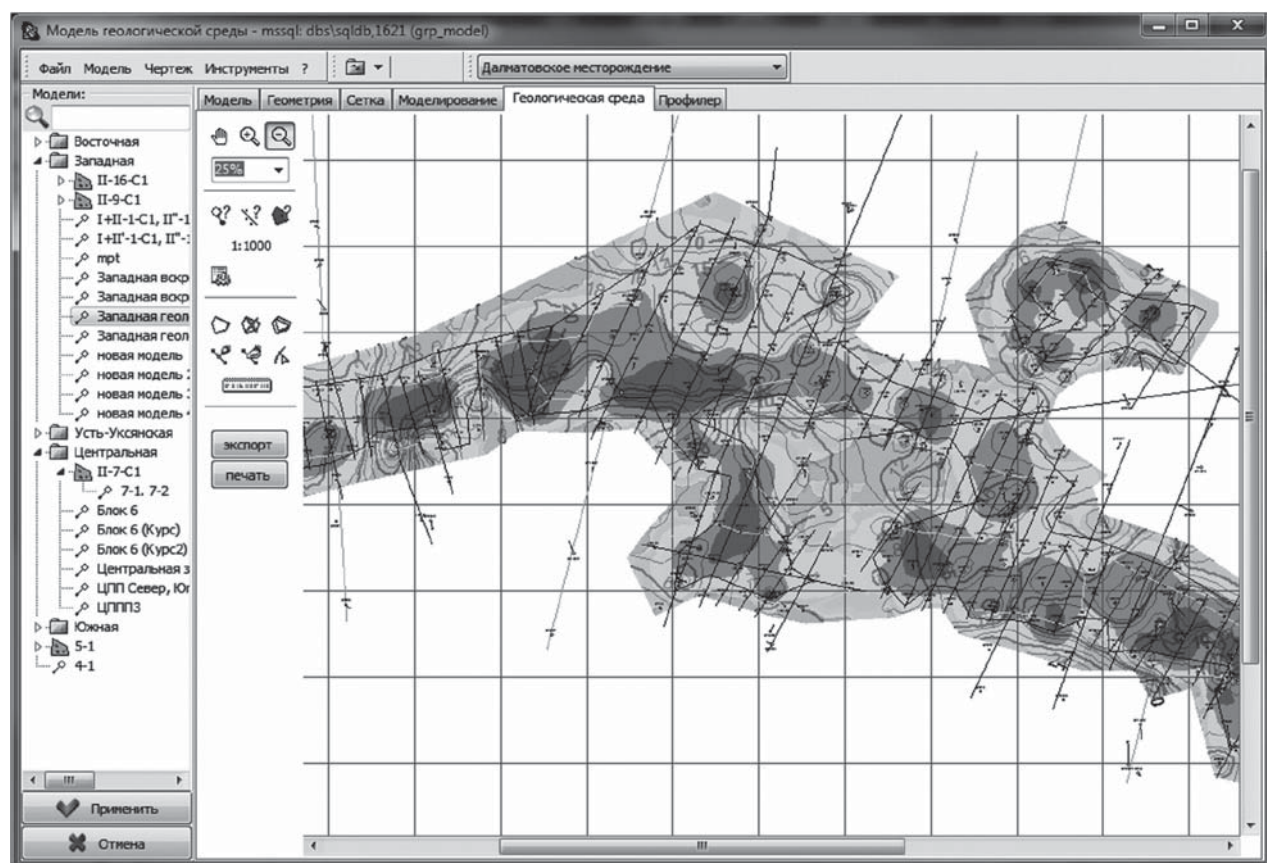


Рис. 3. Модуль «Геологическое моделирование»

Модуль «Подсчет запасов» (рис. 4) предназначен для расчета геотехнологических параметров различными методами. Модуль позволяет создавать геотехнологические полигоны, определять с помощью интерактивной карты их геометрию в соответствии с параметрами разведочной сети и кондиционных лимитов по месторождению. Для каждого полигона автоматически формируются данные и рассчитываются геотехнологические параметры (запасы руды, полезного компонента и горно-рудной массы и т.д.). Модуль позволяет рассчитывать параметры с помощью следующих методов: 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.

В результате использования ГГИС формируется база геологических данных, включая исходную информацию, результаты ее обработки и интерпретации, геолого-математические модели и результаты подсчетов запасов. На основе этих данных с помощью соответствующих модулей автоматически может формироваться отчетная документация (геологические колонки, геотехнологические разрезы, подсчетные планы и таблицы и т.д.) в заданном формате.

Описанная выше ГГИС была использована для геолого-математического моделирования залежей Далматовского месторождения урана Зауральского урановорудного района, обрабатываемого методом СПВ. Основой для построения цифровых моделей геологической среды являлись данные по разведочным и технологическим скважинам. Поэтому, на подготовительном этапе с применением созданной системы была сформирована цифровая база, содержащая первичные геологические материалы более трех тысяч скважин. По всем скважинам проведена интерпретация данных, в ходе которых построены сводные литологические колонки и, в соответствии с кондиционными лимитами выделены рудные и технологические интервалы (рис. 2). С помощью модуля «Геотехнологический разрез» проведена увязка данных между скважинами (рис. 3). Для этого созданы поперечные и продольные геотехнологические разрезы.

На основе анализа полученных данных были выделены ритмопачки с балансовым оруденением, разделенные водоупорами. Для ритмопачек (или их объединения) были выделены рудные пересечения, параметры которых (рудная и эффективная мощности, метропроцент оруденения в проницаемых и непроницаемых породах) были рассчитаны автоматически на основе данных по скважинам. Для всех скважин выделение рудных пересечений проводилось двумя спосо-

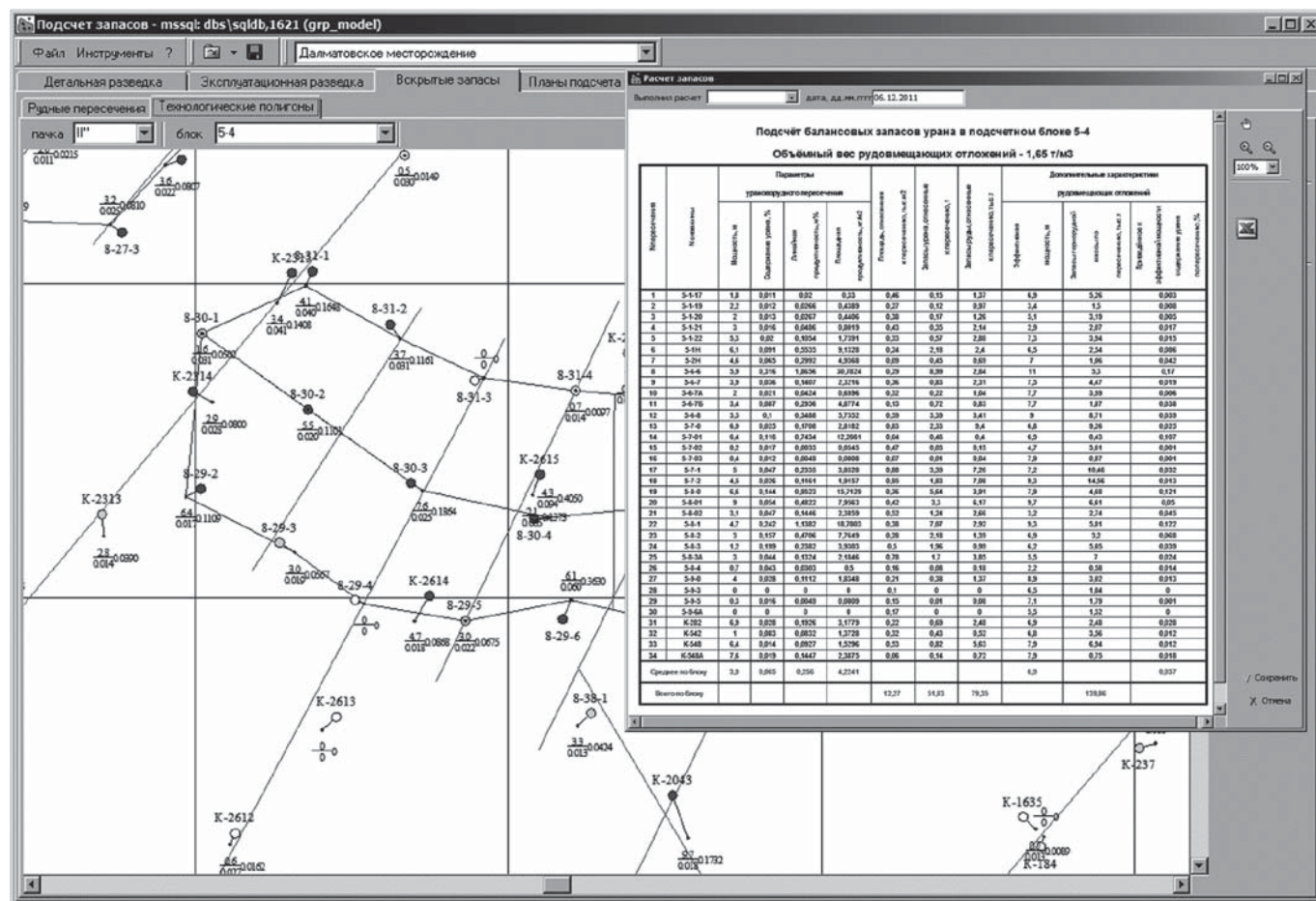


Рис. 4. Модуль «Подсчет запасов»

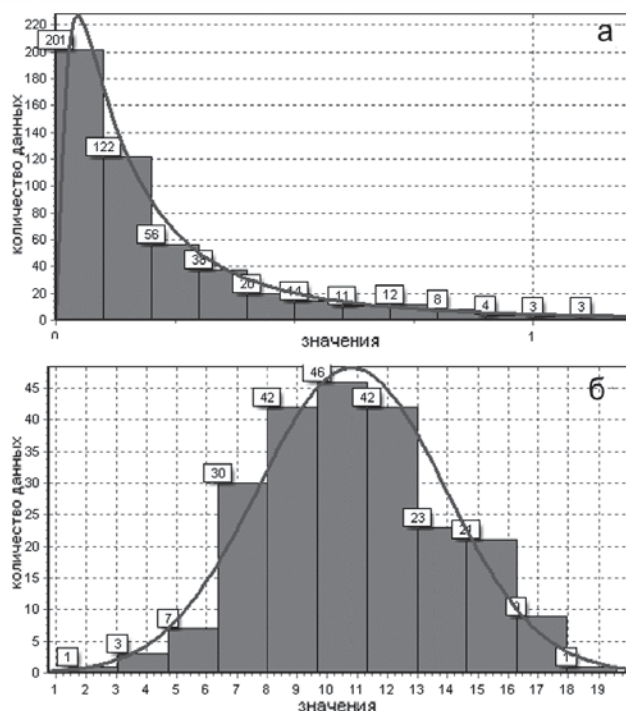


Рис. 5. Гистограммы метропроцента (а) и эффективной мощности (б)

бами. Для оценки геологических запасов границы рудных пересечений определялись положением рудных и технологических интервалов, а для вскрытых запасов — положением фильтра технологических скважин.

В результате выполнения подготовительного этапа были сформированы исходные данные для геолого-математического моделирования: положения и параметры рудных пересечений для всех скважин, ритмопачек. На основе этой информации, с помощью модуля «Геологическое моделирование», были созданы двухмерные цифровые модели ритмопачек залежей Далма-

товского месторождения урана. Создание каждой цифровой модели геологической среды начиналось с выбора способа выделения рудных пересечений. С помощью интерактивного плана, на который выносятся скважины и параметры соответствующих пересечений, определялись границы рассматриваемой области в плане и подобластей сгущения сетки. На основе заданных параметров и геометрии модели автоматически формировались исходные данные (параметры пересечений соответствующей ритмопачки и заданной стадии исследований попавших в рассматриваемую область).

Проведенный статистический анализ исходных данных с учетом декластеризации позволил выделить выбросы (ураганные значения) выборки и показал, что распределение значений метропроцента подчиняется логнормальному распределению, а эффективной мощности — нормальному (рис. 5). Для выборок, ограниченных в соответствии с результатами статистического анализа, было проведено исследование пространственной корреляционной структуры данных, построены изотропные и анизотропные эмпирические и модельные вариограммы. Анализ эмпирических вариограмм показал наличие геометрической анизотропии с главной осью, направленной вдоль простирания залежи. Для использования геостатистических методов были построены модели анизотропных вариограмм.

Для построения геолого-математических моделей использовались геостатистические и интерполяционные методы. Для всех методов были подобраны оптимальные параметры (анизотропия, настройки поиска исходных данных, вариограмма и т.д.).

Анализ полученных распределений и сравнение рассчитанных на их основе геотехнологических параметров со значениями, полученными другими способами, позволили сделать следующие выводы относительно адекватности и эффективности применения различных методов построения геолого-математических моделей пластово-инфильтрационных месторождений. Адек-

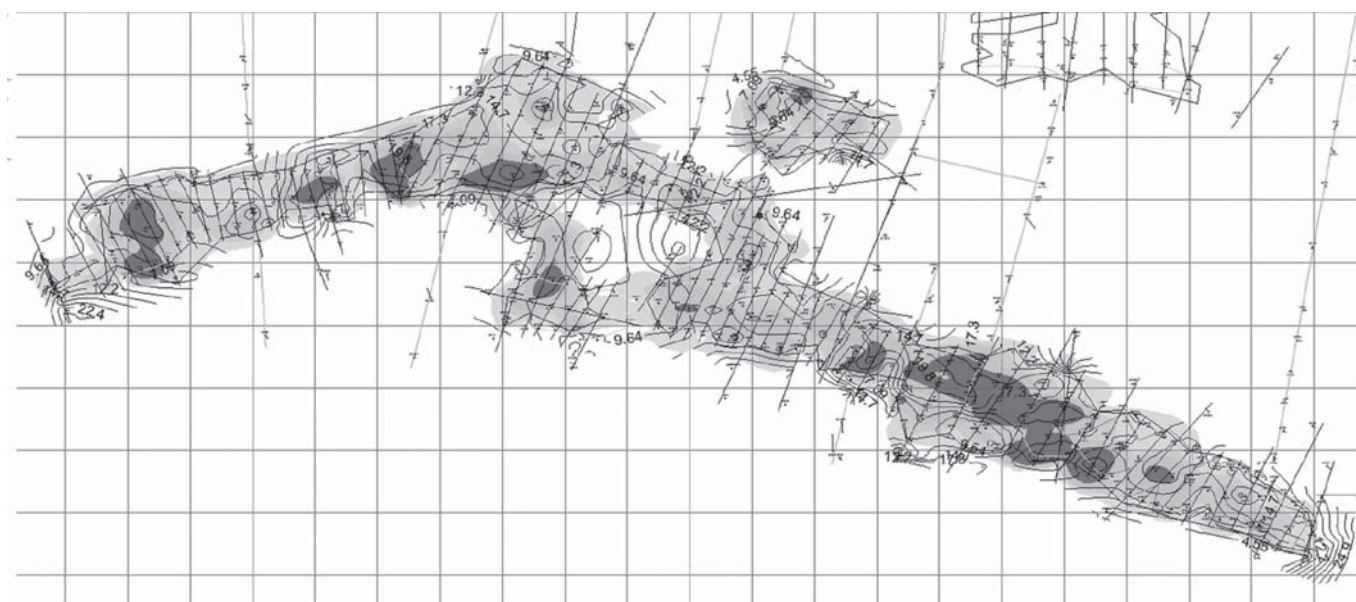


Рис. 6. Распределения продуктивности (цвет) и эффективной мощности (изолинии), полученные методом естественных соседей Симпсона

ватность моделей, построенных методом минимальной кривизны, в значительной мере зависит от регулярности расположения рудных пересечений в плане. Их нерегулярность при значительной пространственной изменчивости может приводить к неоправданному завышению либо занижению результатов. Метод обратно взвешенных расстояний позволяет получать адекватные оценки геотехнологических параметров, однако дает не удовлетворительные пространственные распределения (формируются «пятна» вокруг исходных данных).

Наилучшими, как с точки зрения подсчетов геотехнологических параметров, так и с точки зрения получающихся распределений, являются кригинг и метод естественных соседей Сибсона (рис. 6). Причем последний метод значительно менее трудоемок и не требует к квалификации пользователя, что позволяет при минимальных трудозатратах получить адекватное распределение во всей области моделирования. К недостаткам этого метода следует отнести принципиальную ограниченность количества исходных данных, используемых при оценке значения рассматриваемой величины и, как следствие, чувствительность метода к ошибкам исходных данных и выбросам. Геостатистические методы лишены этих недостатков, однако значительно сложнее в использовании, требуют больших трудозатрат и высокой квалификации пользователя.

Построенные геолого-математические модели залежей Далматовского месторождения урана были использованы для расчета геотехнологических параметров подсчетных и эксплуатационных блоков с помощью модуля «Подсчет запасов». Адекватность цифровых моделей подтверждается соответствием результатов расчетов геотехнологических параметров различными способами, а также фактическими данными отработки соответствующих эксплуатационных блоков.

В АО «Далур» построенные цифровые модели геологической среды применяются для решения производственных задач на всех стадиях отработки запасов Далматовского месторождения урана. На стадии горно-подготовительных работ геолого-математические модели используются для создания планов вскрытия залежей и проведения прогнозных расчетов геотехнологических показателей отработки эксплуатационных блоков. При разработке месторождения модели являются основой для проведения геотехнологических расчетов процесса СПВ, с целью выявления участков блоков, где процессы СПВ происходят недостаточно эффективно. На стадии вывода из эксплуатации на основе моделей готовятся планы по извлечению урана из оставшихся целиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голяков Е.Б., Несмачный Д.Е., Фуртова И.Б. Развитие специализированных информационных систем для обеспечения геологоразведочных работ // Разведка и охрана недр. — 2009. — № 8. — С. 49–52.
2. Истомин А.Д., Носков М.Д., Чеглоков А.А. Информационное обеспечение геологоразведочных работ на инфильтрационном месторождении урана // Изв. Томского политех. ун-та. — 2009. — Т. 314. — № 5. — С. 85–90.
3. Истомин А.Д., Ладейщиков А.В., Носков М.Д., Чеглоков А.А. Применение геологической геоинформационной системы при проведении геологоразведочных работ на инфильтрационном месторождении урана // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 8. — С. 6–11.

4. Истомин А.Д., Носков М.Д., Чеглоков А.А. Горно-геологическая информационная система для месторождения, разрабатываемого методом скважинного подземного выщелачивания // ГИАБ. — 2012. — № 7. — С. 178–183.
5. Datamine // CAE Mining. — 2015. URL: <http://www.dataminesoftware.com/software/> Дата обращения 01.06.15.
6. Mining Software & Geological Software // Micomine. — 2015. URL: <http://www.micromine.com/> Дата обращения 01.06.15.
7. RockWorks. // Earth science and gis software. — 2015. URL: <https://www.rockware.com/product/overview.php?id=165>. Дата обращения 01.06.15.

© Коллектив авторов, 2016

Истомин Андрей Дмитриевич // istomin_a.d@mail.ru
Ладейщиков Анатолий Васильевич // lav@grp71.ru
Лаптев Юрий Иванович // laptev@dalur.ru
Носков Михаил Дмитриевич // md_noskov@mail.ru
Чеглоков Алексей Александрович // cheglok@ssti.ru

УДК 553.042

Царук И.И., Самович Д.А., Будуннов А.А. (ФГУП «Уран-гео» БФ «Сосновгеология»)

УРАН МОНГОЛИИ

*Более 20 лет советские и российские геологи проводили на территории Монголии геологоразведочные работы на уран. За этот период здесь была создана надежная минерально-сырьевая база энергетического металла для развития горнорудной промышленности. Определены пути дальнейшего развития геологоразведочных работ на уран с реальными перспективами существенного расширения МСБ. **Ключевые слова:** уран, рудный район, месторождение, рудопроявление.*

Tsaruk I.I., Samovich D.A., Budunov A.A. (Urango CF «Sosnovgeologiya»)

URANIUM OF MONGOLIA

*More than 20 years of Soviet and Russian geologists conducted in Mongolia exploration for uranium. During this period it created a reliable raw-material base of energy for the development of the metal mining industry. The ways of further development of geological exploration for uranium with real prospects for significant expansion of the mineral resource base of uranium. **Key words:** uranium, ore region, deposit, ore occurrence.*

Планомерные геологоразведочные работы на уран в Монголии проводились в 1970–1990 гг. в соответствии с Межправительственным соглашением СССР и МНР за счет средств госбюджета Советского Союза силами Монгольской геолого-съемочной экспедиции Мингео СССР и ряда НИИ. За весь период выполнены значительные объемы геологоразведочных работ. Комплексной аэрогамма-спектрометрической съемкой масштаба 1:25 000–1:50 000 изучена площадь около 420 тыс. км² (27 % территории страны), масштаба 1:200 000 — 450 тыс. км² (28 %). Высокогорье Хангая, Монгольского Алтая и пустынные районы Южной Гоби (224 тыс. км² или 14 % общей площади) охвачены этой съемкой в масштабе 1:1 000 000. На площади 500 тыс. км² проведены прогнозно-металлогенические исследования масштаба 1:500 000, на площади 50 тыс. км² —