© С.С. Серый, В.А. Дунаев,
В.М. Никулин,
Ю.А. Волобуев, 2007

УДК 622.271

С.С. Серый, В.А. Дунаев, В.М. Никулин,
Ю.А. Волобуев

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДГОТОВКИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

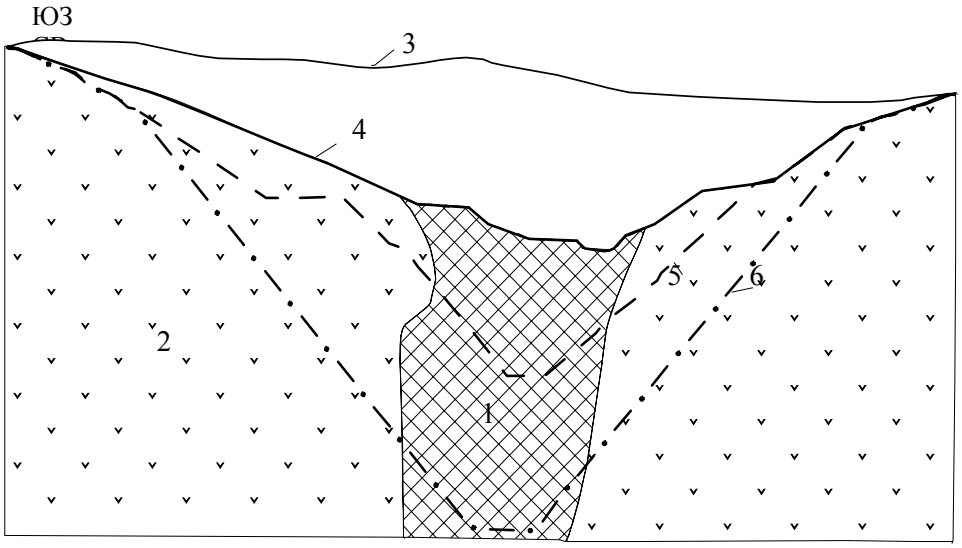
Семинар № 1

Геологической основой проектирования открытой разработки рудных месторождений являются обычно материалы их детальной разведки с подсчетом запасов. Поскольку, как правило, месторождение разведывается системой профилей, подсчет запасов выполняется методом вертикальных разрезов, редко- методом геологических блоков. При этом в составе графических приложений дается всего 1-3 геологических погоризонтных плана.

Для проектирования открытой разработки рудных месторождений в современных рыночных условиях этого явно недостаточно. Необходимо, в соответствии с системой отработки месторождения горизонтальными слоями (уступами) выполнить подсчет запасов руд и объемов вскрышных пород по уступам будущего карьера и для каждого уступа построить погоризонтные геологические планы. При этом, как правило, требуется несколько вариантов подсчета запасов руд и объемов вскрышных пород в различных проектных границах карьера.

Осуществить такой большой объем работ немыслимо без применения компьютерных технологий и цифрового моделирования горно-геоло-гических объектов. Отдел геологии и геоинформатики ФГУП ВИОГЕМ в 2003-2005 гг. на базе авторской геоинформационной системы «ГЕОМИКС» [1], выполнил для ОАО «Ковдорский ГОК» подготовку геологических материалов для проектирования реконструкции карьера рудника «Железный», отрабатывающего месторождение бадделеит-апатит-магнетитовых руд. Тем самым накоплен ценный опыт предпроектной подготовки геологических материалов, который, по нашему мнению, будет полезен как разработчикам геоинформационных технологий в горно-геологической области и проектировщикам, так и недропользователям.

Ковдорское бадделеит-апатит-магнетитовое месторождение относится к карбонатитовому типу. Оно представлено субвертикальной трубообразной рудной залежью, разведанной на глубину около 700м. Залежь сложена двумя промышленными типами руд: бадделеит-апатит-магнетитовыми (БАМР) и маложелезистыми апатитовыми (МЖАР). Оконтуривание руд первого типа осуществлялось по бортовому содержанию Fe общ. 15 %, а второго типа - по бортовому содержанию P_2O_5 3 %. БАМР делятся на природные разновидности: апатит-форстерит-магнетитовые (АФМ),



Схематический разрез через центральную часть Ковдорского месторождения: *1* – рудная залежь, *2* – вмещающие породы, *3* - линия рельефа, *4-6* - контуры карьера: *4* – текущий, *5* – проектный, *6* – перспективный

фор-стерит-магнетитовые (ФМ), апатит-кальцит-магнетитовые (АКМ), кальцит-форстерит-магнетитовые (КФМ), а МЖАР - на силикатно-апатит-форстеритовые (АФ) и карбонатные, представленные апатит-форстеритовыми (АФК) и апатитовыми (АК) карбонатитами. По действующему проекту разработки месторождения конечная отметка днища карьера - 350 м. В настоящее время карьер достиг отметки -110 м. По проекту реконструкции карьера намечается его углубление до отметки - 660 м (рисунок).

Согласно техническому заданию требовалось сформировать базу геологоразведочных данных по месторождению, включая данные эксплуатационной разведки и доразведки (всего 25 геологических разрезов, 960 скважин и 40 000 проб на Feобщ., P_2O_5, ZrO_2 и CO_2), создать цифровую модель месторождения, построить геологические планы горизонтов через 12 м (от поверхности до +70 м), 15 м (от +70 до -450 м) и 60 м (от -450 до -660 м) т.е. всего 52 плана; подсчитать запасы в горизонтальных слоях по категориям разведанности, типам и природным разновидностям руд в геологических границах месторождения и в контуре проектного (до -350 м) и перспективного (до -660 м) карьера. Кроме того, в контуре того и другого карьера необходимо было подсчитать объемы вскрышных пород.

Задача осложнялась тем, что нужно было учесть данные эксплуатационной разведки и доразведки глубоких горизонтов месторождения, полученные после утверждения в ГКЗ его запасов, т.е. по существу заново построить все геологические разрезы месторождения. Это равносильно подготовке исходных материалов для подсчета запасов по только что разведанному месторождению или для пересчета утвержденных ГКЗ запасов по новым кондициям.

Работа выполнялась по следующей методической схеме:

- выделение по скважинам кондиционных рудных интервалов, дифференцированных по типам и разновидностям руд;
- создание базы данных скважин (с учетом инклинометрии и результатов опробования керна) и геологических разрезов;
- построение геологических погоризонтных планов;
- создание виртуальных поверхностей текущего, проектного (до -350 м) и перспективного (до -660 м) карьеров и вынос на погоризонтные планы их границ;
- создание для каждого эксплуатационного слоя, по которому необходимо подсчитать запасы, планов плотности разведочной сети для выделения участков различной категории разведанности;
- создание планов подсчета запасов с контурами подсчетных площадок и указанием категории разведанности (на основе планов плотности разведочной сети);
- создание модели блокировки запасов с присвоением индексов (номеров) подсчетным площадкам и блокам на каждом плане подсчета запасов;
- расчет на основе модели блокировки запасов площадей подсчетных блоков и средневзвешенных содержаний компонентов в них;
- присвоение значений средневзвешенных содержаний компонентов блокам, не имеющим разведочных пересечений;
- расчет доли объемов и запасов природных разновидностей в каждом подсчетном блоке;
- расчет объемов вскрышных пород в контуре проектного и перспективного карьеров;
- создание таблиц подсчета запасов для каждого эксплуатационного слоя и сводной таблиц по месторождению в целом;
- формирование отсчетных графических материалов и таблиц подсчета запасов на бумажных и магнитных носителях.

Остановимся более детально на ключевых эпизодах приведенной методической схемы: построение геологических разрезов и планов подсчета запасов, подсчет запасов.

Геологические разрезы строились на основе БД геологоразведочных скважин по профилям детальной разведки. Пробы по скважинам визуали-зировались на экране монитора в плоскости разреза с указанием (в соответствии с разработанной легендой) типов и природных разновидностей руд. Разрезы формировались из 4 тематических слоев: геологического (гео-логические границы, в том числе между типами и разновидностями руд), подсчетного (контуры подсчетных бло-ков с указанием категории разведанности), технического (контуры проектного и перспективного карьеров) и информационного (стволы скважин и интервалы опробования, номера проб и т.п.). Геологические границы трассировались границами проб разных типов руд и пород, а между скважинами интерполировались с применением сглаживающего сплайна. Контуры карьера (текущего, проектного и перспективного) строились для каждого разреза как след пересечения виртуальной поверхности карьера с плоскостью разреза.

Погоризонтные планы подсчета запасов строились по подошве каждого эксплуатационного слоя на основе созданной базы данных геологических разрезов с использованием алгоритма поворота графических элементов из вертикальной плоскости в горизонтальную.

Для этого задавалась отметка горизонта и ширина полосы на разрезах, которая путем поворота приводилась в плоскость плана. Дальнейшее построение плана осуществлялось интерактивно путем интерполяции границ, контактов и контуров между линиями разрезов

Планы подсчета запасов формировались из тех же тематических слоев и составляющих их элементов, что и разрезы, с некоторыми дополнениями. В частности в информационном слое добавлялось отображение подсечений скважин в плоскости плана. Кроме того, категория разведанности подсчетных блоков на планах определялась путем построения промежуточных планов плотности разведочной сети. Для этого был разработан и программно реализован специальный алгоритм, в основу которого положен коэффициент плотности разведочной сети (К), рассчитываемый по формуле:

$$K = \frac{C}{S} a,$$

где С – количество скважин, попавших в элементарную квадратную ячейку; S-площадь элементарной ячейки (соответствует площади ячейки при плотности сети для категории C_1), $м^2$; а – повышающий коэффициент, равный 10 000 (для удобства автоматической обработки данных).

Критериальные значения «К» устанавливаются в соответствии с принятой при детальной разведке месторождения плотностью сети для каждой категории запасов. В частности, для Ковдорского бадделеит-апатит-магне-титового месторождения они составляют $B \geq 2$, $2 < C_1 > 0{,}5$, $C_1 \leq 0{,}5$. По указанному выше алгоритму автоматически рассчитывался «К» в каждой ячейке разведочной квадратной сети и в соответствии с его критериальным значениями рудное тело на плане геометризовался по категориям разведанности запасов.

Подсчет запасов по эксплуатационным слоям осуществлялся методом горизонтальных сечений на основе планов подсчета запасов. Подсчетные блоки в каждом слое формировались в интерактивном режиме по двум смежным планам с выбором подсчетных площадок сверху и снизу. Блоки, опиравшиеся на одну подсчетную площадку, выклинивались на пирамиду. На планы в автоматическом режиме из базы геологоразведочных данных выносились скважины и результаты опробования с привязкой к конкретным блокам. Всего для подсчета запасов сформировано 3778 блоков.

Для выполнения подсчета запасов в подсчетном тематическом слое автоматически заполнялись следующие информационные поля: имя эксплуатационного горизонта (подошвы уступа) и его абсолютная отметка, высота уступа, список подсчетных блоков, имя блока, категория его разведанности, высота и объем блока, средневзвешенные содержания в нем компонентов, список подсчетных площадок, принадлежащих блоку и т.д., всего 28 полей.

Основными параметрами для определения запасов в подсчетном блоке являлись его объем, объемный вес руды и среднее содержание компонентов, регламентирующих ее качество. Объем блоков определялся по известным формулам для метода горизонтальных сечений [2]. Среднее содержание компонентов в блоках вычислялось путем взвешивания на длину проб. При отсутствии в блоке проб, ему присваивалось значение средневзвешенного содержания с выше- или нижележащих блоков, принадлежащих тому же рудному телу.

Объемный вес руды в каждом блоке определялся по выведенному для Ковдорского месторождения уравнению

регрессии, связывающему этот параметр со средним содержанием Fe общ. Запасы считались по подсчетным блокам, эксплуатационным слоями и по месторождению в целом, в том числе раздельно по промышленным типам и природным разновидностям руд, категориям их разведанности. Объемы вскрышных пород в контурах проектного и перспективного карьеров подсчитывали для каждого эксплуатационного слоя без блокировки по их фактическим площадям на смежных погоризонтных планах, раздельно по типам горных пород.

Весь комплекс работ по предпроектной подготовке геологических материалов для реконструкции карьера рудника «Железный» был выполнен за 1,5 года группой высококвалифицированных специалистов (двух геологов, трех программистов и двух операторов), имеющих многолетний опыт совместной работы в области геоинформационных технологий для горнопромышленной геологии. Львиная доля времени ушла на формирование баз данных, моделирование и создание компьютерной графики. На подготовку реестра скважин и проб, участвующих в подсчете запасов, и набор подсчетных блоков с их нумерацией и присвоением им категории разведанности потребовалось 3 рабочих недели. Затраты времени на непосредственно послойный подсчет запасов и генерацию отчетных таблиц составили 5 часов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дунаев В.А., Серый С.С.* Разработки ФГУП ВИОГЕМ в области геоинформатики для горнопромышленной геологии и маркшейдерии. – «Черная металлургия. Бюллетень научно-технической информации», 2005, №5.

2. *Прокофьев А.П.* Основы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: Недра, 1973.

Коротко об авторах

Серый С.С. – кандидат технических наук,
Дунаев В.А. – доктор геолого-минералогических наук, профессор,
Никулин В.М., Волобуев Ю.А. –
ФГУП ВИОГЕМ.

© С.М. Рахимбеков, Е. Ким,

УДК 681.3.06

С.М. Рахимбеков, Е. Ким

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ

Семинар № 1

Результаты проведенных исследований с помощью самых различных моделей отвечают интуитивному представлению об определяющей роли генетических условий формирования месторождения, выраженных в реально существующих закономерностях в наблюдаемой изменчивости геологических параметров. В большинстве своем они имеют волнообразные, периодические или почти периодические изменения. Такой характер их изменений позволяет осуществить моделирование изменчивости геологических параметров с помощью метода гармонического анализа. Применяемая модель должна отразить закономерности их «поведения» таким образом, чтобы возможные отклонения от нее носили только случайный характер. В этом случае полученная кривая будет наиболее точно отражать закономерную составляющую изменчивости. В основу оценки возможных погрешностей моделирования положена величина дисперсии отклонений первичных данных относительно тренда, а в основу метода выявления значимой скрытой периодичности - контроль дисперсии этих отклонений. Отметим, что реализация такого подхода была бы затруднительна без привлечения современных средств компьютерной техники и сервисного программного обеспечения. Это позволяет моделирующий процесс вести в автоматизированном режиме, который можно представить в виде нижеприведенной алгоритмической схемы.

Идентификация тренда позволяет выделить удобные для последующего использования при подсчете характеристик запасов участки. Современные операционные системы и оболочки ПК, программно-ориентированные средства позволяют в автоматизированном режиме для каждого из выделенных участков идентифицировать аналитические выражения, провести расчеты по остаточным функциям, построить автокорреляционые функции остаточной функции изменчивости мощности и ее структурных функций.

Для выделенных участков изменения мощности одной из жил по ее простиранию $0 \le l \le 100$, $100 \le l \le 170$, $170 \le l \le 230$, $230 \le l \le 350$, $350 \le l \le 380$, получены, соответственно следующие аналитические выражения:

$$5,2 + 2,4\cos 2,52l - 4,0\sin 2,52l;$$

$$9,56 + 0,4\cos 571,14l + 4,27\sin 571,14l;$$

$$5,14 + 1,5\cos 879,14l + 2,53\sin 879,14l;$$

$$8.9 - 3.47\cos(591 + 2,57l) + +1.8\sin(591 + 2.57l);$$

$$0,15l - 50,4.$$

Первые четыре аналитических выражения получены разложением в ряд Фурье, пятое – методом средней линии. Идентификация четвертого ана-

литического выражения может быть также получена методом наименьших квадратов и автоматизирована. Длина периода тренда однозначно определяет условно однородные участки идентификации, пригодные для размещения выемочных единиц. Этапы решения задачи представлены в виде алгоритмической схемы на рис. 1.

Графическое представление кривой изменения общей дисперсии в зависимости от числа учитываемых гармоник дает возможность непосредственно по виду этой кривой отобрать значимые гармоники. Автоматизированный режим выбора значимых гармоник обеспечен разработанным алгоритмом с соответствующим программным обеспечением на базе современных программных продуктов, показанном на рис. 2. В разработанной программе предусмотрена процедура выбора оптимального числа гармоник путем контроля численных значений дисперсии отклонения первичных данных от расчетных значе-ний моделируемого параметра.

Тренд пространственной изменчивости основных параметров оруденения и определяет расчетные границы участков, в пределах которой необходимо вести последующую оптимизацию.

Вместе с тем в автоматизированном режиме были проведены численные эксперименты по выявлению картины влияния параметров геологической среды и конструктивных параметров блока (длины блока, места расположения восстающих, числа блоков на участке и др.) на показатели извлечения запасов из недр. Установлено, что учет изменчивости мощности жилы, описываемой гармонической функцией при нормировании потерь и разубоживания руды обеспечивает более достоверную оценку полноты извлечения. Рекомендуемые в горнорудной практике показатели полноты и качества извлекаемого полезного ископаемого из недр при таком подходе аналитического учета изменчивости оруденения получают свое более точное выражение.

В ходе ведения горных работ, часто не подтверждается необходимое качество руды, в то время как подготовка и нарезка блоков уже произведена, отсюда складываются бросовые эксплуатационные затраты.

Все это обусловило постановку и решение задач оптимизации ведения горных работ на промышленных участках жил, согласно поэтапной реализации разработанной итеративной схемы адаптации среды и агрегата.

В качестве ПРОГРАММНОЙ реализации решения данной задачи можно использовать любую объектно-ориентированную среду разработки (Borland Delphi, Borland C++ Builder, Visual Basic, Visual C++ и др.). В качестве среды разработки приложения будет использован Borland Delphi 6.0. У него также есть компоненты и средства для работы с базами данных, что очень важно для решения данной задачи. В качестве СУБД будет использован MySQL server версии 4.0. Преимущества данного сервера баз данных в том, что он более прост в применении, в нем есть все необходимые средства для реализации ввода, хранения и обработки информации, СУБД распространяется бесплатно, к тому же существуют специально разработанные компоненты прямого доступа к MySQL-server для Borland Delphi 6.0.

Посредством SQL (языка структурированных запросов) создается база данных в СУБД MySQL. База данных будет содержать 2 таблицы, одна из которых характеризует жилы, а другая их индивидуальные характеристики

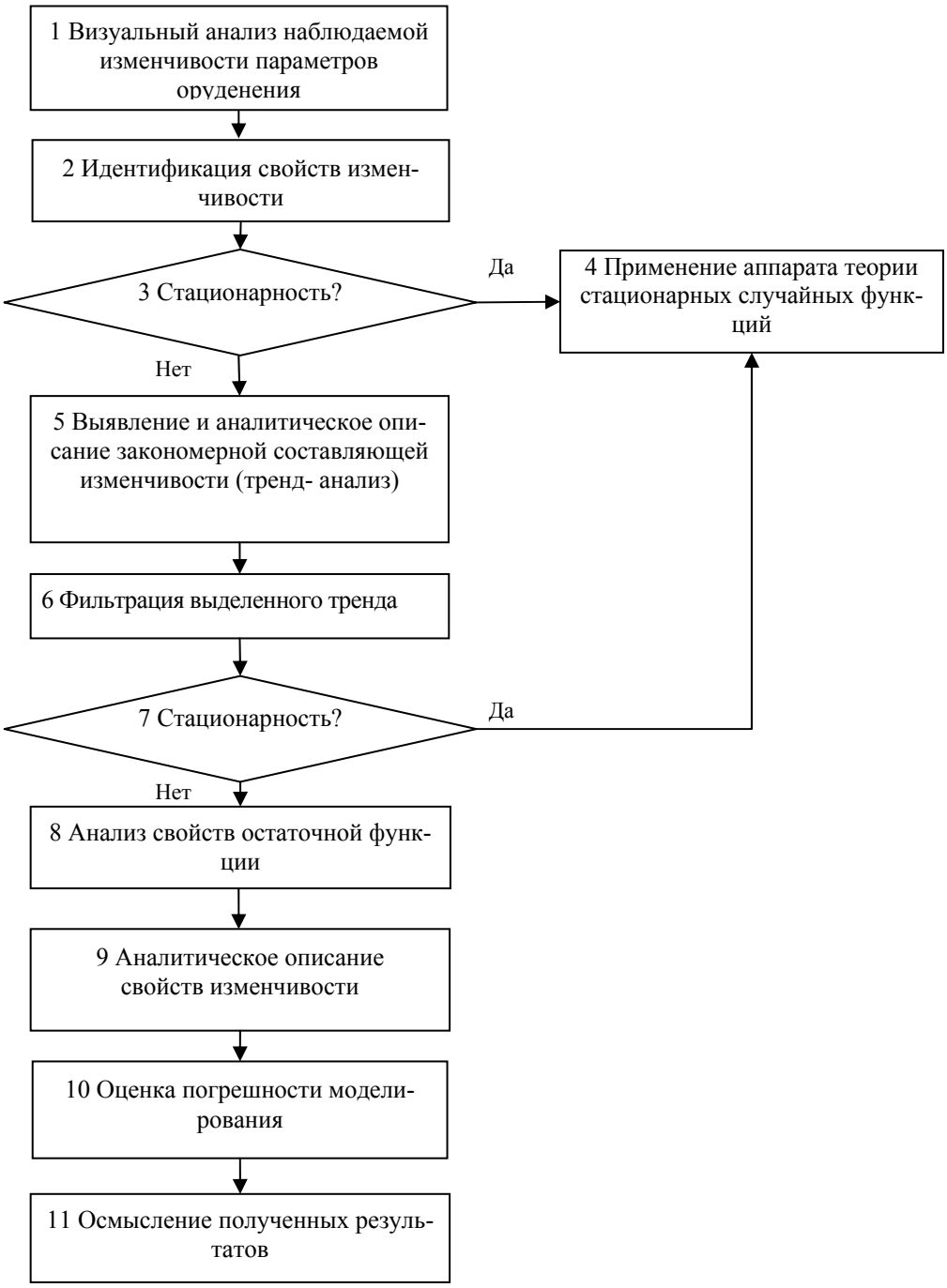


Рис. 1. Схема анализа природной изменчивости параметров оруденения

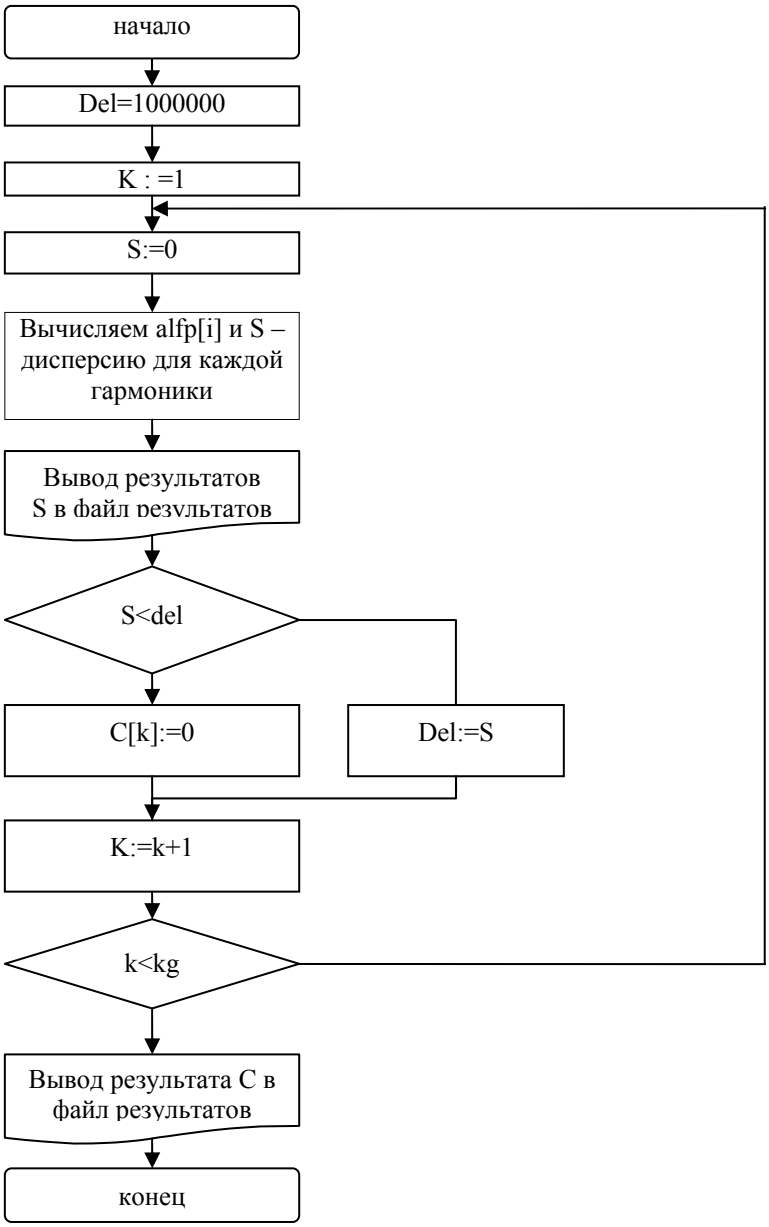
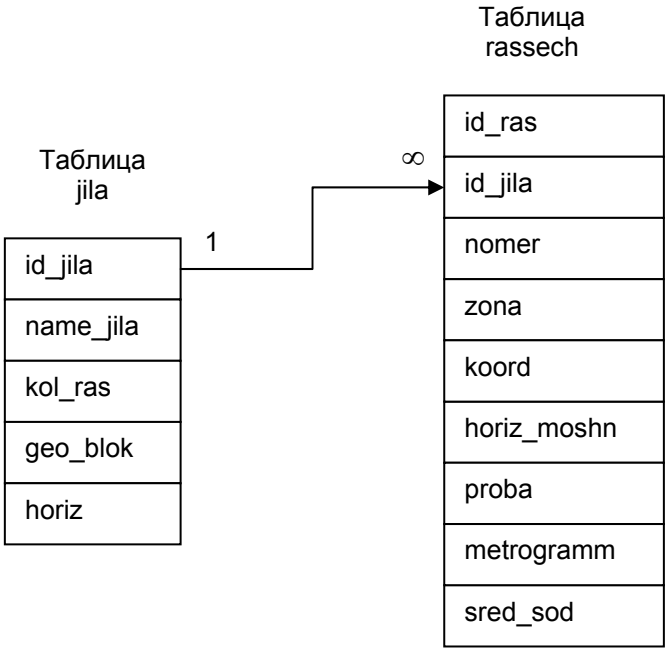


Рис. 2. Алгоритм выбора значимых гармоник путем контроля численных значений дисперсии отклонения

Структура таблиц представлена ниже.

С помощью команд INSERT, DELETE, SELECT языка SQL вводится геологическая информация, а также осуществляется поиск, редактирование и удаление записей.

По выведенной информации о горизонтальной мощности и среднем



Имя поля	Тип поля	Описание
1. Таблица jila		
id_jila	целый, счетчик	уникальный код жилы по которому осуществляется взаимодействие между таблицами. В нашем случае была представлена связь «один-ко-многим»
name_jila	строковый	название жилы
kol_ras	целый	количество рассечек в данной жиле
horiz	целый	горизонт, т.е. длина простирания жилы
geo_blok	строковый	геологический блок, к которому относится жила
2. Таблица rassech		
id_ras	целый, счетчик	уникальный код рассечки
nomer	целый	порядковый номер рассечки
zona	вещественный	зона влияния
koord	вещественный	координата пересечения рассечки
horiz_moshn	вещественный	горизонтальная мощность рассечки
proba	целый	количество проб, взятых в рассечке
metrogramm	вещественный	метрограмм, содержание граммов металлы в метре рассечки
sred_sod	вещественный	среднее содержание металлы в пробе
id_jila	целый	уникальный код жилы по которому осуществляется взаимодействие между таблицами. В нашем случае была представлена связь «один-ко-многим»

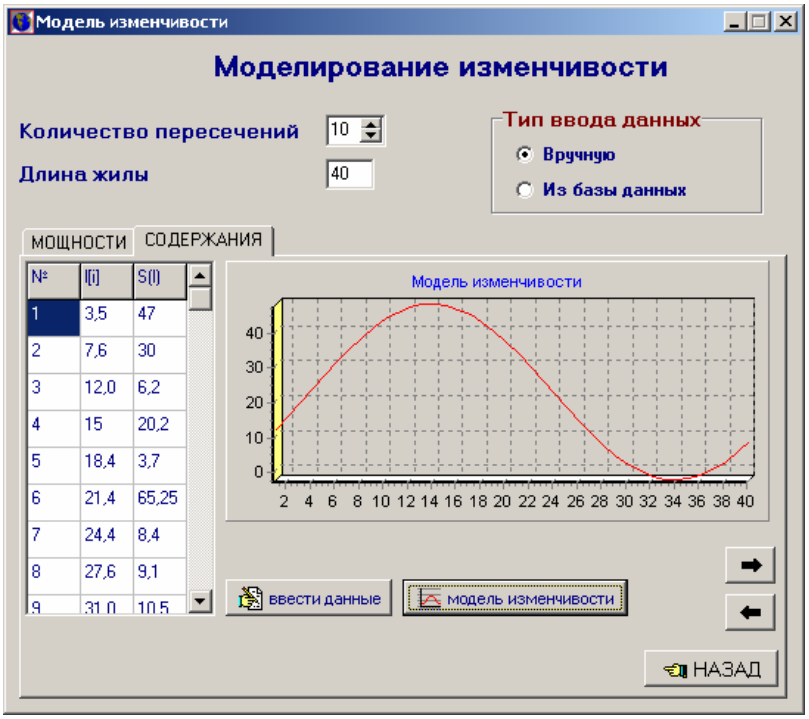


Рис. 3. Представление модели изменчивости по среднему содержанию

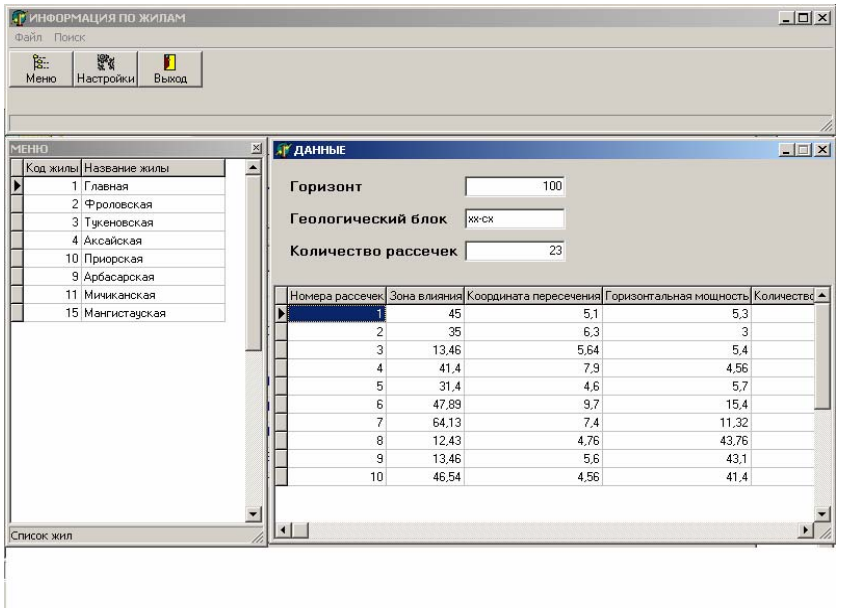


Рис. 4. Представление данных

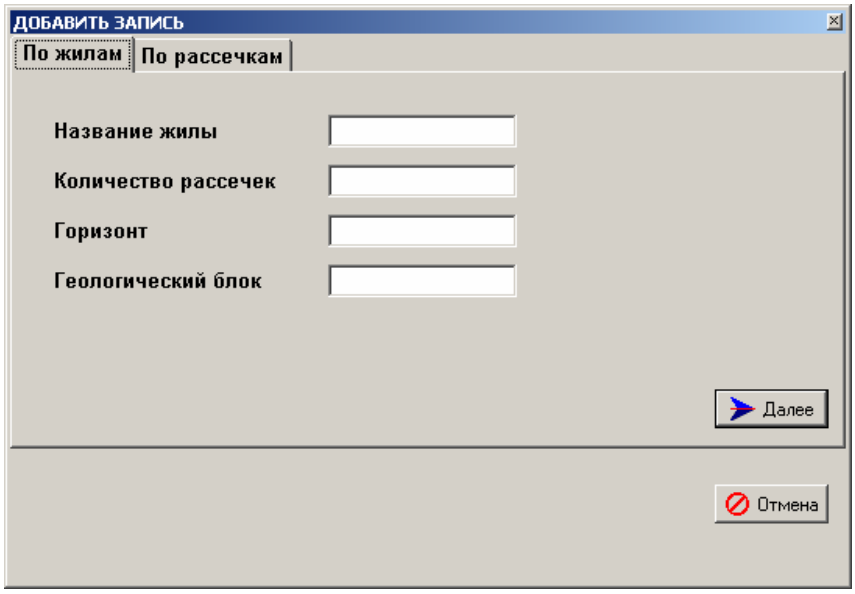


Рис. 5. Добавление данных

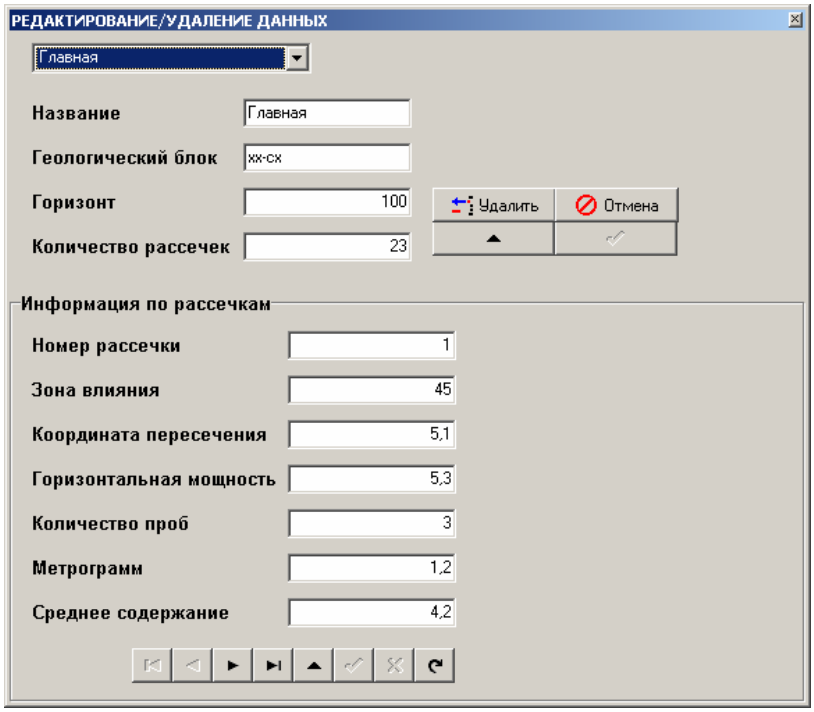


Рис. 6. Удаление/Редактирование данных

содержании рудоносной жилы в дальнейшем создается модель изменчивости соответствующих параметров и разрабатывается решение задачи параметрической оптимизации.

СУБД и данное приложение будут напрямую взаимодействовать. Модель изменчивости можно будет построить исходя из ввода данных вручную или путем выбора данных из нашей СУБД (рис. 3).

Возможна визуализация данных по жилам и по рассечкам (рис. 4).

Как и в любом приложении баз данных существует возможность редактирования, добавления или удаления данных (рис. 5, 6).

Выбранная тема в данной работе связана с решением ряда вопросов моделирования рудного тела и потому ее актуальность в рамках поставленных задач и такого аспекта исследования только возрастает. Следует отметить и то обстоятельство, что выполненная работа приспособлена для проектирования и использования в системе автоматизированного проектирования рудника, так как решение задач в ней позволяет учесть информационное многообразие и нестабильность основных параметров оруденения в пространстве. Вместе с тем в ней поставлена и решена задача, которая органично связана с проблемой оптимизации технических решений по отработке месторождений и, в частности, выбором наилучшего варианта размещения добычных блоков на отрабатываемом этаже с установлением наивыгоднейшей их длины.

Коротко об авторах

Рахимбеков С.М. – КазНТУ им. К.И. Сатпаева,
Ким Е. – студент, КазНТУ им. К.И. Сатпаева.

Д И С С Е Р Т А Ц И И

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ДИМИТРОВ Ирина Леонидовна	Разработка системы формирования инвестиционного процесса на предприятиях ТЭК в условиях рыночной экономики (на примере угольной промышленности)	08.00.05	к.э.н.