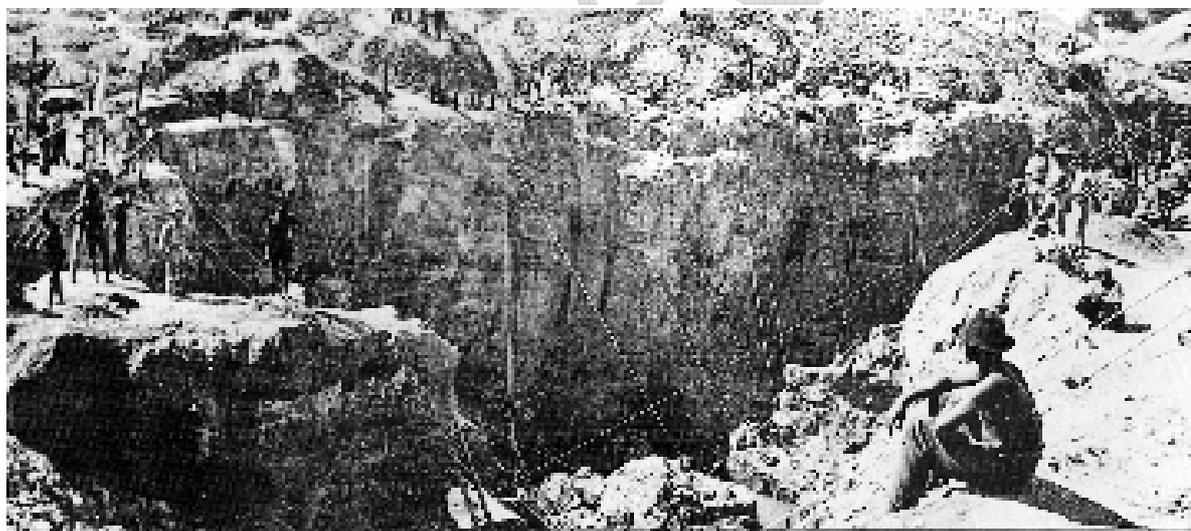


Капутин Ю.Е.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И
ОЦЕНКА МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
с использованием СТУДИИ 3**

Учебный Курс



С-Петербург - 2007

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ОЦЕНКА МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Оглавление

1.	Подготовка исходной информации, ее проверка и корректировка	3
2.	Удаление «Ураганов» из данных опробования	15
3.	Геологическая интерпретация рудных тел	17
3.1.	Интерпретация геологических областей	18
3.2.	Обоснование геологического бортового содержания для оконтуривания рудных тел	23
4.	Каркасное моделирование	24
4.1.	Соединение контуров сложной формы	25
4.2.	Создание выклиниваний рудных тел	25
4.3.	«Капризы» программы триангулирования	26
4.4.	Проверка каркасов и исправление ошибок	27
4.5.	Каркасные модели поверхностей	28
4.6.	Манипуляции с каркасами	29
5.	Выбор проб для интерполяции по блочной модели	31
6.	Статистика	33
7.	Декластеризация данных опробования	37
8.	Построение экспериментальных вариограмм (краткая теория и практика)	39
8.1.	Анализ, контроль и группировка исходной информации	41
8.2.	Вариограмма	43
8.3.	Рекомендации по расчету экспериментальных вариограмм	47
8.4.	Исследование экспериментальных вариограмм	49
9.	Оценка анизотропии массива месторождения	52
10.	Подбор моделей вариограмм. Виды моделей	53
10.1.	Введение	53
10.2.	Основные типы моделей вариограмм	54
10.3.	Подбор моделей к экспериментальным вариограммам	56
10.4.	Пространственная модель вариограммы	58
11.	Проверка корректности моделей вариограмм	60
11.1.	Результаты работы процесса XVALID	61
11.2.	Важная статистика	63
11.3.	Объем поиска проб	63
11.4.	Практические рекомендации	64
12.	Кригинг	65
12.1.	Уравнение кригинга	66
12.2.	Основные свойства кригинга	73
12.3.	Практические рекомендации по использованию кригинга	73
12.4.	Сведения о других видах кригинга	77
13.	Оценка извлекаемых запасов руды	80
13.1.	Понятие об извлекаемых запасах	80
13.2.	Влияние геометрической базы геологической информации на извлекаемые запасы; эффект основания.	82
13.3.	Информационный эффект оценки извлекаемых запасов.	85
13.4.	Условное моделирование	87
13.5.	Возможности Датамайн по оценке извлекаемых запасов	88
13.6.	Технология Условного Моделирования Datamine	93
14.	Процесс ESTIMA	94
14.1.	Краткий обзор ESTIMA	96

14.2.	Объем поиска	98
14.3.	Дискретизация ячеек модели.....	105
14.4.	Методы оценки	107
14.5.	Метод ближайшей пробы (NEAREST NEIGHBOUR)	111
14.6.	Метод обратных расстояний (IPD).	112
14.7.	Кригинг (KRIGING)	113
14.8.	Оценка t СИЧЕЛА	118
14.9.	Файл параметров оценки	118
14.10.	Дополнительные особенности.....	120
14.11.	Файл параметров модели вариограммы	122
14.12.	Оптимизация времени вычислений	128
14.13.	Вращение модели и разворот складок (UNFOLDING).....	130
14.14.	Результаты	133
14.15.	Примеры	136
14.16.	Обзор параметров	138
14.17.	Файлы и поля	139
14.18.	Ограничения системы	141
15.	Создание блочных моделей и манипуляции с ними	141
15.1.	Введение	141
15.2.	Методы моделирования	146
15.3.	Моделирование структур.....	151
15.4.	Объединения моделей.....	154
15.5.	Проверка блочных моделей.....	156
16.	Разворот блочных моделей и понятие о распрямлении складок	158
16.1.	Поворот блочных моделей	158
16.2.	Понятие о развороте складок	162
17.	Оценка ресурсов по блочной модели	165
17.1.	Процесс MODRES	165
17.2.	Процесс TRIVAL	167
17.3.	Процесс TONGRAD	167
17.4.	Процесс TABRES	168
17.5.	Интерактивная оценка запасов в Окне проектирования Датамайн – Студио 169	
18.	Классификация ресурсов и запасов	174
18.1.	Общие принципы.....	174
18.2.	Геостатистические методы	177
18.3.	Развитие мировых стандартов сообщений о ресурсах/запасах.....	183

1. Подготовка исходной информации, ее проверка и корректировка

Для создания полной модели месторождения и оценки его ресурсов/запасов обычно необходим следующий набор информации, введенной в компьютер:

ЧИСЛОВЫЕ И ТЕКСТОВЫЕ ДАННЫЕ:

По скважинам:

- Координаты устьев выработок
- Данные инклинометрии
- Данные опробования
- Другие характеристики скважин (каротаж, выход керна, гидрогеология, литология, стратиграфия, номера рудных тел и т.д.)

По поверхностным (канавам, траншеям и т.п.) и подземным выработкам:

- Каталог маркшейдерских точек по трассам выработок
- Данные опробования
- Другие характеристики выработок (литология, стратиграфия, тектоника и т.д.)

ГРАФИКА:

- Топография поверхности месторождения
- Геологические планы и разрезы с нанесением контуров рудных тел, зон, подсчетных блоков (если необходимо), литологических и стратиграфических границ, тектонических нарушений и т.п.
- Планы подземных горизонтов с нанесением контуров стенок выработок
- План опробования поверхности с трассами траншей (канал).

Вся эта информация вводится из максимально достоверных источников, обычно из первичных материалов непосредственно на месте, где всегда легче получить недостающие данные или требуемое разъяснение по непонятным вопросам. Желательно, чтобы в этой работе участвовали геологи, хорошо знающие месторождение. Это значительно сокращает время работы, облегчает поиск требуемых данных и их сортировку.

Ввод числовой/текстовой информации

Ввод числовой/текстовой информации обычно производится с помощью программ Microsoft Access или Excel в виде таблиц, формат которых соответствует формату файлов Датамайн. Необходимая информация выбирается из первичных геологических материалов, достоверность которых не вызывает сомнения. Существуют 2 подхода:

- Информация вводится в том виде, в котором она содержится в первичной документации. Этот подход несколько ускоряет работу особенно, если ею занимается не очень квалифицированный персонал.
- Таблицы вводятся в формате, соответствующем файлам системы Датамайн.

Как правило, для каждого вида информации создаются отдельные таблицы :

Скважины:

Файл координат устьев (табл. 1.1).

Файл инклинометрии (табл. 1.2).

Файлы опробования, литологии, каротажа, гидрогеологии и т.п.(табл. 1.3, 1.4).

Поверхностные и подземные выработки:

Каталог маркшейдерских точек по трассам выработок (табл. 1.5)

Данные опробования и другие характеристики выработок (литология, стратиграфия, тектоника и т.д.) – (табл. 1.3, 1.4).

Таблица 1.1. Координаты устьев скважин

Номер скважины* (BHID)	X-координата** (XCOLLAR)	Y-координата ** (YCOLLAR)	Z-координата (ZCOLLAR)

*- Номер скважины лучше вводить в текстовом формате с использованием всех букв и символов, которые использованы в первичной документации. Полезно использовать при этом латинский алфавит, т.к. проекты часто бывают международными, должны проходить аудит и, кроме того, Датамайн включает в себя старые программы, которые могут иногда не понимать Кириллицу.

** - В системе Датамайн используется стандартная ориентация координатных осей: X – направлена на Восток, а Y – на Север. Если в первичной документации принята другая ориентация осей, то необходимо привести ее в соответствие с Датамайн. Это делается изменением имен соответствующих полей таблицы.

Таблица 1.2. Данные инклинометрии

Номер скважины* (BHID)	Расстояние от устья до точки замера** (AT)	Азимут***(BRG)	Вертикальный угол****(DIP)

*- Номер скважины должен быть одинаковым во всех файлах. Если упомянутый в других таблицах номер выработки отсутствует в таблице инклинометрии, то она по умолчанию считается направленной вертикально вниз

** - Каждая выработка в этой таблице должна иметь первую точку замера в устье, т.е. AT1=0.

***- Этот угол измеряется от 0 до 360 градусов по часовой стрелке от Северного направления (Ось Y). Сюда должен вводиться истинный азимут с поправкой на величину магнитного склонения.

****- Вертикальный угол измеряется от 0 (горизонтальная плоскость) до 90 градусов (вертикаль – вниз) или до -90 градусов (вертикаль – вверх). Часто в первичных материалах эти углы измеряют от вертикали, поэтому при любом сомнении следует проверять ориентацию выработки на графике и при необходимости – пересчитывать этот угол.

Углы в первичной документации часто измеряются в градусах/минутах. Система Датамайн использует эти угловые величины в виде десятичных дробей, поэтому для пересчета используется простое преобразование. Дробная часть десятичного числа рассчитывается как частное от деления числа минут на 60.

Таблица 1.3. Результаты опробования скважин

Номер выработки (BHID)	Горизонт	Рудное тело	Номер пробы	Интервал		Au**	Ag	Cu	Тип руды
				От * (FROM)	До (TO)				

*- Первая запись в этой колонке таблицы должна быть 0, т.е. первый интервал всегда должен начинаться от устья выработки. Желательно не иметь разрывов между интервалами в таблице. При нарушении этих правил скважина будет показана на экране в виде линии, начинающейся далеко от поверхности с разрывами вниз по трассе.

** Если данные опробования отсутствуют, то обычно вводят символ «-» или оставлять ячейку свободной; если в геологических документах указано «СЛЕДЫ», то вводят обозначение «TR». Система Датамайн понимает эти кодировки. **В статистических и оценочных расчетах вместо «TR» используется значение 0.**

После номера скважины обычно следует ряд необязательных полей, определяющих принадлежность выработки к тому или иному горизонту, рудному телу, подсчетному блоку и т.д. В случае подземных выработок (иногда - траншей) вводится дополнительное поле «Стенка выработки», т.к. пробы могут размещаться по обеим (иногда – по 4-м) или только по одной стенке.

Полей, характеризующих качество руды, может быть сколько угодно. Главное, чтобы интервал опробования у них был одним и тем же. Если проба испытывалась 2-мя и более способами (например, пробирным и атомно-адсорбционным анализом), то для каждого вида опробования надо определять свою колонку (поле).

Таблица 1.4. Литологические данные (стратиграфия, выход керна, каротаж, гидрогеология, геомеханические параметры и т.п.)

Номер	Горизонт	Рудное	Интервал	Код	Код
-------	----------	--------	----------	-----	-----

выработки (BHID)		тело	От * (FROM)	До (TO)	породы 1	породы 2

Таких таблиц может быть создано сколько угодно. Отдельная таблица создается каждый раз, когда о данной выработке имеется дополнительная информация, но интервалы измерения ее не совпадают ни с одной из других таблиц.

Если информация может вводиться в числовом виде, то она вставляется в таблицу непосредственно (например – выход керна, прочность породы, данные каротажа и Т.Д.). Геологические параметры обычно предварительно кодируются с помощью наборов букв или цифр. Лучше использовать для этого латинский алфавит.

Таблица 1.5. Каталог маркшейдерских точек выработок.

Номер выработки (BHID)	Номер точки	Координаты точки		
		X	Y	Z

Для того, чтобы этот файл в проектном окне Датамайн изображался в виде линии, необходимо предварительно преобразовать его в требуемый системой формат линий. Для этого нужно ввести в таблицу 1.5 дополнительных поля: PVALUE (Номер линии) и PTN (Номер точки в линии), а поля координат обозначить XP, YP и ZP. Кроме того, стандартное для Датамайн имя поля названия выработки (BHID) следует заменить на другое (например – DRIVE, TRENCH или что-нибудь более подходящее). Окончательно, таблица 1.5 будет выглядеть следующим образом (табл. 1.6.).

Таблица 1.6. Линии (трассы) выработок.

Номер выработки (DRIVE)	Номер линии (PVALUE)	Номер точки (PTN)	Координаты точки		
			XP	YP	ZP

В результате этой работы в компьютер будет введена вся доступная первичная текстовая информация в требуемом Датамайн формате. Следует следить, чтобы в колонках (полях), имеющих числовой формат, не содержались данные в ином формате, например текстовом. При импорте в Датамайн такая информация будет потеряна. При настройке программы Excel по умолчанию, такие данные будут сразу заметны, т.к. они обычно прижаты к левому краю ячейки, в то время когда цифровая информация – к правому краю.

При вводе маркшейдерских точек для подземных выработок следует уточнить, где устанавливались эти точки: в подошве, кровле или на стенке выработки, размеры выработок, а также – на какой высоте от подошвы отбирались пробы. Эти данные необходимы для последующего точного размещения проб в 3-х мерной модели месторождения.

Для преобразования данных опробования по выработкам в единый файл с трехмерными координатами каждой пробы система Датамайн требует как минимум 3 файла: координат устьев, инклинометрии (если его нет, то выработка считается вертикальной и будет направлена вниз) и опробования. Обычно вся эта информация

изначально имеется только для скважин. Для бороздовых проб данные о координатах устьев и инклинометрии можно получить из каталога маркшейдерских точек выработок.

Первая маркшейдерская точка в большинстве случаев является координатой устья данной выработки. Эти точки по всем выработкам должны быть собраны в одну таблицу (см. табл. 1.1). Для получения более точного пространственного положения бороздовых проб необходимо изменить координату Z устья выработки на величину расстояния (+ или -) по высоте между маркшейдерскими реперами и уровнем бороздовых проб. Кроме того, если опробовались 2 стенки выработки, то в файле должно быть 2 начальные точки, отстоящие (по горизонтали) от первой маркшейдерской точки на половину ширины выработки (+ и -). Если опробована всего одна стенка, то соответствующая манипуляция выполняется только для единственной начальной точки.

Файл инклинометрии (см. табл. 1.2) рассчитывается в программе Excel с помощью преобразования координат маркшейдерских точек (Табл. 1.7).

Таблица 1.7. Расчет данных инклинометрии (формат Excel)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
ВНID	№ пикета	Координаты			BRG	DIP	Вспомогательные переменные						AT
		X	Y	Z	7	8	1	2	3	4	5	6	
DR1A	0	35838.70	58435.95	184.00	94.41	0.00	0.00	94.41	6.24	0.00	0.00	0.00	
DR1A	1	35838.22	58442.17	184.00	94.41	0.00	1.17	92.75	9.78	1.17	6.24	3.12	
DR1A	2	35837.75	58451.94	183.80	92.75	1.17	0.79	95.46	10.10	-0.79	16.02	11.13	

Примечания:

Номера пикетов (точек) должны начинаться с 0

Координаты пикета 0 – координаты устья выработки

Формулы в столбцах (например, для строки 8, русский Excel):

1: =90-ABS(ГРАДУСЫ(ATAN(КОРЕНЬ((C9-C8)^2 + (D9-D8)^2)/(E9-E8))))

2:=ЕСЛИ(D9-D8<0, 270-ГРАДУСЫ(ATAN((C9-C8)/(D9-D8))),90-

ГРАДУСЫ(ATAN((C9-C8)/(D9-D8))))

3: =КОРЕНЬ((C9-C8)^2+(D9-D8)^2)

4: =ЕСЛИ(E9-E8>0,Н8*(-1),Н8)

5: =ЕСЛИ(B8=0,0,(J7+L7))

6(AT): =ЕСЛИ(B8=0,0,(L7+J7/2))

7(BRG): =ЕСЛИ(B8>0,I7,I8)

8(DIP): =ЕСЛИ(B8>0,K7,K8)

В полученной таким образом таблице для создания файла инклинометрии используются поля: ВНID, AT, BRG, DIP

При сложных трассах траншей (подземных выработок) и очень пересеченной местности рекомендуется использовать технологию, описанную в разделах 1.6.4 и 1.6.5.

Таким образом, с помощью программы Excel мы получаем для всех видов опробования полные наборы файлов, для последующего их преобразования в системе Датамайн.

Ввод графической информации

Система Датамайн может работать только с векторной графикой. В ней предусмотрено 2 способа ввода такой информации:

- Непосредственный ввод Дигитайзером
- С помощью импорта векторных изображений из других программ (например, из Автокада)

В свою очередь, другие специализированные графические редакторы (Автокад, Корел Дро и т.п.) позволяют вводить и обрабатывать растровые изображения сканером, которые затем преобразуются в векторные с помощью специальных приложений.

Работа с дигитайзером

С помощью дигитайзера можно непосредственно вводить в Окно проектирования графическую векторную информацию с планшетов и карт в 3-х мерном виде. Дигитайзер – это специальный стол (или лист гибкого рулонного материала), в который вмонтирована система электрических контактов для точного определения места нахождения курсора, напоминающего компьютерную мышь. Обычно дигитайзер работает только с графикой на диалектической подложке (бумага, картон и т.п.), но существует оборудование, которое способно работать и с металлическими подложками.

С Датамайн могут работать практически все выпускаемые типы дигитайзеров. Подключение и настройка этого оборудования обычно выполняется специалистами по инструкции, имеющейся в составе документации к системе.

Когда дигитайзер подключен, система Датамайн запущена, а Вы имеете набор графики для ввода в компьютер, то надо последовательно пройти следующие шаги:

Напечатать на принтере меню Дигитайзера. Для этого запустите в Датамайн макрос «`digitmenu.mac`». Просто выберите команду “Run macro” и напечатайте в появившемся окне имя этого Макроса. Вбериите опцию 12 для ‘Guide’ menu. В результате будет создан плот-файл “`guide.m.dm`”, который с помощью процесса PDRIVE можно вывести на плоттер (в формате A4) или перевести в форматы «.PLT», «.DXF» для распечатки с помощью программ Corel Draw или Автокад соответственно (рис.1.1). Строго выдерживать формат A4 при этом не обязательно. Меню крепится в удобном месте Дигитайзера, обычно – в нижнем левом углу.

Закрепите на дигитайзере нужный Вам чертеж (планшет). Переключите в Датамайн переключатель между режимами Дигитайзер – Курсор (команда «**digitiser**») в положение «Дигитайзер». Далее следуйте указаниям программы:

Введите с клавиатуры реальные координаты для 3-4-х известных (опорных) точек установленного на дигитайзере чертежа (обычно – пересечений линий сетки)

С помощью курсора в той же последовательности щелкните (по возможности - точнее) на каждой из этих точек.

Щелкните курсором еще на одной (контрольной) точке чертежа, координаты которой не были введены. Система рассчитает координаты этой точки и покажет на экране. Если точность этих координат Вас устраивает, то нажмите кнопку «ОК».

Укажите курсором левую и правую точки в нижней части закрепленного меню. Теперь оно стало активным, и Вы можете управлять дальнейшей работой с его помощью

Дигитайзер готов к работе. Для перехода в режим «Курсор» необходимо выбрать соответствующий пункт в меню Дигитайзера. Теперь Вы снова сможете работать, используя все команды и возможности Окна проектирования.

CURSOR/DIGITISER	HELP
YES	NO
ACCEPT	CANCEL
NEW STRING	SELECT STRING
CLOSE ALL	OPEN ALL
CLOSE STRING	BREAK STRING
QUERY STRING	QUERY POINTS
QUERY LINE	REFERENCE POINTS
DELETE POINTS	MOVE POINTS
INSERT POINTS	EXTEND STRING
SMOOTH STRING	REDUCE POINTS
ERASE STRING	ERASE ALL STRINGS
REVERSE STRING	JOIN STRINGS
GET STRING	GET ALL STRINGS
WRITE STRING	WRITE ALL STRINGS
SNAP MODE	RESET VIEW
REDRAW	PAN DISPLAY
ZOOM IN/OUT	ZOOM OUT
VIEW ALL	NEW POINT
NOT ACTIVE	NOT ACTIVE
NOT ACTIVE	NOT ACTIVE

DATAMINE MINING SOFTWARE GUIDE v2.3

Рисунок 1.1. Общий вид Меню дигитайзера

Основные приемы работы с дигитайзером

Дигитайзер предназначен для ввода линий (в основном) и точек. Прежде чем начать работу, определите для себя, какие параметры Вы должны ввести для каждой линии. Это может быть: принадлежность к рудному телу, литологическому типу пород, выработке и т.д. и т.п. Поэтому, чтобы программа предусмотрела ввод нужной информации для каждой линии, необходимо «заказать» дополнительные атрибуты перед началом ввода данных.

Перед вводом каждой линии Вас спросят ввести тип и цвет линии, а также параметры всех дополнительных атрибутов, которые Вы установили. После этого Вы должны курсором (по точкам) ввести нужную линию и проверить ее расположение на экране Окна проектирования Датамайн.

После окончания работы с данным листом требуется установить новый чертеж и повторить процесс ввода новых опорных точек.

Особого внимания требует установка опорных точек для вводимых чертежей вертикальных сечений. Обычно на горизонтальных линиях сетки всегда указывается координата Z, а на вертикальных - одна из горизонтальных координат: X или Y. Для того, чтобы в будущем правильно преобразовать двухмерные координаты в трехмерные, требуется без ошибки распознать, какая из горизонтальных координат вводится в данном случае. Кроме того, на одном из горизонтальных планов надо ввести линии всех вертикальных сечений.

Использовать дигитайзерный ввод можно не только в Датамайн. Те, кто хорошо освоил программу Автокад, могут делать это там, а затем переносить «.DXF» файлы в Датамайн. Наиболее сложным здесь, на наш взгляд, является правильная привязка координатной системы вводимых чертежей.

Работа со сканером

В последнее время все большее распространение получает ввод сложной горной и геологической графики в растровом виде с помощью сканера. По трудозатратам эта технология в общем равнозначна вышеописанной.

Последовательность действий по вводу в Датамайн растровой графики примерно следующая:

Требуемое изображение снимается сканером и сохраняется в памяти компьютера.

Специальные программы используются для улучшения качества растрового изображения: очищается серый фон, "рыхлая" графика, находятся потерянные и слипшиеся линии

Затем этот файл загружается в одну из программ векторизации графики, например – в приложение Автокада «Растр Деск Про», Scan Pro и т.д.

Нужные линии изображения векторизируются в интерактивном или автоматическом режиме. Точкам полученных линий присваиваются известные 3-х мерные координаты и атрибуты.

Полученный таким образом файл линий сохраняется в формате “.DXF” и затем импортируется в Датамайн. Здесь из множества загруженных линий и точек выбираются необходимые для работы и сохраняются в отдельных файлах. Если нужно, производится корректировка координат и атрибут этой информации.

Проверка введенной первичной информации

Рассматриваемые ниже ошибки исходных данных имеют разное происхождение и природу. Полностью их исправить невозможно, однако, используя некоторые, описанные ниже правила, можно существенно сократить их количество.

Ошибки первичных геологических материалов

Они встречаются очень часто и в большом количестве. Это могут быть элементарные (грубые) ошибки координат, которые легко обнаружить после сопоставления, например, табличных данных с графикой и с изображениями, полученными в Датамайн. Хуже, когда такие ошибки незначительны и распространяются, например, на содержания металлов в руде. Такие ошибки практически неустранимы. Чаще всего они связаны с некачественной перепечаткой многотомных геологических отчетов, неаккуратным заполнением первичных журналов, паспортов скважин и т.п.

Ошибки ввода данных

После ввода в компьютер информация обязательно должна быть тщательно проверена. Существует несколько стандартных методик проверки, но у каждой компании существует свои технологии проверки данных и нормативы допустимых ошибок.

А) После ввода какой-то части информации посторонний (не участвующий в первичном вводе) персонал сверяет 10% введенных данных с первоисточниками. Если ошибки встречаются более чем в 10% записей, то снова проверяется уже 50% введенной информации. Если и в этом случае уровень ошибок превышает допустимый, то перепроверяется вся введенная информация, а выявленные ошибки тщательно исправляются. Затем процесс проверки повторяется до тех пор, пока уровень ошибок на первом этапе не будет выходить за пределы допустимого уровня.

Б) Одни и те же данные вводятся одновременно двумя операторами, независимо друг от друга. После этого, 2 полученные таблицы сортируются и сравниваются в Excel. Отличающиеся строки отбраковываются и снова вводятся одновременно двумя операторами, а затем снова сравниваются. Как правило, количество таких итераций достигает трех-четырёх. Только после достижения полного соответствия информации, введенной двумя независимыми операторами, она считается принятой, и может использоваться в дальнейшей работе.

С) Введенные дигитайзером графические материалы выводятся на плоттер в масштабе оригинала и печатаются на прозрачной бумаге (кальке). После этого они

накладываются на оригиналы, и все выявленные ошибки и отклонения устраняются либо новым вводом данных дигитайзером, либо корректировкой информации непосредственно в окне проектирования Датамайн. Таким же образом поступают при проверке введенной и обработанной информации по скважинам и бороздовым пробам. С первичными материалами сравнивают информацию, полученную в системе Датамайн и выведенную на кальке в том же масштабе:

- Горизонтальные проекции наклонных скважин
- Планы размещения скважин и топография поверхности
- Планы опробования подземных выработок и поверхности
- Основные геологические разрезы по месторождению

Проверка, корректировка и первичная обработка введенной информации.

Поскольку текстовая информация вводится в компьютер в основном с помощью программ Access или Excel, то следующим шагом является импорт ее в систему Датамайн, проверка и преобразование (desurveying) данных опробования. Здесь каждый вид проб имеет свою специфичную технологию и, иногда, несколько способов обработки.

После просмотра на экране полученных 3-х мерных файлов проб и устранения случайно оставшихся грубых ошибок в координатах, производится сверка всех полученных планов и разрезов с первичными графическими материалами, а затем – композирование, устранение «ураганных проб» и первичная статистическая обработка данных опробования,

На первом этапе следует преобразовать информацию о пробах в 3-х мерный вид, когда каждая проба имеет собственные 3-х мерные координаты центра, инклинометрию, все параметры опробования, геологические и другие характеристики.

Методология импорта данных опробования в систему Датамайн и преобразования их в статические или динамические скважины подробно описана во вводном курсе Студии 3.

После ввода всех нужных файлов в систему Датамайн необходимо их проверить и объединить. При создании динамических скважин такие проверки производятся автоматически, а информация появляется в соответствующем окне Датамайн.

Вместе с программами обычно поставляется библиотека макросов, среди которых можно найти несколько макросов для проверки исходных файлов перед их объединением. Это делается для того, чтобы избежать большинства (но далеко не всех) ошибок, имеющейся в информации по опробованию месторождений.

Один из макросов называется “validv3.mac”. Обычно он находится в папке макросов и выполняет следующие проверки:

- Наличие дублирующих записей во всех файлах
- Наличие пропусков в интервалах опробования по скважине
- Наличие первого интервала, начинающегося с 0
- Наличие первого замера инклинометрии в устье выработки
- Наличие «перехлестываний» интервалов опробования
- Наличие информации о каждой скважине во всех файлах: координат устьев, инклинометрии, опробования, геологии и т.д.

Обычно, в состав проверок, кроме перечисленных, еще включают проверки на допустимые величины координат, содержаний и других параметров, для которых, хотя бы примерно, известны минимальное и максимальное значения. Эта проверка обычно осуществляется расчетом (для нужных полей) основных статистических параметров, в состав которых включено определение минимума и максимума.

После получения результатов проверок (они обычно записываются в соответствующие текстовые файлы в Вашей рабочей директории) Вы должны исправить

все выявленные ошибки. Обычно это делается в табличном редакторе Датамайн, программах Access или Excel, а далее все операции по вводу информации в Датамайн повторяются. Эти итерации могут повторяться несколько раз.

Процесс HOLES3D, используемый для объединения данных бурения (desurveying), также автоматически производит проверку ошибок в исходных файлах.

Содержание проверок:

- (1) устанавливается наличие файла инклинометрии (если его нет, то все скважины считаются направленными вертикально вниз)
- (2) Наличие первого замера инклинометрии в устье выработки.
- (3) Каждая скважина в файле опробования должна иметь не менее одной записи в файле инклинометрии.
- (4) Начало интервала опробования (поле FROM) больше чем конец этого же интервала (поле TO).
- (5) Смежные интервалы не «перехлестываются»
- (6) Интервалы не дублируются.
- (7) Поля XCOLLAR, YCOLLAR и ZCOLLAR не содержат отсутствующих данных.

Проверки 1-3 делаются для файла SURVEY.

Проверки 4-6 - для всех файлов опробования: SAMPLE1 - SAMPLEn

Проверка 7 - для файла COLLAR

Все ошибки записываются в выходном файле ошибок. После исправления ошибок в исходных файлах операции по вводу данных повторяются заново.

В итоге, Вы получаете файл опробования скважин, который можно посмотреть в окне проектирования (рис.1.2) и, если повезет, заметить новые, иногда грубые ошибки.

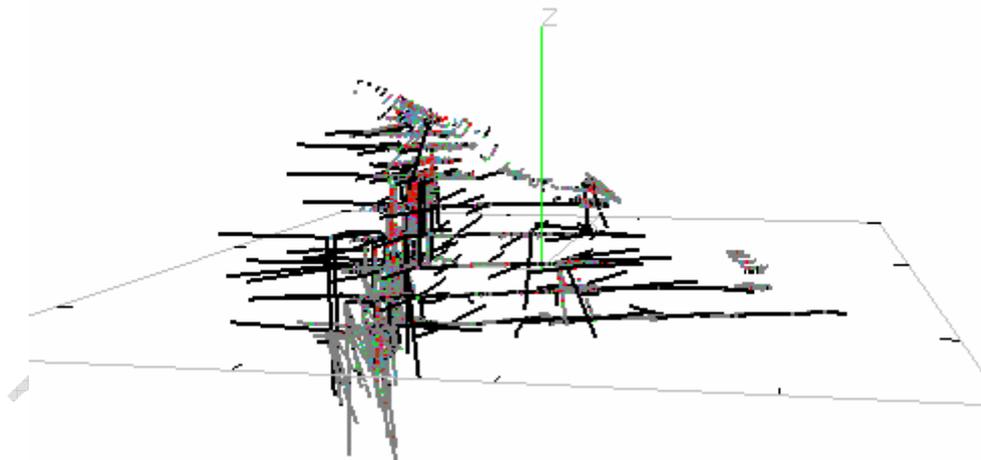


Рисунок 1.2. Размещение разведочных выработок на одном из золоторудных месторождений.

Бороздовые пробы поверхности

Существуют несколько технологий ввода в Датамайн информации по бороздовым пробам поверхности.

А) Будем считать основным методом тот, при котором еще в программе Excel (Access) с помощью описанного выше метода создаются все необходимые файлы с использованием маркшейдерских точек:

- Файл координат устьев траншей (канав) – TCOLLAR
- Файл инклинометрии – TSURVEY
- Файлы опробования, геологии и т.п. – TSAMPLE1,2...

В этом случае Вы проверяете и объединяете файлы по приведенной в предыдущем разделе методологии.

Б) Если есть проблемы с получением каталога маркшейдерских точек или появились сомнения в их достоверности, то выходом может быть следующая методология.

Трассы траншей дигитизируются или сканируются с планов опробования поверхности и импортируются в Датамайн в виде файла линий. В отдельном поле атрибуты, скажем – TRENCH, должен быть введен номер каждой траншеи. Координата Z этих линий устанавливается заведомо больше соответствующих координат окружающего рельефа поверхности.

В окно проектирования загружается каркасная модель топографии.

Плоские линии трасс траншей командой «project-string-onto-wf» (краткая команда – ptw) проецируются на модель топографии и преобразуются в 3-х мерные линии.

Если известна средняя глубина канав по месторождению, то координату Z полученных линий с помощью процесса EXTRA следует уменьшить на эту величину.

Далее эти линии командой «string-to-drillhole» (краткая команда – stdh) превращаются в псевдоскважины, которые содержат всю требуемую для скважин информацию, в т.ч. – инклинометрию для каждого отрезка линии. При использовании этой команды Вы должны ввести на запрос программы идентификатор (в поле BHID) каждой траншеи.

Экспортируйте полученные файлы: линий и псевдоскважин в Excel. Вам понадобятся поля TRENCH, PTN, XP, YP, ZP для файла линий и поля BHID, FROM, A0, B0 - для файла псевдоскважин.

Создайте таблицы:

- **TCOLLAR** с полями: BHID=TRENCH, XCOLLAR=XP, YCOLLAR=YP, ZCOLLAR= ZP (только координаты первой точки линии), используя данные файла линий.
- **TSURVEY** с полями: BHID=BHID, AT=FROM, BRG=A0, DIP=B0, используя данные файла псевдоскважин.

Импортируйте эти таблицы в Датамайн. Теперь Вы имеете все нужные файлы для объединения результатов опробования бороздовых проб поверхности.

С) В литературе встречаются упоминания и о других технологиях создания этого файла. Иногда трассы траншей вводят сканером, а после векторизации объединяют их с моделью топографии в Автокаде. Далее в программах Excel или в Access создают стандартные файлы TCOLLAR и TSURVEY. Некоторые эксперты Датамайн создают из трасс траншей 3-х мерные линии («сажая» их на рельеф), а затем с помощью специально написанных макросов превращают файл линий непосредственно в файл проб, производя достаточно сложные расчеты внутри этого макроса. Существуют и другие способы выполнения этой работы.

Бороздовые пробы подземных выработок

Как и для бороздовых проб поверхности существуют немало технологий ввода в Датамайн информации по пробам подземных выработок. Это одна из самых сложных операций, которая каждый раз требует повышенного внимания и затрат рабочего времени.

Различают следующие виды проб, ввод которых имеет специфику:

- Горизонтальные пробы по стенкам горизонтальных и наклонных выработок
- Вертикальные пробы по стенкам восстающих
- Горизонтальные забойные пробы
- Вертикальные пробы по стенкам горизонтальных выработок

Информация для первых двух видов проб может быть подготовлена еще в программе Excel с использованием каталога маркшейдерских точек выработок, как описано выше. Должны быть созданы по крайней мере 3 файла:

- Файл координат устьев выработок – UCOLLAR
- Файл инклинометрии – USURVEY
- Файлы опробования, геологии и т.п. – USAMPLE1,2...

Особого подхода требует кодирование названий и номеров выработок. Поскольку эта информация может повторяться на разных горизонтах, то во избежание дублирования и связанных с ним ошибок, необходимо вводить в номер выработки дополнительные символы, чтобы сделать его уникальным:

- Код названия выработки
- Номер выработки
- Код или номер горизонта
- Код стенки выработки, по которой велось опробование.

Например, WHID = 2D12W означает Западную стенку (W) штрека №12 (D12) на горизонте 2. Желательно, чтобы число символов в названии не превышало 8.

После ввода в Датамайн нужно проверить и объединить эти файлы по описанной в предыдущем разделе технологии. Таким образом, можно получить объединенный файл опробования стенок выработок горизонтальными, наклонными и вертикальными (для восстающих) бороздами. Следует быть очень аккуратным при задании начальных координат стенок выработок, которые формируют в дальнейшем совокупность координат всех проб вдоль этих выработок.

Кроме того, можно столкнуться еще с одной проблемой. Если по стенке выработки встречается неопробованное пространство сравнительно большой протяженности, то при расчете координат проб может произойти смещение трассы проб от линии стенки выработки, особенно в местах, близких к забою протяженных штреков или квершлаггов. Это происходит при расчете координат проб в Датамайн, когда все пробы (в т.ч. и длинные неопробованные интервалы) считаются отрезками прямой линии. Это в итоге приводит к отклонению полученной ломаной трассы проб от действительной линии стенки выработки. Способ борьбы с этим «явлением» - искусственно разделить в файле опробования длинные не опробованные интервалы на более короткие, длиной, скажем, 5-10 м, или разделить трассу выработки на несколько отдельных «скважин».

При обработке данных по забойным и вертикальным (по стенкам) пробам файл координат их устьев создается в программе Excel вводом линий или точек трасс (проекций трасс) проб с планов опробования дигитайзером или сканером. При этом каждая такая проба имеет уникальное название в поле WHID, содержащее, как правило, информацию о типе и номере выработки, номере горизонта и номере самой пробы.

Файл инклинометрии для каждой пробы имеет только одну запись, содержащую или только азимут, снимаемый с плана опробования (DIP=0), или только вертикальный угол (обычно DIP=90) при азимуте = 0. Следует иметь в виду, что пробы имеют разное направление, поэтому при вводе этой информации дигитайзером надо обращать внимание на порядковое расположение проб по трассе выработки.

Если есть проблемы с получением маркшейдерских точек или с их достоверностью, то существуют технологии, которые позволяют создать файлы инклинометрии и координат устьев по введенным дигитайзером (или сканером) линиям стенок выработок (и забойных проб). Одна из таких технологий включает следующие шаги:

Каждая опробованная стенка каждой выработки вводится как отдельная линия, начинающаяся в ее устье. Отдельно вводятся трассы (или точки) забойных проб. Все введенные линии получают свои уникальные номера

Если есть сведения об угле наклона выработок, то координата Z линий приводится в соответствии с этим углом. Если нет, то координата Z принимается равной среднему уровню расположения бороздовых проб на этом горизонте.

Каждая линия превращается в псевдоскважину, файлы линий и псевдоскважин экспортируются в Excel, где из них формируются таблицы UCOLLAR и USURVEY.

Таким образом, получаются все требуемые компоненты для создания единого файла опробования подземных выработок.

Иногда эксперты используют технологию, в которой линии трасс бороздовых проб совместно с данными опробования с помощью специальной программы (макроса) непосредственно преобразуются в конечный файл опробования.

Встречаются случаи, когда каждая проба вводится дигитайзером как отдельная выработка, для нее измеряются и вводятся параметры инклинометрии, координат устья и, наконец, формируются все необходимые файлы для последующего их объединения.

2. Удаление «Ураганов» из данных опробования

Причины появления экстремальных значений связаны как с геологическими особенностями месторождений отдельных полезных ископаемых (благородные металлы, алмазы и др.), так и с ошибками анализа и исследования проб. Самый простой способ устранения некорректных данных предусматривает визуальный просмотр подготовленного к обработке массива, а также его гистограммы и удаление проб со слишком малыми и большими содержаниями.

Однако, в арсенале статистики имеются достаточно надежные методы разбраковки массивов исходной информации и выделения нетипичных результатов. Множество таких способов описано в отечественной и зарубежной литературе.

Например, Н.Кресси для регулярной сети проб подсчитывает среднее содержание и медиану каждого столбца (ряда) и по их разности судит о наличии или отсутствии экстремальных значений в том или ином подмножестве. Когда "посторонние" оценки, могущие оказать отрицательное влияние на вариограмму, выявлены, необходимо решить, как с ними поступить. Простейший, но не самый лучший способ - исключить их из состава исходных данных.

Существует несколько более простых, но достаточно надежных способов обнаружения «ураганных» проб, которыми с удовольствием пользуются эксперты. Один из них - «квантильный» способ, который легко реализовать в среде Excel или других программ для статистической обработки массивов данных. Процесс для такого анализа (QUANTILE) включен в состав системы Датамайн. Анализ проводится следующим образом.

- Массив проб сортируется по величине содержания металла и затем делится на заданное количество квантилей (обычно – на 10). Формируется таблица, пример которой приведен ниже (Верхняя часть Табл. 2.1).
- Если последний класс (90-100% проб) содержит более 40% металла, то массив должен быть предварительно очищен от «ураганов».
- Рассчитывается аналогичная таблица только для этого последнего класса (Нижняя часть Табл. 2.1). Границей «ураганных» проб считается минимальное содержание первого класса, в котором содержится более 10% металла. В данном примере это – 3.7 г/т

Таблица 2.1. Пример квантильного анализа «ураганных» проб

Класс	Число записей	Среднее значение	Минимум	Максимум	Количество металла	Количество металла, %
0-10	1110	0.004	0.000	0.010	4.805	0.07%

10-20	1110	0.010	0.010	0.018	11.522	0.16%
20-30	1110	0.021	0.018	0.030	23.816	0.34%
30-40	1110	0.035	0.030	0.049	38.823	0.55%
40-50	1110	0.052	0.049	0.060	57.571	0.82%
50-60	1110	0.080	0.060	0.100	88.946	1.27%
60-70	1110	0.128	0.100	0.160	141.922	2.02%
70-80	1110	0.219	0.160	0.290	243.590	3.47%
80-90	1110	0.426	0.290	0.640	472.534	6.73%
90-100	1106	5.370	0.640	305.310	5938.771	84.57%
ВСЕГО	11096	0.633	0.000	305.310	7022.301	100.00%
90-91	111	0.677	0.640	0.720	75.161	1.27%
91-92	111	0.777	0.720	0.840	86.204	1.45%
92-93	111	0.896	0.840	0.950	99.474	1.67%
93-94	111	1.029	0.950	1.120	114.198	1.92%
94-95	111	1.238	1.120	1.390	137.390	2.31%
95-96	111	1.587	1.390	1.790	176.153	2.97%
96-97	111	2.046	1.790	2.350	227.100	3.82%
97-98	111	2.899	2.360	3.690	321.840	5.42%
98-99	111	5.497	3.700	8.660	610.180	10.27%
99-100	107	38.234	8.670	305.310	4091.070	68.89%
ВСЕГО	1106	5.370	0.640	305.310	5938.770	100.00%

Желательно также, чтобы описанный анализ проводился отдельно для каждого рудного тела, класса руды и т.п. В практике имеется сколько угодно случаев, когда граница «ураганов» резко отличается для разных участков месторождения.

Другой простой способ состоит в том, что строится кумулятивное распределение массива информации и исследуется его «хвост», близкий к 100%. Если в каком-то месте происходит резкое изменение характера линии (излом) – это сигнал наличия «ураганов». Таким же образом можно анализировать график ранжированного по возрастанию ряда данных, по резкому изменению которого судят о наличии экстремальных значений (рис. 2.1)

Иногда действуют совсем просто, отрезая от массива хвост кумулятивного распределения после достижения им значения 95 или 99%.

Тем не менее вопрос о необходимости «урезания ураганов» остается открытым. Существует достаточно обоснованное мнение, что грамотно сконфигурированный кригинг способен избежать их отрицательного влияния.



Рисунок 2.1. Определение границы «ураганных проб» по месту излома графика ранжированных по возрастанию значений проб.

3. Геологическая интерпретация рудных тел

Цель геологической интерпретации состоит в том, чтобы построить действительную блочную модель для оценки ресурсов и, когда она выполнена геологом проекта, то неизменно делает ценный вклад в понимание геологии минерального месторождения. Геологическая интерпретация заставляет геолога использовать все уместные данные, чтобы определить геологические области, которые определяют различные типы минерализации в месторождении и которые соответствуют статистическим исследованиям и анализу Вариограмм. Затем строится Модель ресурсов заполнением этих областей блоками, в результате чего содержания блоков относительно точно будут отражать понимание геологом пространственного распределения минерализации в пределах каждой области.

Не существует никакой альтернативы для полной геологической интерпретации всей имеющейся информации о ресурсах минерального месторождения. Геолог проекта, который нанес на карту и опробовал обнажения поверхности (и/или стенки подземных выработок), зарегистрировал и опробовал керны скважин, должен потратить время, чтобы сопоставить данные, подготовить графику и интерпретировать геологию месторождения. В это время компетентный геолог постарается понять структуру и состав месторождения и создать рабочую гипотезу для геологического контроля минерализации. Хотя эта концептуальная "геологическая модель" будет постепенно развиваться от стадий разведки до полной отработки запасов, она всегда будет оставаться основной геологической структурой, на основе которой будет принято большинство проектных решений.

Оценки ресурса требуют, время от времени, определения тоннажа и содержаний компонентов в рудных телах месторождения. Большинство оценок ресурсов выполняется, используя компьютерные методы блочного моделирования или 2-х мерные сетчатые модели для угольных месторождений, или полные трехмерные блочные модели для большинства металлических и других месторождений. Чтобы быть действительной, блочная модель ресурсов должна отражать все существенные элементы концептуальной геологической модели. Чтобы удостовериться, что эта цель достигнута, должна быть предпринята осторожность в построении ресурсной модели. Процесс моделирования ресурсов должен включать анализ и детальную геологическую интерпретацию ресурса,

чтобы точно смоделировать и геометрию, и распределение содержаний по месторождению.

Обычная технология оценки запасов минерального сырья предусматривает создание блочных моделей рудных тел и/или месторождений, которые иногда могут быть построены без определения каких-то геологических границ (рудных тел, зон и т.п.) и распространяться на все пространство месторождения. Но в большинстве случаев все рудные тела, зоны, литологические типы пород, поверхности тектонических нарушений и т.д. предварительно оконтуриваются с помощью каркасных (триангуляционных) моделей поверхностей или замкнутых объемов.

Чаще всего замкнутыми объемами ограничивают рудные тела и зоны. Решение о том, что включить в состав каркасных моделей, принимает геолог, хорошо знающий данный объект. Обычный набор каркасов для модели:

- Рудные тела и/или зоны; части зон, разделенные тектоникой
- Специально выделяемые районы месторождения с высокими (или низкими) содержаниями
- Безрудные зоны внутри рудных тел
- Ограниченные в пространстве объемы литологических разностей пород и т.п.
- Подсчетные блоки руды с утвержденными ГКЗ запасами
- Подземные горные выработки

3.1. Интерпретация геологических областей

В оценке ресурсов очень важен выбор геологических областей. Области определяются, как зоны, которые являются геологически и статистически гомогенными. Обычно выбор областей должен быть подтвержден статистикой и вариографией. Создание геологических границ области, которые определяют ее геометрию, - это основной метод обеспечения геологического контроля в компьютерном моделировании ресурсов. Большинство баз данных и программ моделирования обеспечивает трехмерное представление информации, что позволяет геологам для определения этих границ не пользоваться как раньше только планами и разрезами.

Области Содержаний

Определение **областей** на основе содержаний - часто интерактивный процесс, который обычно начинается с отбора пересечений минерализации в каждой буровой скважине. Иногда очень низкое содержание (индикатор минерализации) используется, чтобы определить границу между минерализованными и неминерализованными пробами. Выбор индикатора минерализации - другое средство определения этой границы, которое использует композирование проб по минимальной длине интервала, чтобы получить минимальную величину содержания. Эти методы становятся более сложными, если месторождение имеет больше чем один металл или продукт (, типа Cu-Au или Pb-Zn-Ag).

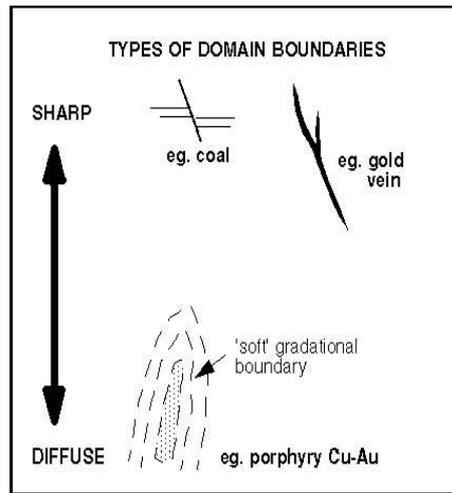


Figure 1: The definition of domain boundaries for different deposits varies from sharp to diffuse

Рисунок 3.1. Определение границ областей для разных типов месторождений от sharp до diffuse

Жесткие и мягкие границы области

Границы области часто упоминаются как "жесткие" или "мягкие" (рис. 3.1). Для месторождений с жесткими границами области, типа угольных пластов и осадочных цинковых месторождений, определение границ области является относительно простым. Подошва и кровля обычно отчетливы, и цель геолога - объединить отдельные пласты, проследить складки и скоррелировать пласты по месторождению. Таким образом (рис. 3.2), уголь может быть геологически оконтурен как два пласта или как один более мощный пласт со включенным прослоем породы. Уголь, фосфаты и другие слоистые формирования иногда также определяются и мягкой границей. Например, содержание кальция может определить выбор слоя или подошвы в фосфате. Таким образом, фосфат может быть оконтурен с "лучшим" содержанием (рис. 3.3). **Каждая интерпретация приводит к различному тоннажу и содержанию.** На рис. 3.2, тоннаж A1 плюс A2 меньше чем A. Однако, A1 и A2 обеспечивают лучшее содержание (показатель энергоемкости) по сравнению с A.

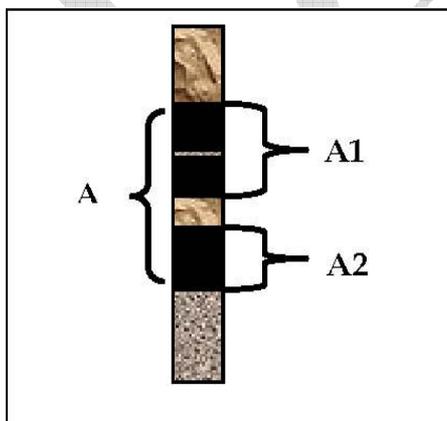


Рисунок 3.2: Варианты интерпретации A1, A2 и A

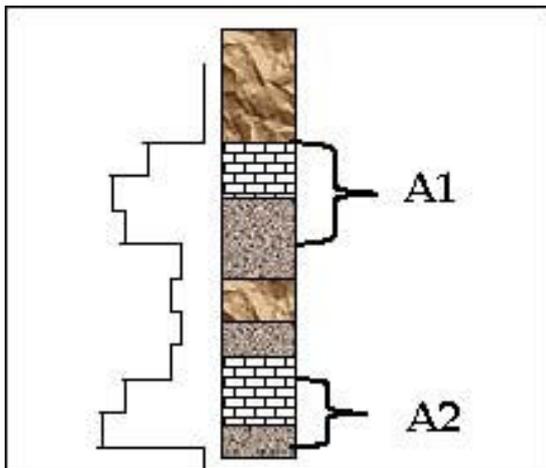


Рисунок 3.3. Пласты фосфата, интерпретированные по содержанию основного компонента

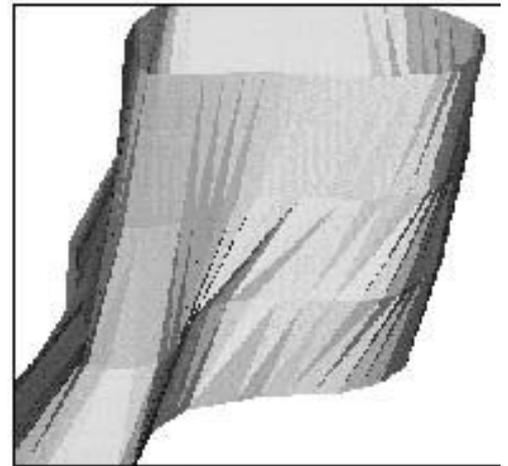


Рисунок 3.4. Трехмерное представление каркасной области

Для месторождения с мягкими границами области, типа некоторых порфировых месторождений Cu-Au, границы, отделяющие руду от породы и одну зону от другой, могут быть размытыми или постепенными. Некоторые месторождения имеют области, которые являются трудно определяемыми, большинство месторождений может быть разделено на зоны, если геолог имеет адекватные разведочные данные и делает интерпретацию систематическим способом.

Методы Определения Границ

Границы определяются различными способами, чтобы сформировать поверхности или трехмерные замкнутые области.

Каркасное моделирование - самый универсальный метод определения геологических границ. Фактически любые формы геологических контуров, интерпретируемых на сечениях, планах или в трех измерениях могут быть объединены в замкнутый каркас, чтобы сформировать трехмерные области. Геологическая интерпретация может быть результатом недель или месяцев работы с картами и данными опробования. Поэтому реальный процесс соединения контуров сечений/планов, чтобы сформировать и визуализировать трехмерный пласт или линзу, обычно вполне удовлетворяет геолога.

Триангуляция - это метод, используемый для создания моделей поверхностей типа кровли и подошвы пласта или жилы. Преимущество триангуляции состоит в том, что она точно соединяет точки данных с треугольными гранями - особенность, оцененная большинством маркшейдеров. Однако большинство геологических поверхностей будет нуждаться в некотором 'уточнении' (экстраполяции) геологом, использующим результаты интерпретации за пределами точек данных.

Степень деформации и структурной сложности месторождения часто оказывает большое воздействие на трудозатраты по определению геологических границ. Иногда разломы трудно обнаружить, особенно, если они параллельны доминирующему направлению бурения. Геолог должен использовать все доступные данные, чтобы определить существование и эффект тектонических нарушений. Обнаружение разломов может быть облегчено анализом керна вниз по скважине, аэромагнитной съемкой, анализом и картированием космоснимков. Однако, не существует какого-то доказанного метода автоматической интерпретации разломов, что существенно затрудняет жизнь геологов.

Для того, чтобы получить каркасную модель нужно предварительно создать некоторое множество замкнутых 2-х мерных или 3-х мерных периметров, а затем объединить их в каркас. Плоские периметры могут быть введены дигитайзером или сканером (с последующей векторизацией). Обычно таким образом с геологических планов и разрезов вводятся:

- контуры рудных тел, зон
- планы подземных горных выработок
- контуры подсчетных блоков и т.д.

Иногда удобнее строить все перечисленные контуры интерактивно в Окне проектирования Датамайн. Это возможно, если предварительно в файлы опробования введена вся требуемая информация: содержания, литология и т.д. Кроме того, преимущество такой технологии заключается в возможности формировать 3-х мерные контуры с привязкой их к пробам или интервалам, имеющим требуемое качество или характеристику.

Эта работа выполняется в следующей последовательности.

1. Определяется геологическое (геохимическое) бортовое содержание полезных компонентов в граничных пробах, по которым будет производиться оконтуривание (см. 3.2.).
2. Загружается файл проб, по которым предполагается производить оконтуривание.
3. Создается легенда, т.е. пробы на экране раскрашиваются в соответствии с заданными интервалами содержаний, типами руд и пород и т.п.
4. Выбираются линии сечений, на которых будет производиться оконтуривание. Сечения могут быть вертикальные, горизонтальные или наклонные. Чаще всего оконтуривание делается на вертикальных сечениях, которые были установлены при разведке месторождения. Плоскости этих сечений устанавливаются в Файле определения сечений Датамайн, где каждому сечению присваивается свой уникальный номер. Порядок создания и использования такого файла описан во Вводном кусе Студии 3.
5. С помощью курсора мыши создаются контуры, включающие руду (породу) с требуемыми свойствами. При этом левая кнопка мыши создает точку на плоскости изображения, а правая – на ближайшей границе ближайшей пробы.

На рис. 3.5. показаны 3-х мерные контуры рудного тела, созданные интерактивно на вертикальном разрезе. На плоскость сечения спроецированы все пробы, попадающие в слой +/- 10 м от нее. По скважинным пробам (с привязкой к ним) оконтурены 2 богатые зоны и вокруг них – зона с бедным содержанием. При создании контура бедных руд использовано композирование.

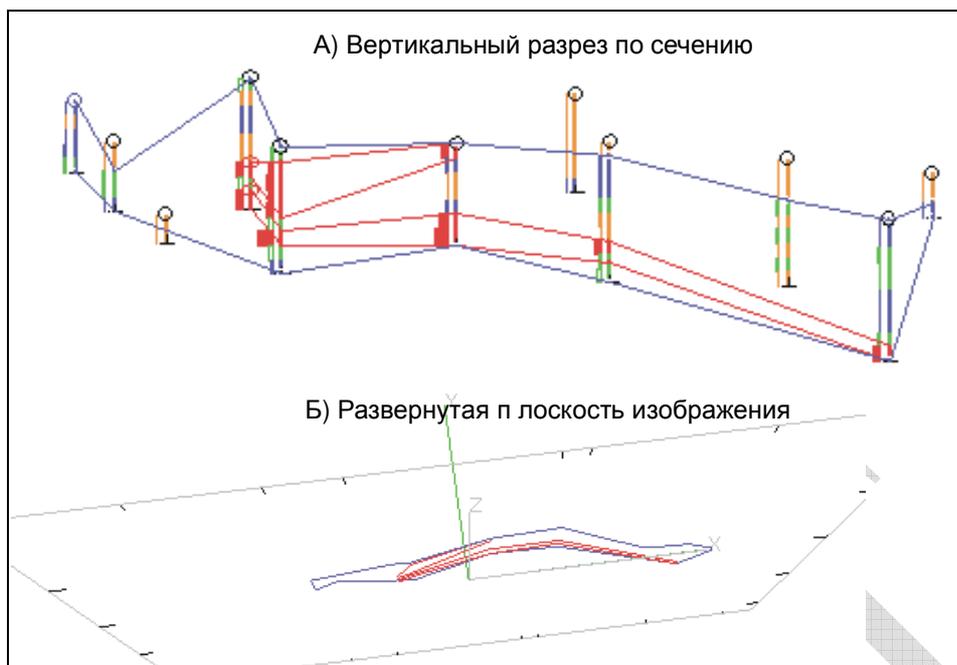


Рисунок 3.5. Создание 3-х мерных контуров на вертикальном разрезе.

С помощью редактора данных опробования (Drill hole Editor) Датамайн производилось объединение смежных проб (композигов). Если содержание в этом объединенном интервале не снижалось ниже «борта», то такой интервал включался в контур.

В нижней части рисунка созданные контура были развернуты Визуализером, чтобы продемонстрировать их трехмерность.

Таким образом, создается множество наборов замкнутых контуров (соответствующих различным пространственным объемам, которые по мнению геолога должны быть учтены в модели месторождения).

Замечание. Перед началом оконтуривания рудных зон на планах или разрезах очень полезно обосновать принципы этой работы. Например, должны быть получены ответы на следующие вопросы:

- Какие рудные пересечения (полные или частичные) должны включаться в пределы контуров?
- Надо ли включать в контуры бороздовые пробы, если, например, они не будут участвовать в интерполяции содержаний и подсчете запасов.

Принципы выклинивания рудных тел:

- Выклинивание не производится
- Выклинивание делается на половине расстояния между сечениями
- Выклинивание делается на половине расстояния между последней значимой и незначимой пробами
- Выклинивание делается на литологической границе
- Выклинивание делается другим способом.

При выполнении интерпретации вручную контуры рудных тел всегда плоские. Компьютер позволяет создавать 3-х мерные контуры, «привязанные» к концам реальных проб. Это дает возможность в будущем обеспечить точный выбор всех рудных проб с помощью созданного по таким контурам каркаса. Однако, на сложных месторождениях с большим количеством глубоких скважин смежные 3-х мерные контуры часто бывают «экзотической» формы, очень близко подходят друг к другу, иногда пересекаются и т.п.

Создание корректных каркасов по таким контурам или требует очень больших трудозатрат, или невозможно.

Поэтому иногда геологи используют плоские контуры (без «привязки» их к пробам), затем создают по ним каркасы, которые разрезают по плоскостям промежуточных разрезов, проверяют вхождение в них всех кондиционных проб, корректируют эти промежуточные контуры и, наконец, создают новый каркас с учетом промежуточных сечений.

3.2. Обоснование геологического бортового содержания для оконтуривания рудных тел.

Следует отметить, что указанные бортовые содержания не являются экономическими бортовыми содержаниями. Они отражают только природное (геологическое) распределение элементов в пределах минерализованных зон. Другими словами, примененные бортовые содержания (БС) отражают природную (геологическую) границу между минерализованными линзами и вмещающей породой в тех местах, где геологический контакт не ясен. Для обнаружения вариантов БС для интерпретации используется статистический анализ, который должен быть подтвержден опытом изучения месторождения и интуицией геолога.

Применение комплексных показателей качества руды, имеющих экономическую основу, на этом этапе не рекомендуется, т.к. с увеличением цен металлов или снижением производственных и других затрат границы месторождения должны быть расширены, а это каждый раз будет требовать новой интерпретации и геологического моделирования.

Чтобы определить естественные границы минерализации в случае размытых контактов, обычно используют кумулятивные вероятностные распределения содержаний тех металлов, которые являются наиболее важными для данного месторождения. В случае логнормальных распределений (или близких к ним) пользуются логарифмической шкалой X. При наличии в общем массиве данных проб разных популяций на графике будут ясно видны скачки и резкое изменение угла наклона линии графика. На рис. 3.6. показан такой график для Ag, а на рис. 3.7 – для Mo.

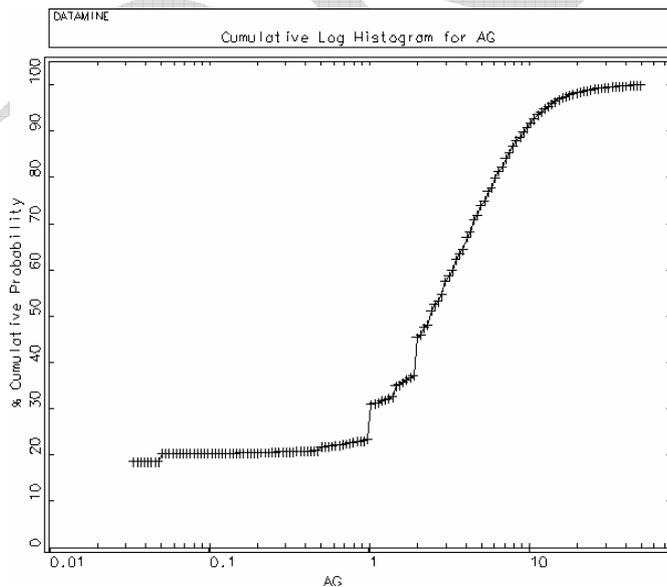


Рисунок 3.6. Кумулятивный вероятностный график распределения для Ag,

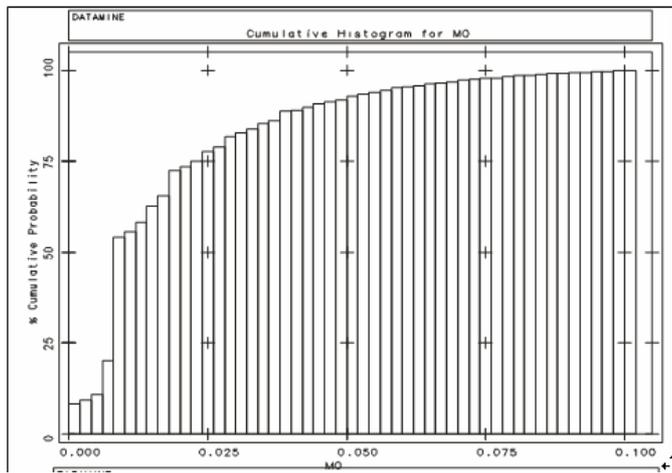


Рисунок 3.7. Кумулятивный вероятностный график распределения для Mo,

4. Каркасное моделирование

Создание замкнутых каркасов пространственных объемов – одна из самых сложных операций в процессе моделирования. На первый взгляд все просто: смежные контуры соединяются линиями связи (tag strings) в точках, которые должны быть соединены в процессе триангулирования, а затем эти периметры соединяются в каркас (рис. 4.1). На заключительной стадии каркас замыкается специальными поверхностями, создаваемыми на конечных контурах.

Но в некоторых случаях эта операция усложняется из-за:

- Замысловатой 3-х мерной формы смежных контуров, их расхождения и схождения
- Необходимости произвести выклинивание рудных тел на границах.
- Требуемой корректировки каркаса по результатам проверки включения в него всех кондиционных проб
- Нежелания программы соединять контуры, так как хочет этого пользователь
- Некоторых других причин

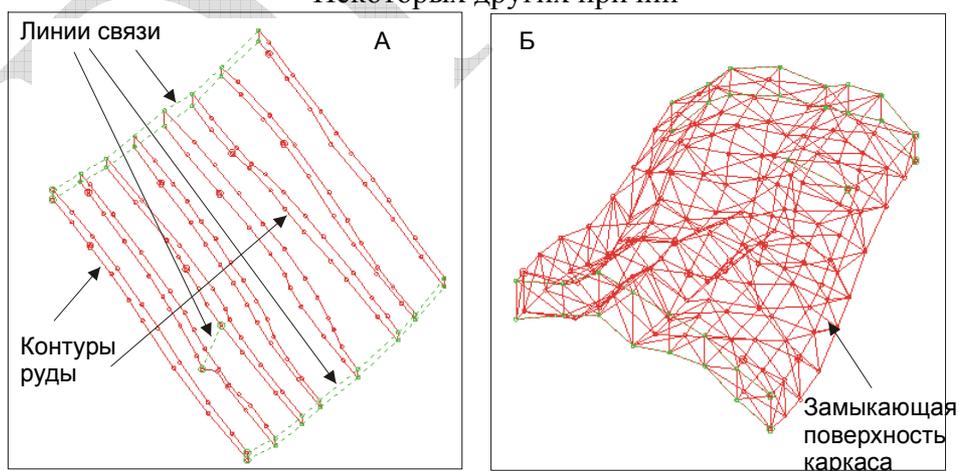


Рисунок 4.1. Стадии процесса создания каркаса: А) связывание контуров, Б) триангуляция и замыкание каркаса.

4.1. Соединение контуров сложной формы

На рис.4.2 показан простой случай «разветвления» рудных тел. В первую очередь, в общем контуре создается так называемая «перемычка» (bridge string), которая намечает место расхождения частей рудного тела. Она может быть как простой (прямой отрезок), так и сложной 3-х мерной линией, обязательно привязанной (привязывание делается правой кнопкой мыши) к 2-м точкам контура рудного тела. После этого для соединения контуров используется специальная команда «Link boundary», которая работает только в том случае, если в одном или обоих соединяемых контурах имеются линии перемычек.

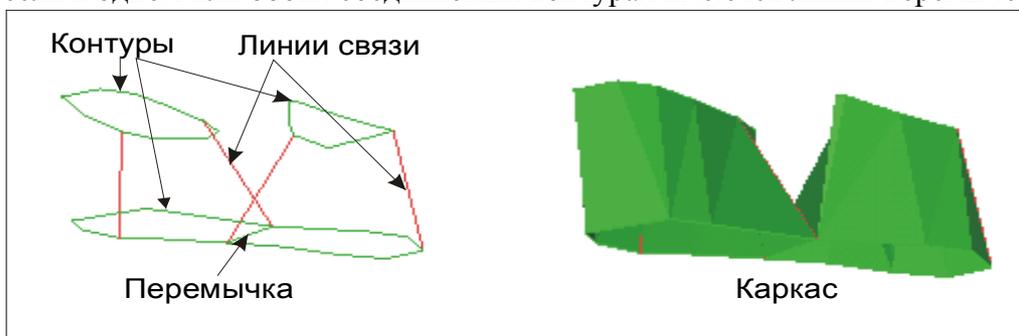


Рисунок 4.2. Моделирование разветвления каркаса.

Схождение нескольких частей рудных тел в одно производится точно также, но в обратном порядке (Рис.4.3)

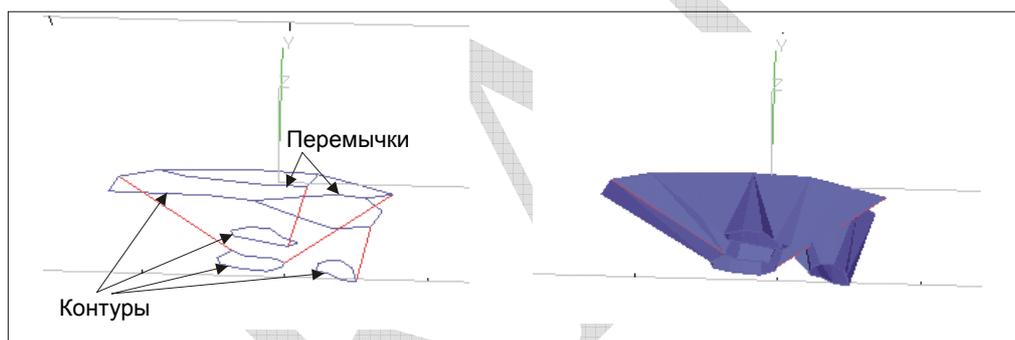


Рисунок 4.3. Моделирование схождения каркаса

Когда не требуется дальнейшего продолжения одной из частей рудного тела, то оно может быть замкнуто каркасной плоскостью по одной из частей каркаса, ограниченной перемычкой. Для этого используется команда «End link boundary»

4.2. Создание выклиниваний рудных тел

Каркасы могут быть замкнуты непосредственно созданием соответствующих поверхностей в конечных контурах. Однако, в геологии принято выклинивать рудные тела до половины расстояния между соседними профилями. Выклинивать можно как отдельные контура, так и их части, разделенные перемычками. Можно ограничить каркас как линией, так и контуром, который впоследствии просто замыкается. На рис. 4.4. показан первый случай, в котором используется команда «Link to Line».

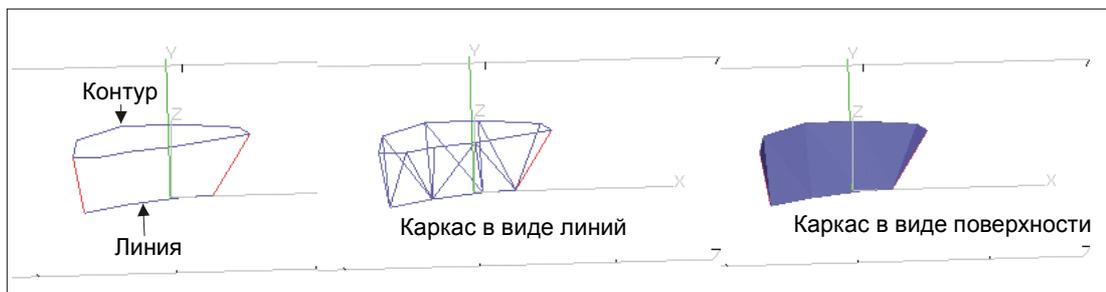


Рисунок 4.4. Выклинивание рудного тела в линию

4.3. «Капризы» программы триангулирования

При работе с контурами сложной формы (особенно с 3-х мерными) нередко происходят ситуации, когда программа отказывается их соединять, «заявляя», что линии связи установлены некорректно. Иногда перенос этих линий позволяет решить проблему. В ряде ситуаций это не удастся. Даже, если предоставить программе «полную свободу», т.е. удалить все линии связи, она в некоторых случаях отказывается работать.

Ниже приводятся некоторые рекомендации по управлению такой ситуацией.

- Проверьте, замкнуты ли у Вас контуры, которые Вы соединяете.
- Попробуйте изменить метод триангуляции. Датамайн предлагает 3 метода (рис.4.5):
 - Пропорциональных расстояний (Proportional Distance)
 - Методом равных углов (Equal Angles Method)
 - Минимизации поверхности (Minimizing Surface Area)
- Проверьте все вершины контура. Возможно, что одна из них имеет «перехлест» или дублирующие друг друга точки. Используйте для устранения этих «явлений» команды «Trim Crossovers» и «Resolve Points»
 - Измените положение каждой из линий связи
 - С помощью команды «Condition String» установите в соединяемых контурах максимальное и минимальное расстояние между точками (например 10 и 0.1 м).
 - Попробуйте соединить контуры по частям. Для этого создайте на обоих контурах соответствующие перемычки и соединяйте контуры по частям.

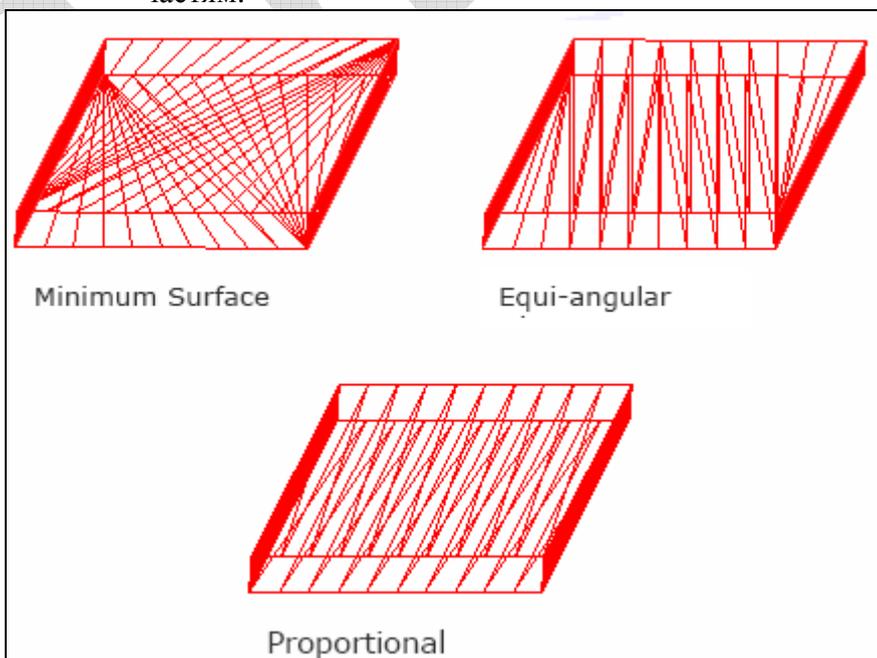


Рисунок 4.4. Методы триангуляции

Иногда контуры получают регулярным разрезанием уже существующих каркасов и превращением сечений в линии. Эти линии часто имеют очень много точек, некоторые из которых близко расположены друг к другу. Иногда встречаются двойные точки и даже перекрестывания. В этих случаях бывает полезным: сократить число точек в линии контура командой «Reduce Points», замкнуть линию, а также использовать процесс Датамайн «СНЕСКИТ» для удаления дублирующих точек.

Если в процессе моделирования будет использоваться зональный контроль (месторождение состоит из нескольких рудных тел, зон и т.п., которые предполагается оценивать отдельно), то в файле треугольников каркаса нужно ввести соответствующие поля (например, ZONE). В дальнейшем, при заполнении каркаса блоками, значение этого поля будет автоматически присваиваться соответствующим частям блочной модели.

4.4. Проверка каркасов и исправление ошибок

После создания и замыкания каркаса необходимо проверить его корректность. Для этого можно использовать команду «Calculate Wireframe Volume» (Рассчитать объем каркаса).

Функция проверки «Verify Wireframe» обращается с объектами в целом. Опция Выбора по Объекту (**By Object**) устанавливается по умолчанию, и для этой функции доступна только она. Опции в диалоге **Verify Wireframe** выполняют следующие функции:

Store surface number - сохраняет рассчитываемый номер поверхности в выбранном поле **SURFACE**, начиная с 1, и увеличивая его на 1 для каждой следующей отдельной поверхности. Существующие номера поверхностей в этом поле будут заменены.

Remove duplicate vertices - удаляет двойные вершины граней (каждая грань wireframe, или треугольник имеет три вершины)

Tolerance – величина допуска, используемая при удалении двойных вершин ребер

Remove duplicate edges - удаляет двойные ребра граней (каждая грань wireframe, или треугольник имеет три ребра)

Remove duplicate faces - удаляет двойные грани, треугольники

Remove empty faces - удаляет пустые грани, треугольники

Опции **Remove ...** имеют способность изменить строение wireframe и поэтому должны использоваться с осторожностью. Проверенная и потенциально измененная wireframe не может быть незакончена. Рекомендуется, чтобы Вы отменили опции **Store ...** и **Remove** и выбрали опции **Check for ... (open edges, shared edges, crossovers – открытые ребра, общие ребра и пересечения)** когда Вы начинаете проверять wireframe. Поэтому Вы должны проверить все сообщения об открытых ребрах, общих ребрах или пересечениях, рассмотрев соответствующие файлы линий в окне Design.

Не волнуйтесь о сообщениях по поводу двойных ребер и вершин на этой стадии. При создании каркасов, состоящих из отдельных зон, соприкасающихся друг с другом, это произойдет неизбежно. Если Вы в данной ситуации выберете функцию удаления двойных ребер и вершин, то Вы потеряете разделение рудного тела на зоны, что будет неверно. Удаление двойных граней не будет воздействовать на последующие процессы, но оно освободит некоторое количество полезной памяти.

Гораздо важнее устранить пересечения каркасов, что позволит избежать ошибок в вычислении объемов и заполнении каркасов ячейками.

Если выбраны только опции проверки, то программа будет отмечать все места с ошибками с помощью дополнительных линий, показываемых на экране и создавать для каждой выбранной опции отдельный объект. По этим линиям можно найти место и характер ошибки, а, следовательно, быстро исправить этот участок каркаса, произведя

сначала удаление ошибочного соединения, а затем, изменив условия, - новое соединение контуров.

Хорошей проверкой является рассматривание на экране срезов всех созданных каркасов, перемещаясь последовательно от одного края модели к другому с шагом 5-10 м. Это делается отключением изображения каркасов и включением изображения их сечений плоскостью изображения (Панель «Format Display»). Желательно просматривать так каркасы не менее чем в 2-х перпендикулярных направлениях. Эта проверка позволяет обнаруживать места незамкнутых и пересекающихся каркасов и достаточно быстро исправлять ошибки.

4.5. Каркасные модели поверхностей.

Кроме замкнутых пространственных объектов система Датамайн позволяет строить каркасы разнообразных поверхностей, которые нужны для моделирования топографии, литологии, гидрогеологии, тектонических нарушений и т.д.

Для создания каркаса поверхности необходим набор 3-х мерных точек или линий (изолиний). Каждая поверхность может иметь внешнюю и внутренние границы, которые могут включаться в каркас или просто использоваться для ограничения распространения операции триангуляции за их пределы. Пример создания простой поверхности показан на рис. 4.5.

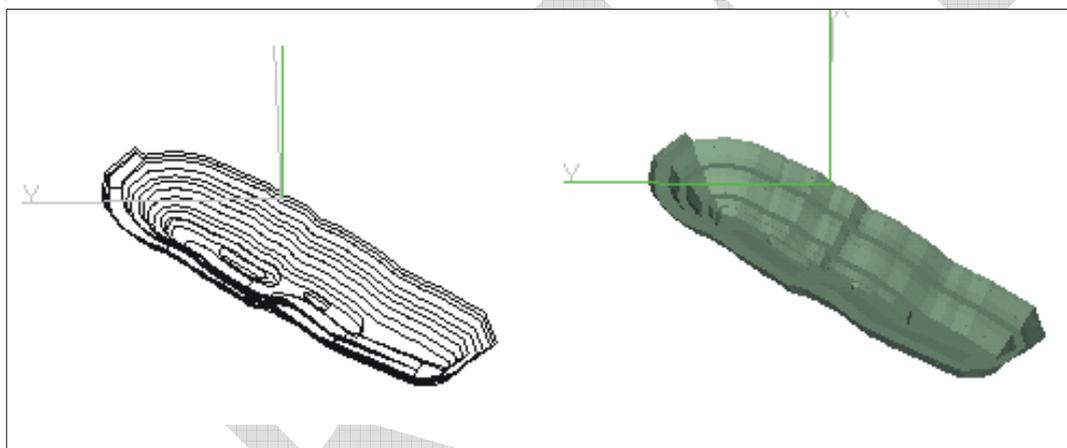


Рисунок 4.5. Пример создания поверхности карьера

При моделировании топографии (как правило, по введенным дигитайзером изолиниям координаты Z) необходимо достаточно точно определить внешнюю границу модели. Если возможно, то следует привязывать ее к конечным точкам изолиний, а затем включать в модель. Можно в некоторых случаях не вводить эту границу, но надо устанавливать максимальное расстояние, при котором точки соединяются в модель (команда «maximum-separation»). В противном случае все граничные точки изолиний будут соединены даже в районах, где не было топографической съемки (рис.4.6).

Проверка созданных моделей заключается в пошаговом просмотре сечений модели или путем оценки качества модели в окне визуализера. Можно также использовать для этого команду «wireframe-verify».

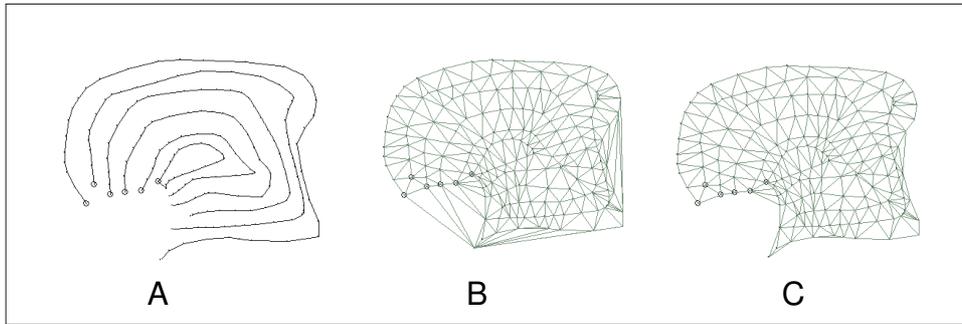


Рисунок 4.6. Создание модели поверхности по участку с отсутствующими данными. В – максимальное расстояние не ограничено. С – введено ограничение 70 м. Внешняя граница не устанавливалась.

Чтобы экстраполировать модель поверхности на заданное расстояние (с использованием тренда) во все стороны, используется процесс **WFTREND**. Иногда это бывает полезно при необходимости несколько увеличить площадь модели тектонической зоны, карьера или пласта до пересечения с моделью топографии.

4.6. Манипуляции с каркасами.

Созданные каркасы можно объединять, отрезать, комбинировать и т.п. В системе Датамайн существует процессы **SELTRI**, **SELWF**, с помощью которых можно выбирать любые данные (точки, линии, пробы, блочные модели), находящиеся сверху/снизу/внутри/снаружи заданной каркасной модели. Этот процесс работает достаточно надежно, если модель каркаса не содержит ошибок.

В Студии 3 имеется большой набор команд, выполняющих манипуляции с каркасами. Основные из них: **Union**, **Intersection** и **Difference** (Рис 4.7 – 4.10).

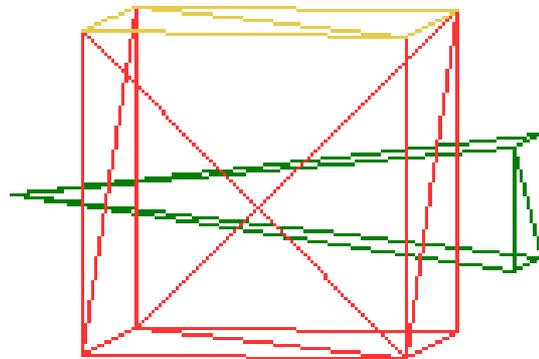


Рисунок 4.7. Начальные Условия : Объект 1: Зеленая пирамида, Объект 2: Красный куб

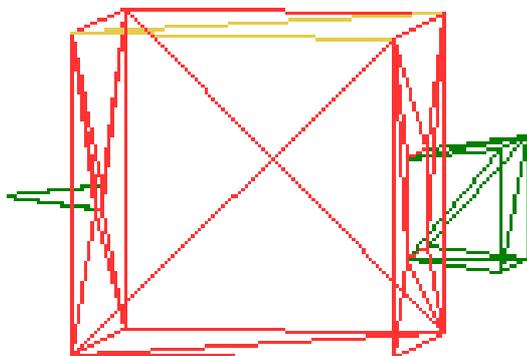


Рисунок 4.8. **Union**: Внешние части Объектов 1 и 2 объединяются в единственный объект .



Рисунок 4.9. **Difference**: Часть объема Объекта 1 внутри Объекта 2 удаляется из него.

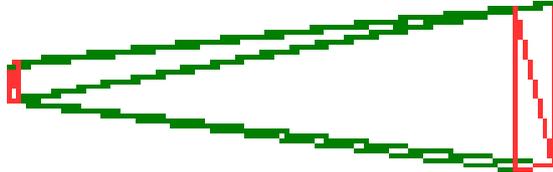


Рисунок 4.10. **Intersection**: Общая часть объемов Объектов 1 и 2.

Команда **Extract Separate** разделяет два объекта на все возможные составляющие части, по линиям пересечения (рис.4.11). В данном примере мы получим 6 отдельных объектов.

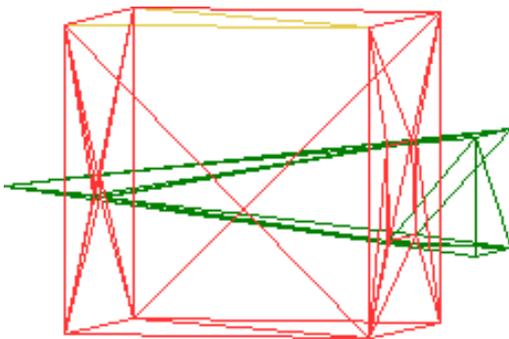


Рис. 4.11. Команда **Extract Separate**

Команда **Strings From Intersections** создает линии там, где грани двух объектов пересекаются. Атрибуты линий копируются от Объекта 1.

Некоторые каркасы имеют много перекрывающихся поверхностей. Команда **Solid Hull** пытается создать единственную оболочку вокруг поверхностей, применяя прогрессивное объединение подобъектов, сформированных каждой поверхностью.

Студия 3 имеет намного больше путей определения плоскости, чем предыдущие версии. Эти плоскости могут использоваться, чтобы взаимодействовать с каркасом с помощью **"Plane Operations"**.

Плоскость экрана окна Проекта - плоскость по умолчанию, но она может быть переустановлена использованием кнопки "Use View Plane".

Плоскость может быть определена как:

- Горизонтальная,
- Север-Юг
- Восток - Запад , или
- Азимутом и Наклоном.

Каждая из них требует "Контрольной точки Плоскости", чтобы установить ее в нужном месте. Например, ввод значения координаты Z установит горизонтальную плоскость.

Грань каркаса может также быть выбрана как плоскость использованием кнопки **"Pick Face"**. По умолчанию контрольной точкой будет выбранная точка.

Команды создания "Множественных" плоскостей имеют опцию "**Inter-plane Distance**", которая создает параллельные плоскости на заданном расстоянии.

Операция **Split** разделяет каркас по плоскости или по параллельным плоскостям.

Операция **Section** создает линии и/или грани там, где объект был разрезан плоскостью.

Проецирование DTM на плоскость будет проецировать на нее границу DTM, чтобы создать замкнутый каркас (рис. 4.12).

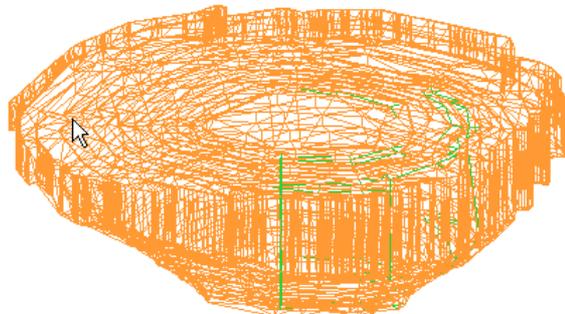


Рисунок 4.12. Создание замкнутой модели карьера

Команда **Translate** переместит каркас на указанное расстояние в указанных направлениях.

Команда **Rotate** будет вращать выбранный каркас на указанный угол вокруг указанных осей.

5. Выбор проб для интерполяции по блочной модели

Интерполяция содержаний по блочной модели производится только с участием тех проб, которые находятся внутри созданного каркаса рудной зоны, тела и т.п. Поэтому очень важно своевременно с помощью визуализера контролировать процесс создания каркаса, т.е. проверять, насколько полно вошли в него кондиционные пробы, которые были включены в рудные контуры при их создании. «Выпадение» проб за пределы каркаса часто происходит при работе с плоскими контурами, которые строятся по пробам, спроецированным на рабочую плоскость сечения (рис.5.1).

Для выбора кондиционных проб, попадающих внутрь каркаса используются процессы **SELTRI** и **SELWF**. Они работают достаточно надежно, если каркасы не имеют ошибок. Желательно устанавливать при запуске этих процессов ключевое поле для зонального контроля (например, **ZONE**). Значение этого поля будут перенесены на соответствующие подмножества проб.

Особенно внимательным следует быть при включении в каркас бороздовых проб поверхности, которые часто по той или иной причине «вылетают» из каркаса рудного тела при «обрезке» его модели моделью топографии поверхности.

Когда модель ограничивают средней отметкой подземного горизонта, то из нее «убираются» кондиционные пробы, фактически расположенные чуть ниже (или выше) этой отметки.

Для того, чтобы включить выпавшие пробы в модель, необходимо или создать промежуточные, дополнительные сечения, или несколько раздвинуть существующие контуры, чтобы новый вариант каркаса включал в себя все пробы. Часто для этого применяется следующий способ.

- файл проб процессами **SELTRI** или **SELWF** разделяется на внутренний (внутри каркаса) и внешний (за пределами каркаса)
- Полю **ORE** присваиваются значения: 1 – для руды (для всех проб внутреннего файла), 0 – для породы (для всех проб внешнего файла).
- Из внешнего файла выбираются кондиционные пробы и рассматриваются на экране совместно с каркасом, используя файл определения сечений и визуализер.

- Если проба находится близко к каркасу, то выясняется возможная причина ее «непопадания» в каркас (ошибка каркаса, особенности соединения в каркас плоских контуров и т.п.).
- Если при интерпретации предполагалось включение этой пробы в границы рудного тела, то ей присваивается значение поля **ORE = 1**.
- Таким образом рассматриваются все (или большинство) кондиционных проб.
- Затем с помощью фильтрации по полю **ORE** выбираются «новые» рудные пробы, которые объединяются с внутренним файлом. Этот файл после композирования будет в дальнейшем использован для интерполяции содержаний по блочной модели.
- Проверяется количество кондиционных проб в «новых» внутреннем и внешнем файлах. Ситуация считается приемлемой, если во внешнем файле таких проб будет не больше 10 – 15% от общего их количества.

Иногда возникает сомнение в правомерности использования внешних кондиционных проб в интерполяции содержаний. Однако, надо помнить следующее.

- За счет тех же самых (описанных выше) особенностей каркасного моделирования внутрь каркаса попадает некоторое количество «пустых» проб, которые при интерпретации были оставлены геологом за пределами контуров. Эти пробы остаются во внутреннем файле и будут компенсировать влияние внешних богатых проб на результаты оценки блоков модели.
- Общий тоннаж руды даже в случае применения плоских контуров остается близким к реальному.

Для того, чтобы гарантированно вместить в каркас пробы поверхности (канавы, траншеи, врезы и т.д.) часто идут по пути завышения отметок каркаса в его верхней части. Это позволяет с некоторым запасом включить в него все бороздовые пробы траншей и канав, чтобы они участвовали в интерполяции. Блочная модель не нуждается в такой псевдокорректировке, поэтому она будет точно соответствовать рельефу поверхности. Если потребуется, каркас рудного тела также может быть в дальнейшем «обрезан» моделью топографии.

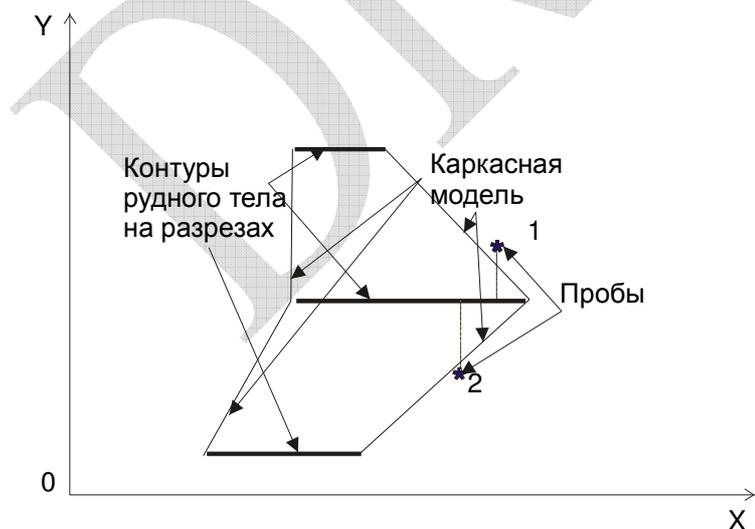


Рисунок 5.1. Схема, объясняющая исключение проб 1 и 2 из каркасной модели при создании плоских контуров.

Что касается бороздовых проб подземных выработок, то здесь надо просто быть внимательным при установлении границ каркасов, и контролировать этот процесс с помощью визуализера.

6. Статистика

Следующий этап моделирования – статистическая обработка только что созданного массива рудных проб, чтобы получить представление об его основных свойствах. Для того, чтобы результаты были корректными, необходимо предварительно привести пробы к одинаковой длине – т.е. **композировать**. В противном случае существует опасность получить смещенное среднее выборки.

Эта операция выполняется процессом Датамайн **COMPDH**. Прежде всего выбирается длина композирования, к которой будут приведены все пробы в Вашем файле опробования. Чаще всего эту длину находят как среднюю длину реальных рудных проб. Остальные параметры процесса можно выбирать по умолчанию.

ВНИМАНИЕ. При композировании и объединении частей смежных проб в одну все числовые поля (кроме числового поля **VNID**) пересчитываются. Поэтому, если Вы кодировали какие-то характеристики руды/породы, зоны, рудные тела фиксированными числовыми кодами, то после композирования Вы не сможете нормально выполнять фильтрацию полученных данных по этим полям. Также невозможно впоследствии интерполировать эти характеристики по блочной модели методом ближайшей пробы. Вы получите нереальные значения в блоках. Алфавитно-цифровые поля также не переносятся в файл композированных проб.

Поэтому некоторые эксперты используют композированный массив проб только для статистических вычислений. Все дальнейшие расчеты делаются с массивом некомпозированных проб. Если большинство рудных проб массива имеет более или менее постоянную длину, то такая стратегия вполне оправдана.

Следующим шагом будет анализ полученного массива на наличие в нем «ураганных» проб. Эту операцию (см. раздел 2) надо повторить для каждой зоны, рудного тела и т.п. месторождения. После обоснования границ «ураганов» следует создать новый файл композитов, где пробы с экстремальными содержаниями будут «урезаны» до установленных границ. Это позволит в будущем оценить влияние «урезания ураганных проб» на результаты оценки ресурсов месторождения.

Первый статистический расчет – определение основных статистик выбранных множеств проб. Желательно иметь под рукой результаты расчетов по всему массиву проб (до урезания и после), а также по:

- каждому рудному телу
- каждому типу руды
- каждому виду опробования

В системе Датамайн эту работу выполняет процесс **STATS**, на выходе из которого Вы получаете следующую таблицу (для каждого заданного поля):

FILE: c:\database\voronts\modgkz\hol2b.dm VARIABLE (Переменная) :AU

TOTAL NUMBER OF RECORDS (Число записей)	29739
NUMBER OF SAMPLES (Число проб)	29662
NUMBER OF MISSING VALUES (Число отсутствующих величин)	77
NUMBER OF VALUES > TRACE (Число величин, больших чем следы)	29085
MAXIMUM (Максимум)	39.0000
MINIMUM (Минимум)	0.0000
RANGE (Разброс значений)	39.0000
TOTAL (Сумма всех величин)	147258.5900
MEAN (Среднее)	4.9646
VARIANCE (Дисперсия)	46.49
STANDARD DEVIATION (Стандартное отклонение)	6.819
STANDARD ERROR (Стандартная ошибка)	0.3959E-01

SKEWNESS	(Асимметрия)	2.668
KURTOSIS	(Экссесс)	8.247
GEOMETRIC MEAN	(Геометрическое среднее)	2.3258
SUM OF LOGS	(Сумма логарифмов)	24549.9508
MEAN OF LOGS	(Среднее логарифмов)	0.8441
LOGARITHMIC VARIANCE	(Логарифмическая дисперсия)	1.7803
LOG ESTIMATE OF MEAN	(Логарифмическое среднее)	5.6644

Кстати, эти таблицы помогают выявить еще не обнаруженные ошибки массивов проб. Если диапазон значений исследуемой величины выходит из разумных пределов, то надо установить причину этого явления. Поэтому полезно «пропускать» через этот процесс также и рассчитанные координаты проб.

Рекомендуется рассчитывать также показатель *коэффициента вариации*, который равен отношению стандартного отклонения и среднего значения массива. Если в урезанном от ураганов файле этот параметр превышает 2, то массив содержит качественно отличающиеся популяции, поэтому использование для интерполяции широко распространенного Обычного Кригинга здесь будет некорректным. В данном случае наиболее подходящий метод – Индикаторный кригинг, который рассматривает отдельно каждую выделенную часть ранжированного по возрастанию массива данных опробования.

Иногда бывает уместным рассчитывать непараметрические статистические показатели. Для этого используется процесс STATNP. На выходе из него получается следующая таблица:

VARIABLE (Переменная) AU		

TOTAL NUMBER OF RECORDS	(Число записей)	56044
NUMBER OF SAMPLES	(Число проб)	56044
NUMBER OF MISSING VALUES	(Число отсутствующих величин)	0
MAXIMUM	(Максимум)	593.7000
MINIMUM	(Минимум)	0.0000
RANGE	(Разброс значений)	593.7000
MID-RANGE	(Середина разброса)	296.8500
MEDIAN	(Медиана)	1.1000
MEDIAN DEVIATION	(Отклонение медианы)	3.1225
10TH PERCENTILE	(10% перцентиль)	0.1000
90TH PERCENTILE	(90% перцентиль)	9.2000

Следующий шаг – анализ распределений исследуемых величин, и прежде всего – содержаний полезных компонентов в руде. Это делается с помощью процесса построения гистограмм HISTOG и процесса подбора законов распределения HISFIT. Гистограммы удобнее строить в программе Excel для экспортированного туда выходного файла программы HISTOG (рис. 6.1). Второй процесс (HISFIT) помогает распознать неоднородные массивы данных, состоящие из 2-х и более генетически разнородных множеств, которые желательно обрабатывать и рассматривать раздельно (рис. 6.2).

Кумулятивные распределения величин данных или их логарифмов полезны для проверки предположений о законе распределения (нормальном или lognormal). Эти распределения также используются для проверки наличия нескольких популяций данных. Если график имеет резкие переходы, указывающие на отдельные популяции в области высоких содержаний (что часто бывает в золотых месторождениях), то эти значения часто урезаются (что снижает коэффициент вариации), чтобы уменьшить эффект, который они оказывают на переоценку ресурсов.

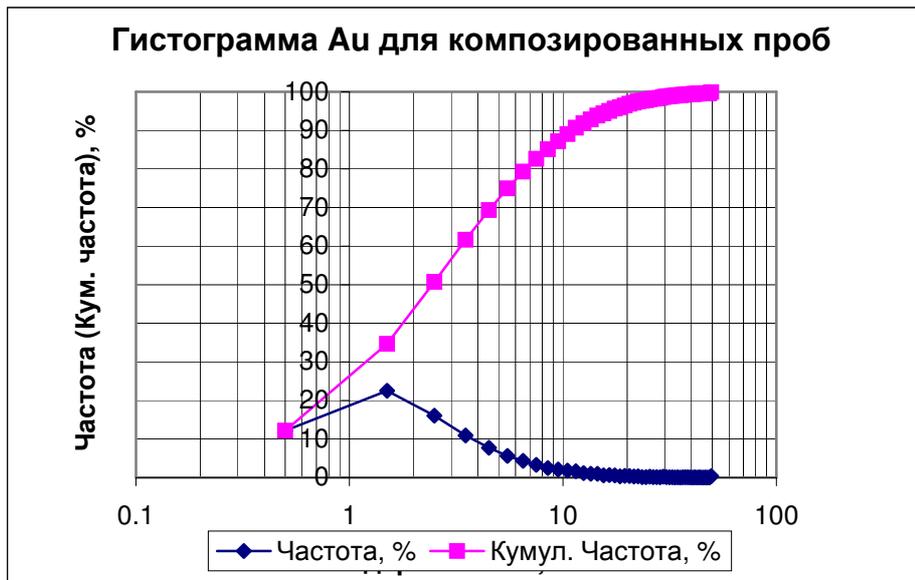


Рисунок 6.1 Гистограмма (логарифмическая) содержания золота в пробах, выполненная в программе Excel

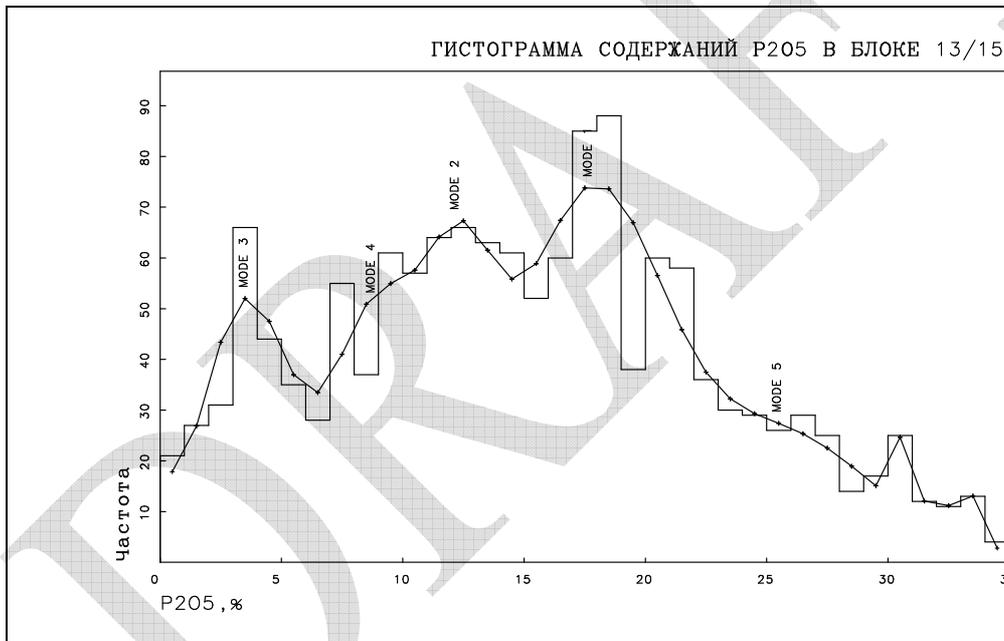


Рисунок 6.2. Многовершинное нормальное распределение

Если Ваши пробы исследованы на содержание нескольких компонентов, или разными способами, то бывает полезным выполнить для них корреляционный анализ с помощью процесса CORREL. На выходе Вы получите корреляционную матрицу:

CORRELATION MATRIX

```

=====
AG      AU      CD      CU      PB      ZN
AG      1.0000
AU      0.5939 1.0000
CD      0.4938 0.3787 1.0000
CU      0.5103 0.3804 0.5851 1.0000
PB      0.5580 0.3989 0.5725 0.7267 1.0000
ZN      0.5394 0.4050 0.7452 0.7338 0.8440 1.0000,
    
```

которая позволит Вам оценить степень корреляции между разными полезными компонентами и другими характеристиками руды. Например, в приведенном выше случае мы имеем хорошие корреляционные связи между цинком, кадмием, медью и свинцом.

Получив такую информацию, мы можем исследовать характер этой связи с помощью регрессионного анализа. Эту операцию также лучше делать в Excel или другом специализированном статистическом пакете. В системе Датамайн для этого предназначен процесс POLREG.

Например, если мы импортируем в Excel содержания свинца и цинка, то можем легко получить диаграмму разброса, а также кривую регрессии требуемого типа полинома (рис. 6.3). Кроме полиномиальной функции Вы сможете воспользоваться здесь и некоторыми другими: показательной, экспоненциальной, логарифмической и т.д.

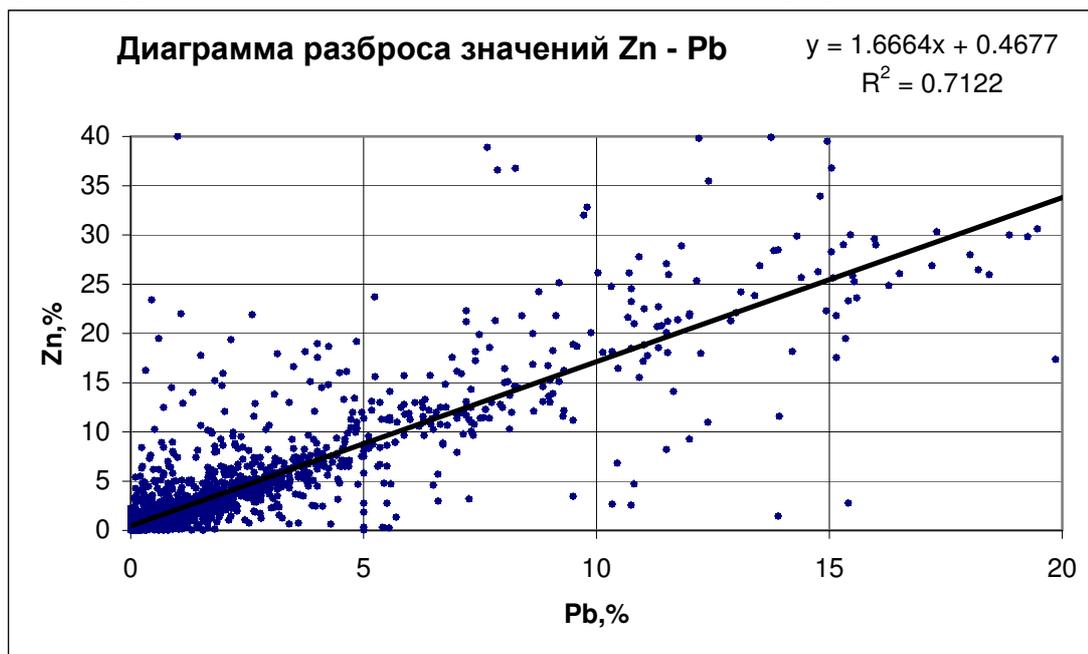


Рисунок 6.3. Пример диаграммы разброса и линии регрессии (линейной), выполненной в Excel.

В данном случае выбрана линейная регрессия, уравнение и степень достоверности которой показаны в правом верхнем углу рисунка. Диаграмма разброса иногда дает сигнал проверить корректность экстремальных значений, не укладывающихся в общий ряд.

При анализе результатов геохимического опробования часто используются многомерный анализ данных, имеющийся в Датамайн. Система предлагает Вам следующие виды такого анализа:

- Множественный автокорреляционный анализ
- Канонический анализ
- Кластерный анализ
- Кросскорреляционный анализ
- Дискриминантный анализ
- Дискриминантная классификация
- Факторный анализ
- Множественный дисперсионный анализ
- Анализ главных компонент
- Нелинейное отображение

7. Декластеризация данных опробования

Очень часто наиболее представительные (богатые) части рудных тел разведываются более подробно для того, чтобы повысить вероятность сделанных оценок и выводов. Если такой массив информации непосредственно использовать для интерполяции содержаний, то мы, скорее всего, столкнемся со смещением оценки среднего содержания, т.к. влияние более тесно опробованных зон будет преобладающим по сравнению с недостаточно разведанными флангами месторождения.

В системе Датамайн имеется процесс DECLUST, который осуществляет декластеризацию данных перед использованием их в интерполяции содержаний. На входе в него задается следующая информация:

- Исходный файл опробования
- Метод декластеризации:
 - Случайный выбор пробы внутри заданной ячейки сетки (каждый раз новый выбор)
 - Псевдослучайный выбор проб внутри ячейки сетки (всегда повторяется)
 - Выбирается ближайшая к центру ячейки сетки проба
 - Используется среднее проб внутри ячейки сетки
- Размеры сети для 3-х осей координат
- Координаты начальной точки декластеризации

На рис. 7.1. показаны результаты декластеризации массива проб программой DECLUST по сетке 10*10 м.

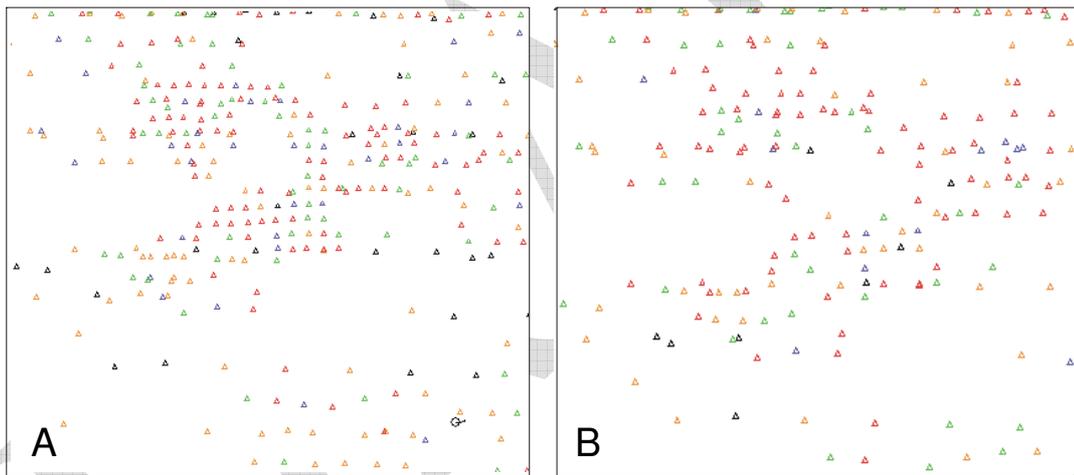


Рисунок 7.1. размещение проб на участке: А – до декластеризации, В – после нее, при выборе ближайшей пробы к центру ячейки сетки

Можно использовать процесс DECLUST для определения подходящего размера сетки для декластеризации, и затем вычислить среднее, дисперсию и гистограмму (рис. 7.2) для разных вариантов разреженных данных. Это позволит выбрать такой вариант сетки, которая дает минимальное значение среднего. Считается, что этот вариант будет оптимальным для декластеризации (рис. 7.3).

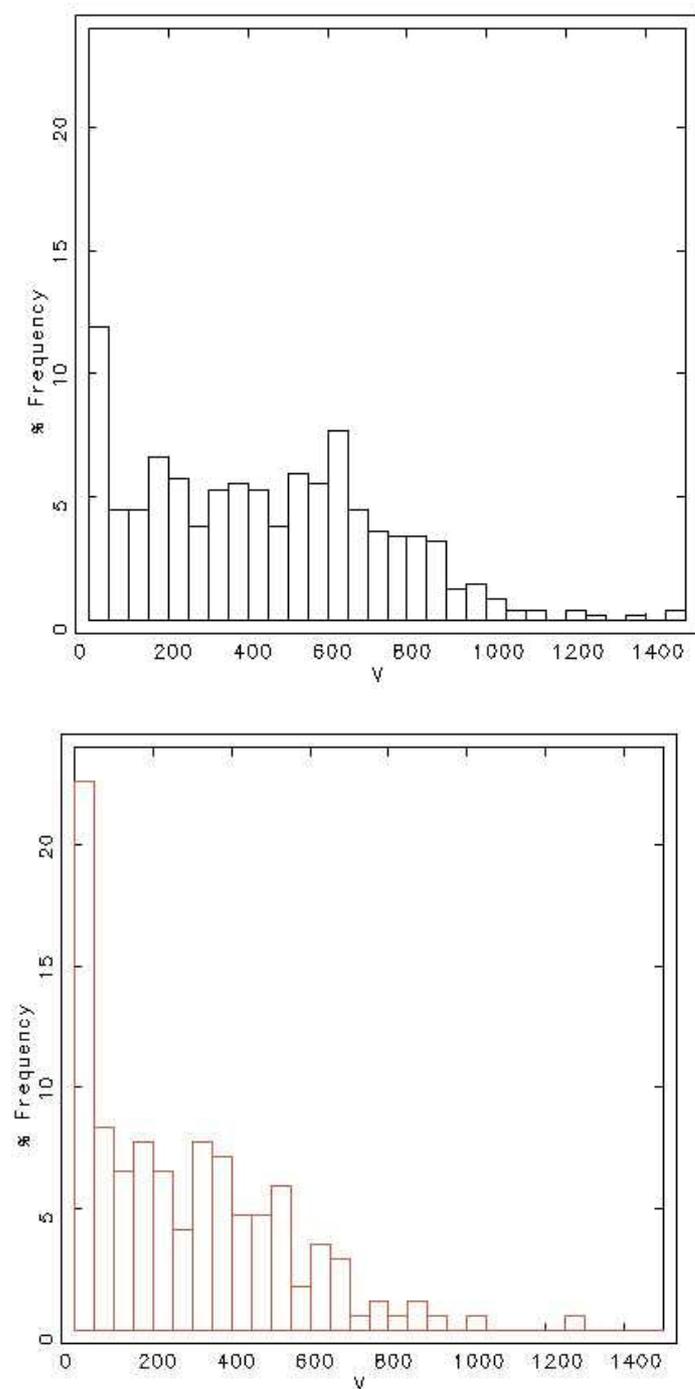


Рис. 7.2. Результаты декластеризации:верху - Сырые данные. (Среднее = 436, Дисперсия = 89910), внизу – Случайные пробы по сетке 22*22 м. (Среднее = 284, Дисперсия = 60800)

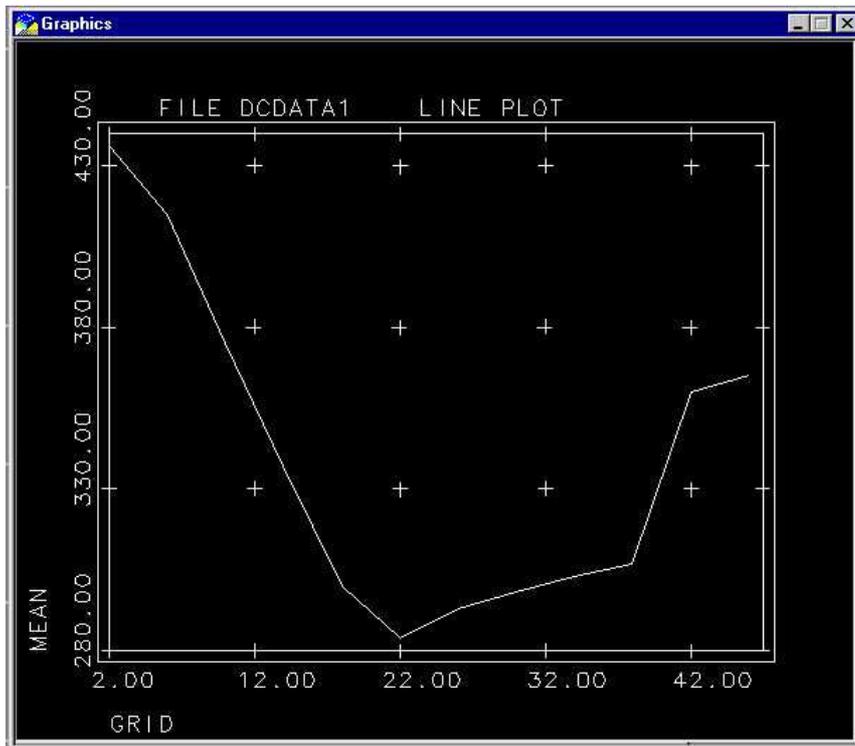


Рис. 7.3. График зависимости между размером сетки (Ось X) и средним значением V (Ось Y) для различных размеров сети X и Y

В разделе 16 будет приведен другой возможный способ декластеризации данных опробования. Он предусматривает использование пространственных секторов при поиске проб для оценки блоков. Оценка будет выполнена только в том случае, если в каждом таком секторе будет находиться не менее заданного числа проб.

8. Построение экспериментальных вариограмм (краткая теория и практика)

Основной инструмент геостатистики - *вариограмма*, используется для определения пространственной корреляции между произвольно размещенными реальными данными наблюдений. В большинстве случаев вариограмма является «зеркальным отражением» ковариационной функции и определяется как разность значений дисперсии и ковариации для данного интервала расстояний (рис.8.1). Вариограмма должна максимально соответствовать истинной структуре изменчивости объекта. Как только экспериментальная вариограмма будет описана математической функцией, эта модель может быть использована для оценки неизвестных значений исследуемого параметра в любой точке данного пространства.

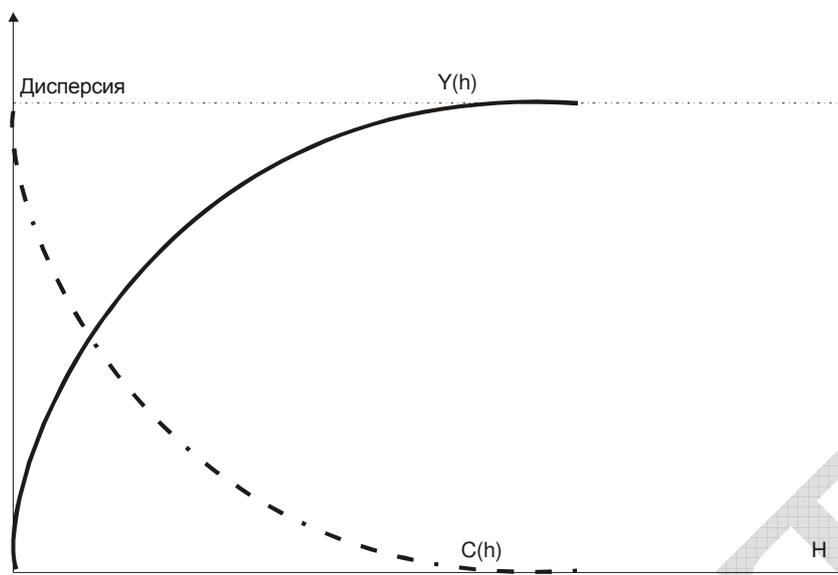


Рисунок 8.1. Вариограмма начинается с нуля и возрастает до значения порога (дисперсии массива данных), а пространственная ковариационная функция начинается от величины дисперсии и уменьшается до нуля.

Вариограмма измеряет степень корреляционной связи между пробами в пространстве. Она обычно характеризуется 3-мя главными параметрами (рис. 8.9, 8.10).

- **Эффект самородка (Nugget Effect – C_0)** – это случайная составляющая дисперсии проб, которая измеряет насколько велико различие содержаний в очень близко расположенных образцах. Величина ЭС зависит от сети опробования месторождения и степени его изменчивости. Название этого параметра пришло к нам из оценки месторождений золота, где часто встречаются непредсказуемые «ураганные» содержания металла в пробах.

- **Порог вариограммы (Sill - C)** – это обычно величина дисперсии проб. Когда вариограмма достигает порога, она часто выполаживается, т.е. больше не растет.

- **Зона влияния (Range – A)** это максимальное расстояние, на котором между пробами еще существует корреляция. На меньших расстояниях мы (с определенной долей вероятности) можем предсказать содержание в точке массива по данным опробования, на больших дистанциях – не имеем права этого делать. Вариограмма достигает порога на расстоянии, равном зоне влияния.

Руководства по геостатистике иногда создают обманчивое впечатление простоты построения экспериментальных вариограмм и подбора моделей. На самом деле уверенность в полученных результатах появляется лишь после многократных манипуляций с исходными данными, тщательного сопоставления вариограммы с геологическим описанием месторождения, предварительных "опытных" расчетов кригинга и сверки полученных результатов с фактическими данными. Этот этап работы носит скорее исследовательский характер, и от него главным образом зависят точность, надежность и достоверность всех последующих расчетов с использованием вариограмм.

Стадии процесса создания вариограммной модели исследуемого объекта:

- анализ, контроль и группировка исходной информации;
- оценка анизотропии массива месторождения
- построение экспериментальных вариограмм;
- исследование полученных графиков на наличие различных эффектов;
- создание пространственной модели вариограммы.

Ниже все эти стадии рассматриваются более подробно.

8.1. Анализ, контроль и группировка исходной информации

После того, как данные собраны и введены в компьютер, они должны быть тщательно проверены, чтобы убедиться в их корректности и полноте. Это означает, что все выявленные ошибки в данных или в координатах должны быть исправлены, а для каждого выделенного массива вычислены основные статистические показатели. Но что более важно, геостатистики должны детально ознакомиться с имеющейся исходной геологической информацией и проблемами, которые будут решаться на ее основе. Наиболее серьезные ошибки геостатистических исследований появляются потому, что эксперт не до конца понимает суть проблемы или не обратил внимания на некоторые из существенных ее свойств. На первом этапе исследования важно найти геолога или инженера, которые принимали участие в разведке месторождения, и узнать:

- какие виды опробования использовались,
- какое количество проб было отобрано, какие типы анализа проводились и в каких лабораториях,
- были ли изменения в процедурах опробования во время изучения месторождения. Например, не привлекались ли в разные периоды другие буровые компании (геологоразведочные организации)? Не изменялся ли тип каротажного (геофизического) оборудования?
- является ли исследуемая область геологически однородной, или содержит крупные тектонические нарушения,
- были ли предпочтительно (с большей частотой) опробованы области с высокими содержаниями.

Если любой из этих факторов не был выяснен в начале изучения, то скорее всего работу придется повторить, когда это откроется. Следует иметь в виду, что во многих странах мира эксперты, проводящие такие исследования, лично отвечают за любые ошибки и оплошности в своей работе.

Прежде всего, должна быть принята серия решений, которые позволяют в целом правильно начать исследование. Во-первых, должны быть определены переменные (показатели качества руды, массива и т.д.) и геологические зоны для изучения. Затем геостатистики должны ответить на следующие вопросы:

- Стационарны ли исследуемые переменные?
- Являются ли они аддитивными?
- Что является основанием данных?
- Работать ли с самими переменными или с их производными значениями?
- Проводить ли изучение в двухмерном пространстве или трехмерном?

Большинство реальных геологических объектов **не являются стационарными**, для которых среднее и дисперсия в любом месте являются постоянными величинами, т.е. формально там не может быть использована линейная статистика. Однако, геостатистическая теория нашла выход из этой ситуации, используя гипотезу стационарности приращений (внутреннюю гипотезу), согласно которой стационарность соблюдается не по отношению к абсолютным характеристикам массива, а к их приращениям. Например, можно говорить, что в любом месте сравнительно однородной части месторождения разница в содержании металла между пробами, находящимися друг от друга на одинаковом расстоянии, сохраняется постоянной.

Основание. Геостатистический термин "основание" относится к размеру и форме объема, который характеризуется единичной пробой. Скважины кернового бурения и добываемые при отработке месторождения блоки имеют довольно отличающийся вес и объем (килограммы в сравнении с сотнями тонн руды). Поэтому, хотя средние содержания могут быть одинаковы, их дисперсии всегда будут разными. Пробы из

скважин кернового и ударного бурения могут иметь одинаковый диаметр, но их статистические характеристики могут существенно отличаться.

Аддитивность и аккумуляции. Почти во всех применениях геостатистики изучаемые переменные должны стремиться к аддитивности. Это значит что, среднее для всей исследуемой зоны должно быть равно среднему арифметическому всех значений содержаний внутри нее. Это возможно только в случае, когда размеры и форма имеющихся проб примерно одинаковы.

Среднеарифметическое значение содержаний проб разных размеров даст совершенно ложную оценку истинного содержания в оцениваемом массиве. Следовательно, чтобы в этом случае рассчитать содержание, необходимо использовать значение мощности пласта (длины проб), т.е. определить «линейный запас». Это преобразование называется **аккумуляцией**.

Геостатистики обычно проводят изучение по аккумуляции («линейному запасу») и мощности, а затем делают обратное преобразование кригинговых оценок путем деления «линейного запаса» на оценку мощности. Кроме того, когда плотность руды на участке неодинакова, то будет благоразумно использовать в исследованиях результаты двойной аккумуляции: содержание*мощность*плотность и мощность*плотность.

Работа в двухмерном или трехмерном пространстве. Все месторождения можно разделить на две категории в зависимости от их геометрии и метода добычи. Первая категория включает относительно тонкие залежи, такие как угольные пласты или золоторудные жилы, а вторая - более мощные, массивные залежи, которые разбиваются для добычи на выемочные блоки постоянной высоты. В первом случае при добыче извлекается вся минерализованная мощность пласта (жилы), поэтому здесь нет разделения по вертикали. Следовательно, изучение здесь производится в двухмерном измерении с использованием аккумуляции, а не значений содержаний. Во втором случае, горные блоки имеют постоянную высоту, содержание в них является аддитивным и, поэтому геостатистическое изучение проводится в трехмерном пространстве по величинам содержания, с использованием информации вышележащего и нижележащего горизонтов.

В идеальном случае все исследуемое множество проб принадлежит одному сравнительно однородному участку массива (без тектонических нарушений), имеет нормальный закон распределения и представляет собой результат одного этапа исследования месторождения, полученный по одной методике. В этих условиях экспериментальные вариограммы правильно отражают структуру изменчивости залежи и могут быть использованы для моделирования.

Однако такие случаи очень редки на практике. Чаще приходится иметь дело с неоднородными массивами данных, наличием экстремальных (слишком больших или слишком малых) значений проб, что приводит к ошибочным эффектам на экспериментальной вариограмме.

Следовательно, предварительной и обязательной стадией геостатистического исследования месторождения является контроль, сортировка и при необходимости преобразование исходной информации.

Неоднородные массивы исходных данных получаются тогда, когда смешиваются результаты опробования различных геологических зон, а также сведения, полученные в разное время по разным методикам.

При формировании групп исходной информации необходимо следить за тем, чтобы совместно обрабатывались только пробы одной зоны, рудного тела, типа руды и т.п.

Однако, это не всегда обязательно. Критерием такого подхода является существенное отличие типов и сортов руд разных зон, что может быть установлено с помощью анализа гистограмм. При смешении качественно различных массивов данных гистограммы обычно имеют более одной вершины или значительное отклонение от нормального распределения.

Аналогично следует поступать и в том случае, когда опробование сырья велось в разные периоды времени по неидентичным методикам. Всегда полезней обрабатывать совместно только те данные, которые сопоставимы в пространстве и времени получения, лишь в этом случае исследователь может быть уверен в надежности полученных результатов.

Таким образом, первым и обязательным этапом обработки исходной информации является построение гистограмм и проверка их на законы распределения. Наличие на графике более одной вершины и значительное отклонение от нормальности свидетельствует о низкой корректности первичных массивов. Необходимо обнаружить и устранить ее причины.. Логнормальное распределение часто говорит о пропорциональном эффекте.

Вторым и очень серьезным источником ошибок является нестационарность исходных данных, которая связана с наличием тренда или экстремальных величин данных, которые даже в небольшом количестве способны оказывать серьезное влияние на характер вариограммы.

8.2. Вариограмма

Когда геолог досконально разберется с массивом исходной информации и проведет его композирование, можно начинать расчет экспериментальных функций. Экспериментальную вариограмму обычно вычисляют, используя следующую формулу:

$$\gamma^* = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (8.1)$$

где x_i – местоположение проб, $Z(x_i)$ – их значения и $N(h)$ – количество пар проб ($x_i, x_i + h$), разделенных расстоянием h .

Эту формулу очень легко использовать, когда пробы регулярно расположены в одномерном пространстве, например, вниз по скважине, вдоль подземной выработки или сейсмического профиля.

Для 2-х мерного и 3-х мерного случаев процедура расчета реализуется следующим образом. На первом шаге для каждой точки (пробы) программа подбирает все возможные пары с остальными точками и классифицирует их по установленным классам расстояний и направлений. Затем для каждой пары вычисляется квадрат разности $(Z(x_i) - Z(x_i + h))^2$, и результат добавляется к сумме соответствующего класса. Количество пар в классе также увеличивается на 1. Когда для точки x_i все возможные пары будут обработаны, программа перейдет к следующей точке. В конце процесса итоговые суммы делятся на удвоенное количество пар, которые были выбраны для данного класса.

Практически все современные компьютерные горные системы предлагают набор программ для расчета вариограмм, которые могут в одном запуске определить требуемые функции для всех содержащихся в исходном массиве параметров и их комбинаций в любом направлении в пространстве или для любого множества направлений. Кроме того, могут быть рассчитаны логарифмические функции, индикаторные вариограммы (используемые в индикаторном кригинге), кросс-вариограммы для статистически связанных параметров и т.д.

Для расчета вариограмм и кроссвариограмм в системе Датамайн используется процесс **VGRAM**, который имеет следующие возможности.

- Можно одновременно рассчитывать вариограммы для 24 разных переменных, содержащихся в массиве опробования, или 24 индикаторные вариограммы для одной переменной.

- Автоматический расчет значений индикаторов на основе заданных бортов.
- Можно использовать ключевые поля, т.е. рассчитывать отдельные вариограммы для разных типов руд и пород, только для скважин и т.д. и т.п.
- Осуществляется оптимизация поиска проб в заданной окрестности для ускорения расчетов.
- Одновременно рассчитываются нормальная, относительная и логнормальная вариограммы, а также ковариационная функция.
- Одновременно рассчитываются функции для многих направлений.
- Координатная система может быть повернута для облегчения выбора нужных направлений.
- Для маленьких расстояний может быть использован уменьшенные значения интервала расстояний.
- Могут быть использованы углы регуляризации, цилиндрический радиус и т.п.
- В выходном файле кроме самих функций для каждого поля приводятся величины среднего, логарифмического среднего, дисперсии и логарифмической дисперсии,

Способы задания направлений для расчета вариограмм

Обычный путь задания множества направлений – установить азимут (AZI) и вертикальный угол (DIP), а также размеры и количество приращений одного и другого углов. После этого будет произведен расчет вариограмм для каждой комбинации AZI и DIP. Например, если AZI и DIP установлены равными 0, горизонтальное приращение – 45, а вертикальное – 30, то программа рассчитает вариограммы для пар направлений: 0/0 , 0/30 , 0/60 , 0/90 , 45/0 , 45/30 , 315/90.

Хотя такой способ дает возможность расчета функций для множества разных направлений, но он не позволяет заранее ориентировать систему координат в направлениях главных осей анизотропии. Например, если главная структура массива имеет угол падения 25° в направлении с азимутом 35° , то будет полезным рассчитать вариограммы для плоскости падения. Это может быть сделано с помощью поворота системы координат на заданные углы вокруг определенных координатных осей. Можно выполнить до 3-х таких поворотов и развернуть систему практически в любое положение в пространстве, которое Вы наметили.

После поворота базовое направление для расчета вариограммы будет соответствовать новому положению оси Y. Если Вы зададите приращения AZI и DIP, то они будут отсчитываться от этого базового направления. Ориентация каждой вариограммы будет записываться в выходном файле в 2-х вариантах: в мировой и в повернутой системе координат.

Вариограммы рассчитываются для направлений, которые задаются шестью параметрами:

- **AZI** - азимут
- **DIP** - вертикальный угол, отсчитываемый от плоскости XY
- **HORINC** - шаг приращения угла по горизонтали
- **VERINC** - шаг приращения угла по вертикали
- **NUMHOR** - количество приращений по горизонтали
- **NUMVER** - количество приращений по вертикали

Если Вы задали $DIP = 90^{\circ}$, то это будет вертикальное (вниз) направление. В этом случае азимут задавать не надо, а в выходном файле он по умолчанию будет установлен равным 0. Параметры **HORANG** и **VERANG** задают углы регуляризации по горизонтали и вертикали, которые определяют вершинный угол пространственного конуса для данного

AZI и DIP. В расчетах будут участвовать все пары проб, попадающих в этот конус (рис.8.2).

Кроме вариограмм по направлениям рассчитывается изотропная вариограмма для всех имеющихся пар проб. В этом расчете в учет берется только расстояние между пробами. В выходном файле для такой вариограммы AZI и DIP установлены равными «-».

Ключевые поля.

Если определено ключевое поле (**KEY** field), то вариограммы будут рассчитаны для каждого значения этого поля, имеющегося в файле проб. Сортировка файла по этому полю не обязательна. Имеется несколько разновидностей использования ключевых полей, которые выбираются параметром **KEYMETH**:

- 1 – расчет с использованием только проб, принадлежащих к данному значению ключевого поля
- 2 - расчет с использованием только проб, принадлежащих к различным значениям ключевого поля
- 3 – расчет обеих вариограмм

Интервал расстояния

В программе есть 3 параметра: **LAG** (интервал), **LAGTOL** (допуск) и **NLAGS** (число интервалов), которые определяют параметры расстояний между пробами. Кроме основных интервалов, для анализа функций на малых расстояниях устанавливается параметр **NSUBLAG**, который задает число уменьшенных дистанций, на которое будет разделен первый основной интервал. Допуск используется при выборе пар проб. Он должен иметь величину между 0 и половиной интервала. По умолчанию используется половина интервала. Если используются уменьшенные дистанции (параметр **NSUBLAG**), то для них допуск устанавливается равным **LAGTOL/NSUBLAG**.

Ограничивающий цилиндр

Кроме вертикального и горизонтального углов регуляризации пользователь может установить ограничение на поиск пар проб в виде пространственного цилиндра с радиусом **CYLRAD**. Его ось проходит по заданному направлению, в котором рассчитывается вариограмма. Этот цилиндр ограничивает выбор проб на больших расстояниях, когда конус углов регуляризации становится очень широким (рис. 8.2). При оценке значения вариограммы для основной пробы 1 будут учтены только пробы 3 и 4. Проба 2 выходит за пределы пирамиды, а проба 5 выходит из заданного цилиндра. По умолчанию это ограничение не используется, и **CYLRAD** = 0.

Поля содержаний (до 24) могут быть введены, как **F1** , **F2** , ... **F24**. Программа начинает работать, когда введено хотя бы одно поле (**F1**) .

Если надо рассчитать **кроссвариограммы** для более чем 2-х указанных полей, то используется параметр **CROSSVAR**. К сожалению, использование ко-кригинга, в котором применяются кроссвариограммы, в системе Датамайн пока не предусмотрено

Вариограммы по пластам

Если месторождение стратифицировано, то часто бывает полезным расчет вариограмм отдельно по каждому пласту, а затем - определение средней функции. Основная плоскость определена как XY, но с помощью разворота координат можно анализировать любую плоскость в пространстве. Пласты определяются 2-мя параметрами:

- **SPACING** - Мощность одного пласта (слоя) в направлении, перпендикулярном повернутой плоскости XY
- **LAYMETH** - Метод расчета вариограмм по пластам: 0 – расчет по пластам не делается, 1 – вычисляется только средняя для всех пластов вариограмма, 2 – рассчитываются все виды вариограмм. Поле LAYER включается в выходной файл.

Этот расчет не может быть выполнен для заданных ключевых полей. Все заданные установки по вертикали (кроме параметра **VERANG**) – игнорируются.

Индикаторные вариограммы

Индикаторные вариограммы рассчитываются только для одного поля (**F1**) и множества значений бортовых содержаний. Если содержание больше борта, то в учет берется величина (индикатор) - 1, в другом случае – 0. Если смежные значения бортов отличаются на одинаковую величину, то эти борта могут быть определены 3-мя параметрами:

- **INDSTEP** - шаг расчета бортов
- **INDMIN** - минимальный борт
- **INDNUM** - число бортов

Эти параметры могут также быть заданы в файле **CUTOFF**. Если заданы и файл и параметры, то используется файл. Для расчета может использоваться 2 индикаторных метода. Первый – описан выше, а второй – метод вложенных индикаторов. В этом методе проба отбрасывается после использования. Метод имеет 2 разновидности расчета: Снизу – вверх и наоборот.

Выходной файл вариограмм.

Выходной файл результатов расчета содержит следующую информацию:

- **GRADE** - поле содержаний, первое – для кроссвариограмм
- **GRADE2** - второе поле содержаний для кроссвариограмм
- **CUTOFF** - борт для индикаторных вариограмм
- **KEY** - ключевое поле
- **KEYMETH** - используемый метод выбора проб в ключевых полях
- **LAYER** - номер пласта
- **AZI** - азимут в повернутой системе координат
- **DIP** - вертикальный угол в повернутой системе координат
- **WAZI** - азимут в не повернутой системе координат
- **WDIP** - вертикальный угол в не повернутой системе координат
- **LAG** - номер лага
- **AVE.DIST** - среднее расстояние интервала
- **NO.PAIRS** - число пар проб, используемых в расчета
- **COVAR** - значение ковариационной функции
- **VGRAM** - значение вариограммы или кроссвариограммы
- **PWRVGRAM** - значение относительной вариограммы
- **LOGVGRAM** - значение логарифмической вариограммы
- **NSAMPLES** - количество проб, используемых в расчете
- **AVGRADE** - среднее значение содержаний (или индикаторов) для первого поля
- **AVGRADE2** - то же для второго поля (кроссвариограмма)
- **VRGRADE** - дисперсия (ковариация для кроссвариограммы) для поля содержаний

- AVLGRADE - среднее значение логарифмов содержаний (или индикаторов) для первого поля
- AVLGRAD2 - то же для второго поля (кроссвариограмма)
- VRLGRADE - дисперсия (ковариация для кроссвариограммы) для поля логарифмов содержаний
- ANGLEn - углы поворота системы координат (1-3)
- AXISn - оси, вокруг которых делается поворот (1-X, 2-Y, 3-Z)

Время расчета зависит от количества проб во входном файле. Это время.

можно уменьшить, задавая меньшее количество лагов, т.е. сократить максимальное расстояние между пробами.

8.3. Рекомендации по расчету экспериментальных вариограмм

Вариограммный анализ обычно начинается с расчета изотропной вариограммы, когда не учитываются какие-нибудь отдельные направления, а принимается во внимание только параметр h . Полученная функция не дает информации о вариограммах по направлениям, и может использоваться главным образом для уточнения параметров расстояний, чтобы наиболее правильно задавать их в расчетах функций по направлениям. Обычно на это уходит несколько попыток построения изотропной вариограммы.

Кроме того, на изотропной вариограмме яснее различимы структуры изменчивости массива, которые часто трудно различить на вариограммах по направлениям, т.к. они рассчитываются по значительно меньшему количеству пар проб. Если даже изотропная вариограмма не показывает четкой структуры, то в большинстве случаев безнадежно ожидать этого от детальных функций по направлениям, и следует вернуться к этапу анализа исходных данных.

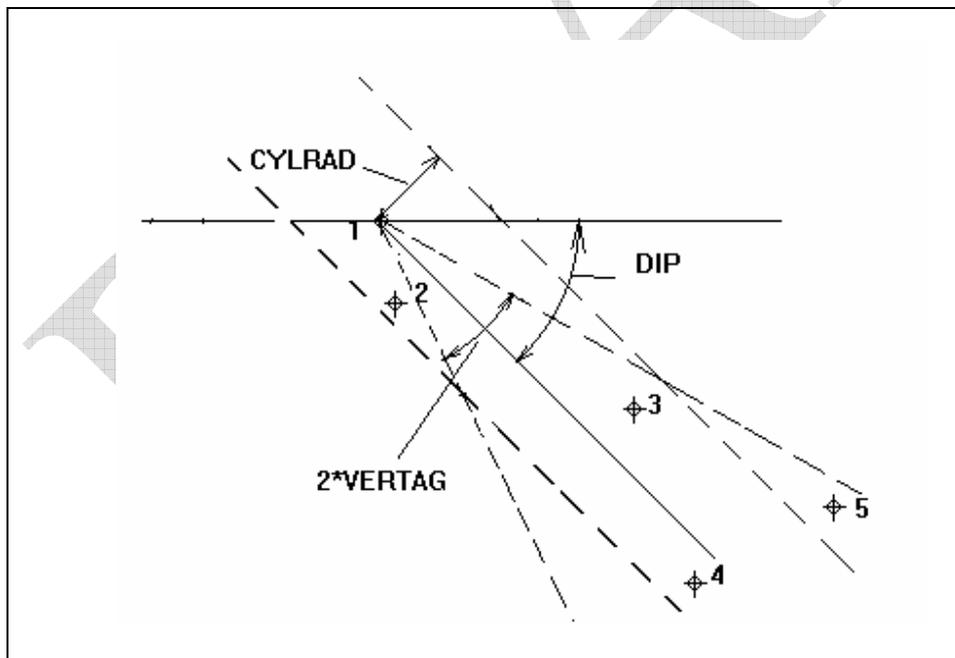


Рисунок 8.2. Пример, показывающий принцип выбора пар проб в программе VGRAM.

Многие месторождения далеки от стационарности, при которой математическое ожидание и дисперсия сохраняют для разных блоков и участков относительное постоянство. Следовательно, для большинства практических случаев характерно наличие пропорционального эффекта и квазилогнормального распределения.

Обычным выходом в этой ситуации является использование логарифмических вариограмм и, следовательно, - логнормального кригинга, который в ряде случаев дает некорректные и труднообъяснимые результаты.

Альтернативой данному подходу (если установлено наличие пропорционального эффекта) является использование **относительных** вариограмм, которые позволяют учитывать при расчетах экспериментальных функций среднее значение используемых проб, или точнее "взвешивать" полученные оценки вариограммы по величине местного среднего значения проб.

Есть 3 типа относительных вариограмм, часто используемых для получения более чистых структур пространственной изменчивости: Местная, Общая и Попарная относительные вариограммы.

Общая относительная вариограмма взвешивает дисперсию по среднему значению переменной для всего оцениваемого месторождения. Опыт исследователей показывает, что такой тип вариограммы завышает оценки дисперсий по сравнению с реальными. Поэтому при ее использовании следует проверять корректность расчетов на каждом этапе.

Местная относительная вариограмма учитывает в расчетах локальное среднее, поэтому корректность ее несколько выше.

В системе ДАТАМАЙН рассчитывается только третий вид относительной вариограммы, где взвешивается по своему среднему значению каждая пара проб

Различие между обычной и относительной вариограммами заключается в знаменателе, который позволяет устранить влияние очень больших значений проб на расчеты моментов инерции.

Логарифмическая вариограмма обычно выглядит лучше, чем относительная, и к ней легче подобрать модель. Однако, часто безопаснее использовать относительную вариограмму из-за возможных "сюрпризов" логнормального кригинга (см. раздел 12).

После того, как получены "хорошие" изотропные вариограммы, можно приступить к анализу анизотропии исследуемого массива – его структурному анализу. В большинстве случаев исследователь, изучив геологические материалы по месторождению, имеет хотя бы самые общие представления о расположении главных осей его анизотропии. Нет особых трудностей, например, определить анизотропию жильного и осадочного (пластового) месторождения. Некоторые предположения также можно сделать, рассматривая поуступные карты изолиний показателей качества.

В системе Датамайн имеется скрипт **Variogram Contours**, который позволяет строить круговые изолинии значений вариограмм и тем самым определять главные оси анизотропии массива в разных плоскостях (см. раздел 9).

Если читатель не может предположить главных направлений анизотропии геологического тела, то следует попробовать рассчитать вариограммы для всей полусферы, разделив ее на пространственные пирамиды (конусы, сектора) с углом при вершине 20-40 градусов. После этого, для определения основных структур следует поочередно рассматривать взаимно-перпендикулярные вариограммы. Надо иметь в виду, что этот процесс носит интерактивный характер, и требуется обычно несколько попыток для получения удовлетворительных результатов.

Допуск лага по умолчанию составляет 1/2 от величины лага, т.е. в данном случае для выбора проб используется все возможное пространство. При регулярной сети проб и направлениях, параллельных сети, иногда целесообразно задавать меньшую величину этого параметра. При этом можно получить более ясную вариограмму, хотя часть пар проб не будет использована в расчете.

Правильный выбор величины лага позволяет часто получать более плавную функцию, рис. 8.3.

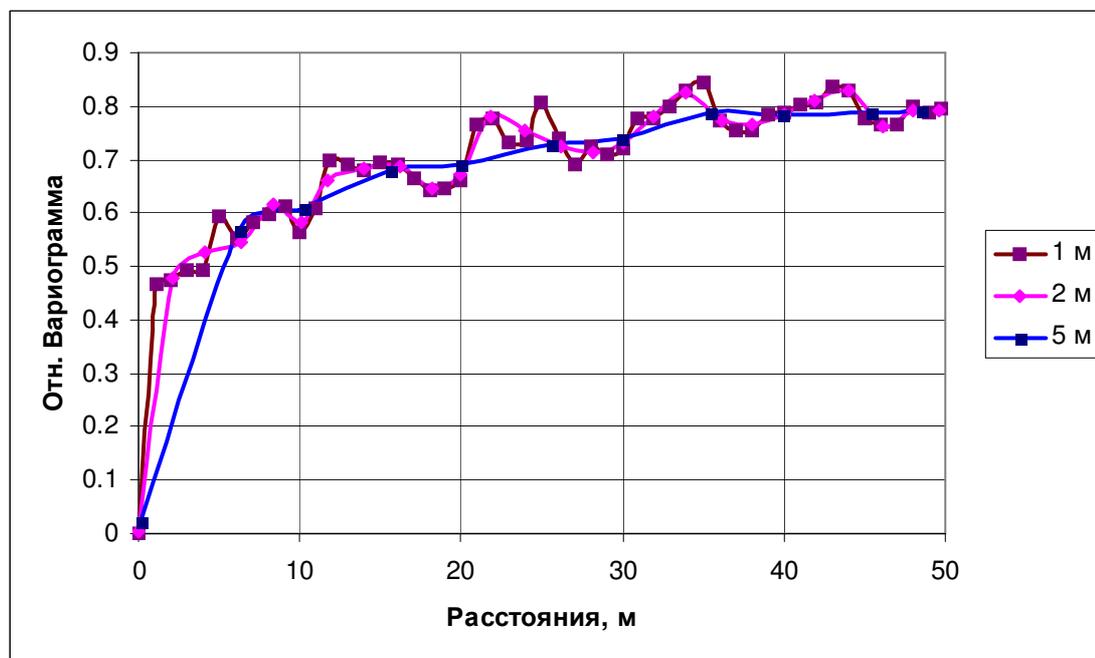


Рисунок 8.3. Влияние размера лага на характер изотропной вариограммы Ag для золоторудного месторождения

Каждая полученная вариограмма требует (по возможности) глубокого анализа и сопоставления с геологическими данными. Следует иметь в виду, что ПРЕДЕЛЬНОЕ РАССТОЯНИЕ, НА КОТОРОМ МОЖНО СЧИТАТЬ ВАРИОГРАММУ НАДЕЖНОЙ, НЕ ПРЕВЫШАЕТ ПОЛОВИНЫ МАКСИМАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПРОБАМИ В РАССМАТРИВАЕМОМ НАПРАВЛЕНИИ.

Существует два способа отображения вариограмм:

- стандартный способ, показанный выше, когда изображается линия графика среднего квадрата разности относительно расстояния, или
- в виде облака всех точек квадратов разностей относительно расстояний - «вариограммное облако».

Преимущество стандартного изображения функции заключается в синтезе всей информации для каждого класса расстояния в одну точку, но в этом случае теряются детали. Иногда эти детали могут помочь специалисту лучше понять поведение вариограмм и избавиться от явно нереальных ситуаций.

8.4. Исследование экспериментальных вариограмм

На практике, экспериментальные вариограммы часто имеют намного более эрратическую форму, чем примеры, представленные в книгах и журнальных статьях. Так как причины возможных проблем чрезвычайно многочисленны и разнообразны, то невозможно представить здесь их все.

Расчет нужного количества вариограмм при некотором навыке обычно затруднений не вызывает. Все трудности начинаются тогда, когда исследователь уже имеет набор функций для выбранных им направлений в пространстве.

Исследовательский этап обычно состоит из 2-х стадий. Сначала необходимо определить степень анизотропии массива, для чего полезно сопоставить на одном чертеже вариограммы для основных направлений анизотропии (Рис.8.4).

Как правило, эти вариограммы отличаются только величиной зоны влияния проб. Для точной оценки анизотропии важно установить направления, в которых Зона максимальная и минимальная, и согласовать эти выводы с геологическими данными.

На следующем шаге надо сопоставить результаты расчета вариограмм для одинаковых направлений, полученные по разным (несовместимым) наборам исходных данных, например данных кернового бурения разведочных скважин и результатов геофизического опробования буровзрывных скважин. Если хорошей "стыковки" этих вариограмм не получается, то причины следует искать в области геологии. Полезно перед таким сопоставлением привести обе вариограммы к точечному виду (см.ниже). Если в результате анализа данных по месторождению выявляется зависимость между средним значением того или иного геологического признака и его дисперсией, то это часто является признаком **пропорционального эффекта**, для устранения влияния которого на результаты требуется специальная корректировка вариограммной модели.

Самый легкий способ установить наличие пропорционального эффекта - совместить вариограммы одного направления для различных участков, блоков, горизонтов и т.д. Если пороги и эффекты самородков этих вариограмм отличаются, то можно подозревать наличие указанного эффекта. О нем также часто свидетельствует и логнормальный закон распределения рассматриваемой переменной.

Для учета пропорционального эффекта в вариограммной модели необходимо выполнить следующее:

- построить график зависимости дисперсии (стандартного отклонения) от средних значений для проб отдельных участков, блоков, горизонтов и т.п.;
- методом наименьших квадратов (регрессионным анализом) установить вид зависимости "дисперсия = $f(\text{среднее})$ ";
- выражение " $f(\text{среднее})/C$ " (где C - средний по месторождению порог вариограммы) подставить сомножителем в модель вариограммы для использования в дальнейших расчетах.

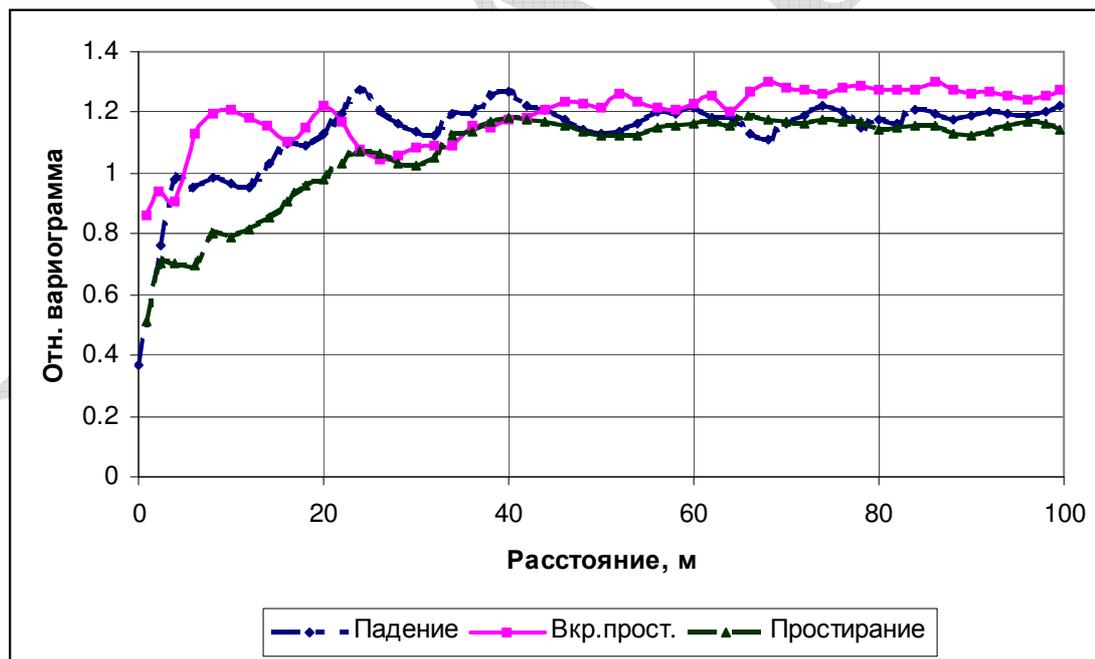


Рисунок 8.4. Вариограммы Zn для 3-х взаимно перпендикулярных направлений главных структур массива месторождения

Эффект включений (рис. 8.5) иногда появляется на экспериментальных вариограммах, особенно при анализе осадочных месторождений. Во многих случаях он свидетельствует о зональности, т.е. о периодическом чередовании богатых и бедных зон. Обычно этот эффект характеризуется относительной амплитудой, которая определяется отношением максимального значения вариограммы (на гребне) к ее порогу, а также расстоянием, при котором достигается максимальное значение.

Тренд (глобальный или локальный) – это распространенное явление на большинстве месторождений. О существовании тренда, который следует учитывать в оценочных расчетах, свидетельствует характер экспериментальной вариограммы, а именно - параболическое возрастание функции до величины, значительно превышающей порог. Если наличие тренда установлено, то его влияние на оценку должно быть устранено или для оценки должен использоваться универсальный кригинг.

Один из способов оценки запасов при наличии тренда - это аппроксимация "поверхности тренда" полиномиальной функцией и расчет отклонений анализируемого показателя массива проб от этой "поверхности". После этого рассчитывается экспериментальная вариограмма для "остатков", к ней подбирается пространственная модель, а затем проводится интерполяция значений "остатков" методом обычного кригинга. На завершающем этапе полученные оценки "остатков" складываются со значениями "поверхности" тренда в заданных точках.

Если вариограмма представляет собой **чистый эффект самородков**, т.е. - практически прямую линию без пологого участка, то применение геостатистики в данном случае бессмысленно, т.к. между пробами отсутствует корреляционная связь. К определению этого эффекта при моделировании вариограмм следует подходить особенно осторожно, т.к. он больше чем другие параметры влияет на точность кригинга и других геостатистических методов.

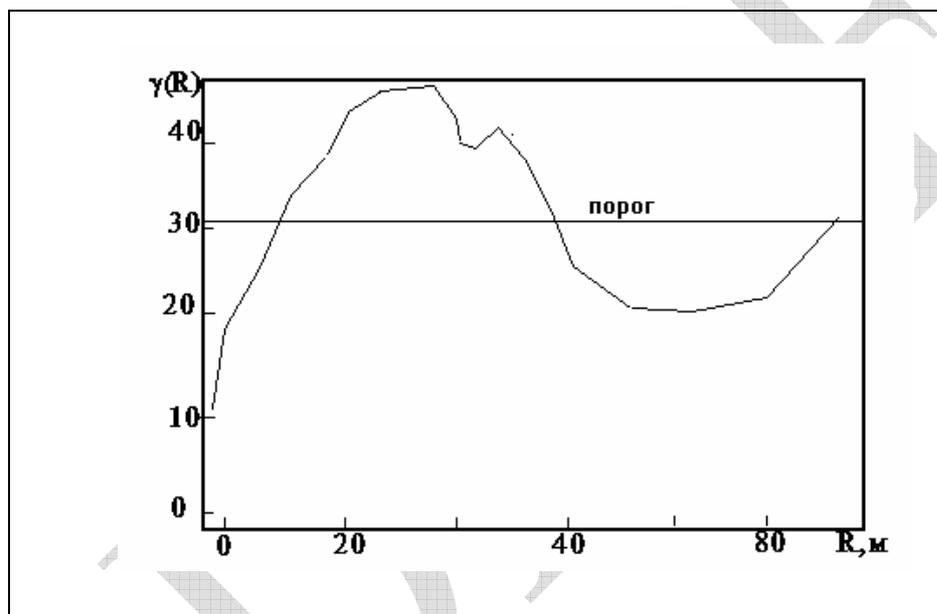


Рисунок 8.5. Эффект включений на вариограмме.

При расчетах экспериментальных вариограмм присутствие в массиве данных даже одного выброса (ошибки данных или «ураганного» содержания) может привести к высоко эрратической вариограмме. Первым шагом в поиске причины должно быть построение гистограмм, на которых экстремальные значения обычно хорошо видны. После исключения этих проб из массива данных характер вариограммы, как правило, нормализуется.

Однако, в других случаях (например, при сильно асимметричном распределении содержания золота или урана) нелегко найти хороший способ оценивания вариограммы. Пробы с высоким содержанием обычно встречаются совместно с бедными пробами и не размещаются в отдельных зонах. Более важным является то, что обычно решение о разработке месторождения принимается по богатым пробами. В этом случае удаление выбросов или уменьшение их содержаний до произвольно установленных величин не является хорошим решением.

В практике также часты ситуации, когда значениям переменных необоснованно присваивается либо значение 0 (при отсутствии данных), либо другой малой величины, которая при логарифмировании выдает нереальные вариограммы.

Эти ошибки элементарные и каждый эксперт, наверное, уверен, что он не будет делать таких ошибок, но опыт показывает, что они более распространены, чем большинство из нас допускает. Поэтому единственный путь их устранения – это аккуратное исследование данных. Будет абсолютно бесполезно применять "надежные" методы расчета вариограмм для данных, имеющих ошибки и неточности. К счастью, компьютерные технологии теперь позволяют нам работать со многими окнами на экране. Поэтому возможно одновременно отображать несколько графиков (таких как карта размещения данных, гистограмма и вариограмма), чтобы легче найти причину эрратического поведения.

9. Оценка анизотропии массива месторождения

В системе Датамайн имеется скрипт **Variogram Contours**, который помогает определить основные оси анизотропии исследуемых массивов. Он рассчитывает для рассматриваемых участков массива круговые диаграммы, на которых можно идентифицировать направление основных структур залежи.

Для этого сначала необходимо рассчитать секторные вариограммы в горизонтальной плоскости, например, через 30 градусов в пределах азимута: 0-180 градусов. Таким образом, будет оценено все пространство в горизонтальной плоскости. Затем нужно рассчитать круговые вариограммы и рассмотреть их в виде изолиний на экране или чертеже (рис. 9.1). Полученная круговая картина позволит судить о направлении основной структуры массива в горизонтальной плоскости.



Рисунок 9.1. Пример круговой вариограммы для золоторудного месторождения. А – в горизонтальной плоскости, В – в вертикальной плоскости вдоль линии на левом чертеже. Линиями показаны направления главной структуры массива: $AZI=325^{\circ}$, $DIP=40^{\circ}$.

Далее необходимо измерить азимут направления, в котором изменчивость содержаний минимальна, развернуть систему координат параллельно ему и снова рассчитать множество вариограмм, но уже в вертикальной плоскости. На соответствующем чертеже можно определить вертикальный угол падения основной структуры массива (рис. 9.1). Теперь мы знаем, в каких направлениях следует рассчитывать основные вариограммы для данного содержания. Одно из них (падение) характеризуется полученным азимутом (на горизонтальной плоскости) и вертикальным углом (в вертикальной плоскости). Второе и третье направления (простираение и вкрест

простираются) будут размещаться перпендикулярно ему в вертикальной и наклонной плоскостях.

10. Подбор моделей вариограмм. Виды моделей

10.1. Введение

Экспериментальная вариограмма может быть непосредственно использована для решения геологоразведочных задач, однако, такое ее применение весьма ограничено условиями, для которых она действительна. Из-за дискретности геологических наблюдений рассчитанная единственная реализация вариограммы соответствует только тому ограниченному набору исходных данных, который точно соответствует объему выборочной совокупности и взаимному расположению точек измерения геологической переменной в пространстве.

В практике решения геостатистических задач обычно необходима информация о значениях вариограммы для любых (в т.ч. - заранее неизвестных) расстояний между этими точками, независимо от того, соизмеримы они каким-либо образом с шагом разведочной сети (или опробования) или нет. По этой причине дискретная экспериментальная вариограмма должна быть аппроксимирована некоторой непрерывной функцией, которая может быть вычислена для любого необходимого значения аргумента.

Многолетний опыт подсказывает, что аналитическая форма модели не так важна, как ее главные свойства. Расположим их в порядке уменьшения важности (см. рис. 10.3):

- эффект самородка (нарушение непрерывности функции в начале),
- наклон линии в начале,
- зона влияния,
- порог,
- анизотропия.

Поведение вариограммы в начале (эффект самородка и наклон) играет критическую роль в подборе модели вариограммы; оно также имеет огромное значение для результатов кригинга и стабильности его системы уравнений. Наклон можно оценить по первым трем - четырем значениям вариограммы; эффект самородка - экстраполяцией кривой в начало системы координат. Первое значение вариограммы для надежности вычисляется по возможно большему количеству пар точек. Бурение дополнительных скважин на небольших расстояниях может помочь получить лучшее значение эффекта самородка. Иногда для оценки C_0 используют эффект самородка вариограммы, рассчитанной вниз по скважинам, т.к. там расстояние между пробами реально приближается к 0.

Зону влияния обычно можно оценить визуально. Порог характеризуется значением, где вариограмма стабилизируется (становится горизонтальной). Для стационарных переменных порог совпадает с общей дисперсией проб, но иногда это не верно, так как в исходных данных присутствуют тренды большой протяженности. Если имеется более одной зоны влияния (несколько структур), то вспомогательные зоны можно различить визуально в местах, где вариограмма меняет кривизну. Моделирование анизотропии требует большего опыта. В общем, хорошую модель можно получить как сумму двух или трех единичных моделей. Использование большего числа моделей для суммирования повышает стоимость последующих вычислений, поэтому необходимо избегать этого. Подгонка обычно делается интерактивно с использованием какого-нибудь графического редактора.

Специалисты часто спрашивают, почему не рекомендуется использовать метод наименьших квадратов или другие автоматические регрессионные методы для подгонки модели вариограммы. Существует три причины для этого.

- Во-первых, модель должна быть положительно определенной (иначе говоря, дисперсия не должна становиться отрицательной). Многочлены, получаемые с помощью метода наименьших квадратов, редко удовлетворяют этим условиям.
- Во-вторых, метод наименьших квадратов предполагает, что точки проб являются независимыми наблюдениями, что не справедливо для экспериментальной вариограммы.
- В-третьих, поведение вариограммы около начала (т.е. для расстояния меньшего, чем первый лаг) обычно неизвестно, и естественно, что метод наименьших квадратов не может его предсказать. Требуется опыт и рассудительность.

Первую проблему можно решить подбором только положительно определенной модели, но это не разрешает остальные две проблемы.

10.2. Основные типы моделей вариограмм

Если мы хотим гарантировать, чтобы дисперсия любой линейной комбинации никогда не стала отрицательной, мы можем использовать в качестве моделей для вариограмм или ковариаций только определенные функции.

Полученная модель должна быть по построению положительно определенной или, по крайней мере, условно отрицательно определенной в пространстве, в котором она была построена. Очень непросто найти функции, которые обладают всеми требуемыми свойствами или произвести соответствующую проверку функций, поэтому лучше выбрать модель вариограммы из списка подходящих, чем создавать новую. Перечень основных типов моделей дан ниже. Они могут быть добавлены для получения других допустимых моделей, потому что это будет эквивалентно сложению независимых случайных функций, но вычитание их невозможно. Нельзя также объединять их частями. Здесь мы имеем в виду, что вы не можете выбрать одну модель для одного интервала расстояний, затем - другую – для следующего.

В геостатистике известно несколько функций, которые используются для аппроксимации экспериментальных вариограмм в качестве их моделей.

Наибольшее распространение на практике получили следующие виды функций.

Модель эффекта самородка соответствует чисто случайному явлению (белый шум) между некоррелированными значениями, независимо от расстояния между ними.

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ C, & |h| > 0 \end{cases} \quad (10.1)$$

Сферическая, с помощью которой может быть описано большинство экспериментальных функций:

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= C_0 + C_1 \left(\frac{1.5h}{A} - \frac{0.5h^3}{A^3} \right) && \text{при } h \leq A \\ \gamma(h) &= C_0 + C_1 = C && \text{при } h > A \\ \gamma(0) &= 0, \end{aligned} \quad (10.2)$$

где: A - зона влияния, м;
C₀ - эффект самородков;
C=C₀+C₁ - порог вариограммы.

Эта модель имеет линейное поведение в начале координат и порог (C), обычно равный дисперсии исследуемого массива проб. Возрастая, функция достигает порога на расстоянии h = A, а при h > A остается равной C. Касательная, проведенная к этой функции от начала координат, пересекает линию порога на расстоянии h = 2A/3 от начала координат (Рис.3.7, 3.9).

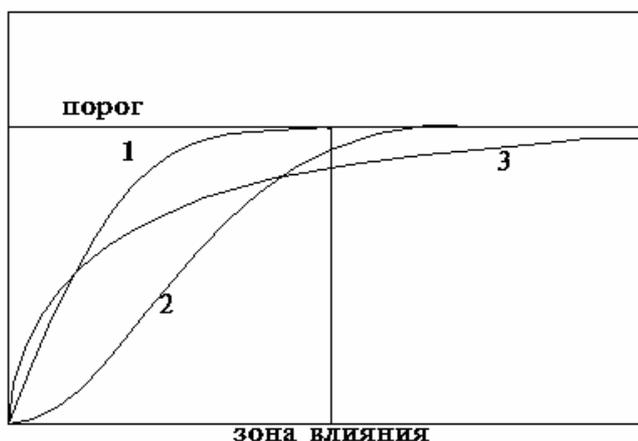


Рисунок 10.1 Пороговые модели вариограмм: 1- сферическая, 2- Гаусса, 3- экспоненциальная.

Экспоненциальная модель (Рис. 10.1) похожа на сферическую, но имеет более пологий характер и достигает порога на расстоянии $h = 3A$. Касательная к функции от начала координат пересекает порог при $h = A$. Уравнение функции:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{A}\right) \right] \quad (10.3)$$

Модель Гаусса (Рис.10.1) имеет параболическое поведение в начале координат и редко используется на практике (в основном для характеристики слабо изменчивых массивов с большим количеством проб). Порог здесь достигается только условно. Для малых расстояний иногда можно спутать параболическую часть этой функции с эффектом тренда.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h^2}{A^2}\right) \right] \quad (10.4)$$

Беспороговые модели чаще всего представлены **степенной** (10.5), **линейной** (при показателе степени уравнения (10.5) равном 1) и **логарифмической** (Де-Вийса) функцией (10.6).

$$\gamma(h) = Ah^p + B \quad (10.5)$$

$$\gamma(h) = A \ln h + B \quad (10.6)$$

Последняя функция очень широко использовалась в геостатистических расчетах в начальный период развития теории из-за возможности очень простого получения (без компьютера) важных характеристик и оценок.

Если объем исходных данных и их размещение в пространстве позволяют анализировать изменчивость переменных только в пределах установленных интервалов влияния, то пороговые модели (такие, как сферическая) могут быть заменены линейной или логарифмической, что обеспечивает существенное снижение трудоемкости вычислений.

Из моделей с периодическим эффектом можно упомянуть **Базовую синусоидальную модель** (рис. 10.2) – одну из редких моделей со скважинным эффектом в трехмерном пространстве, которая соответствует очень непрерывным структурам. Ее уравнение имеет вид:

$$\gamma(h) = C \left(1 - \frac{\sin r}{|r|} \right) \quad , \quad (10.7)$$

где $r=h/a$ (в радианах).

Эта модель имеет порог и характеризуется параболическим поведением в начале координат. Все представленные выше модели положительно определены в трехмерном пространстве.

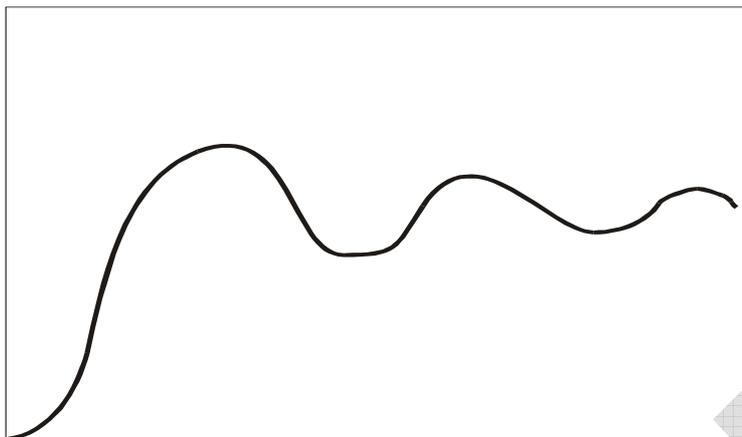


Рисунок 10.2. Базовая синусоидальная модель

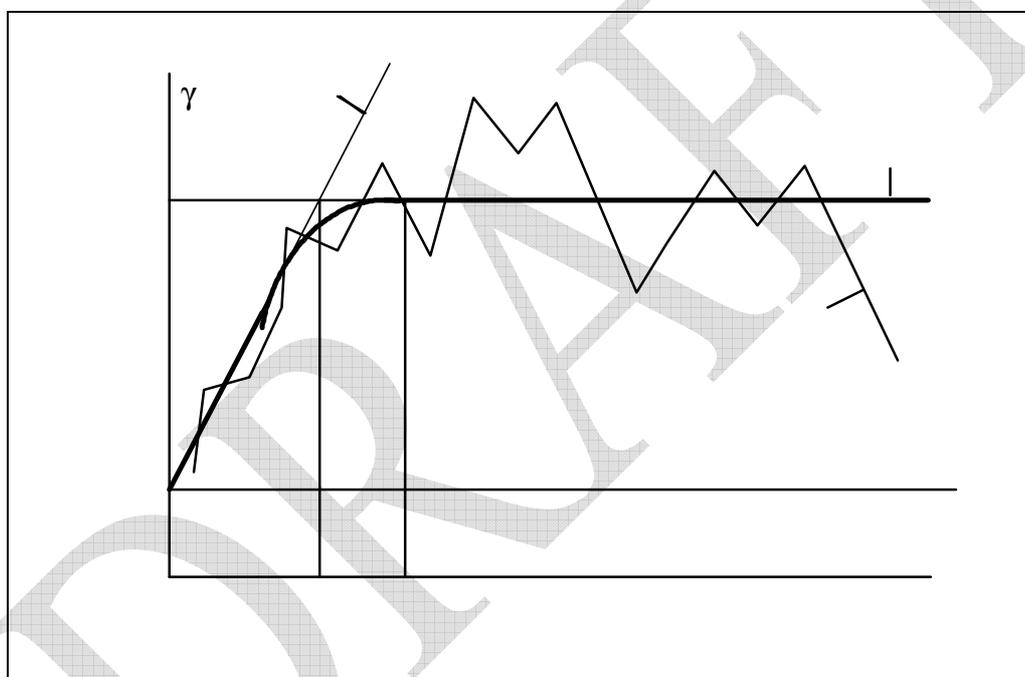


Рисунок 10.3. Визуальный подбор сферической модели

10.3. Подбор моделей к экспериментальным вариограммам

Подбор моделей может производиться как визуально (что на практике встречается чаще всего), так и различными компьютерными методами подгонки экспериментальных функций к стандартным моделям. Второй способ позволяет получать более точные оценки, однако имеет серьезные специальные ограничения, не позволяет эффективно использовать интуицию пользователя и, в некоторых случаях, приводит к получению нестандартных для геостатистики функций.

Во многих случаях бывает достаточно визуальной подгонки моделей. Очень просто, например, вручную подобрать модель к сферической функции (аналогично - и к экспоненциальной), рис 10.3. Проводят касательную (1) к начальному участку экспериментальной функции (2) до встречи ее с горизонтальной линией уровня

дисперсии (порога). Пересечение касательной с осью Y даст значение эффекта самородков, а пересечение с линией дисперсии - значение $2A/3$ (на оси X), по которому легко можно определить значение Зоны влияния A и построить окончательный вид функции.

Часто приходится иметь дело с несколькими структурами изменчивости (Обычно не более трех, рис.10.4), описываемыми различными моделями. Итоговая функция модели может принимать вид:

$$\gamma(h) = C_0 + \gamma_1(h) + \gamma_2(h) + \dots + \gamma_n(h) \quad (10.8)$$

Для каждой структуры подбирается своя элементарная модель, из которых в итоге формируется полная модель исследуемого объекта.

В заключение надо отметить, что небольшие (в разумных пределах) колебания большинства параметров вариограммной модели мало влияют на результаты оценки (кригинга), т.е. визуальная подгонка моделей вполне допустима. Особо осторожно следует подходить лишь к оценке эффекта самородков (C_0), т.к. это самый чувствительный и влиятельный фактор модели, а также – к форме и наклону функции в начале координат.

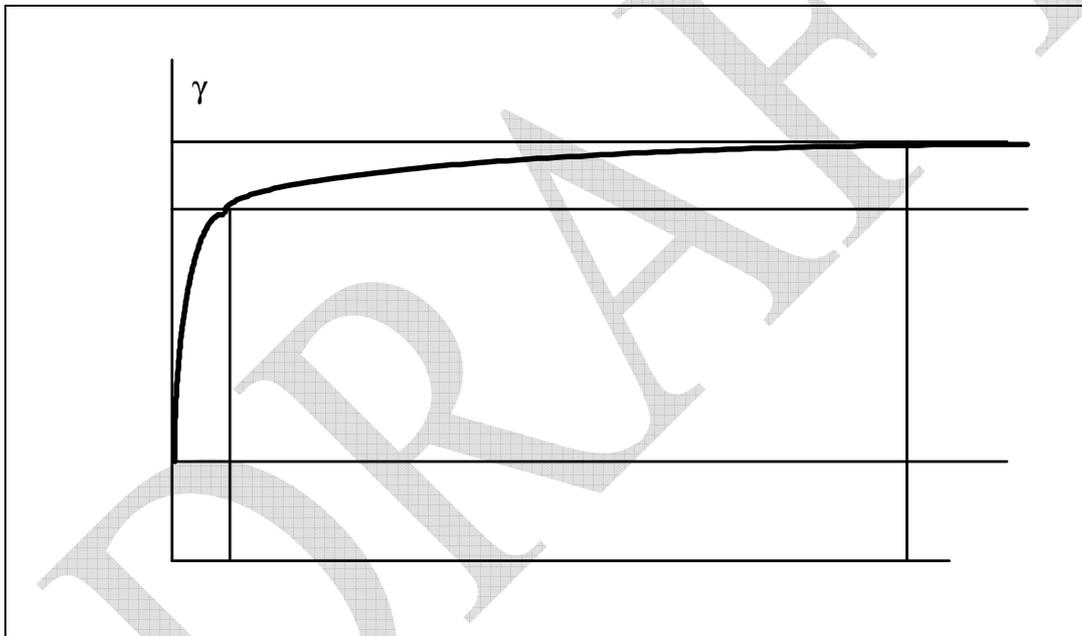
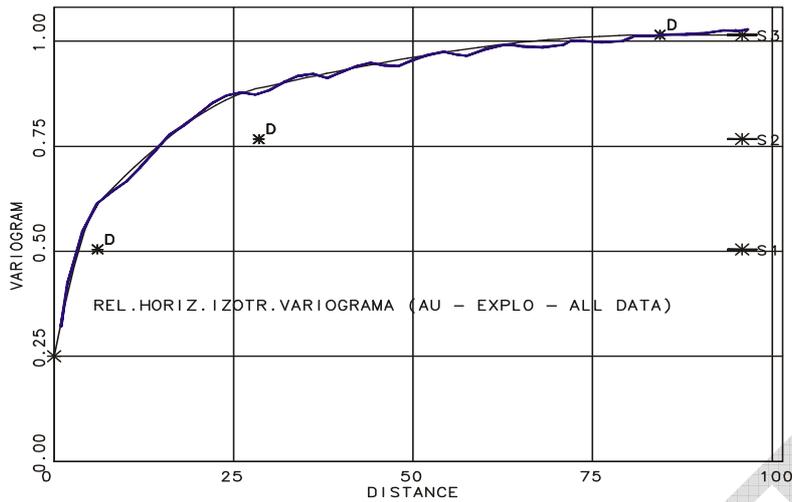


Рисунок 10.4. Пример двухструктурной сферической модели вариограммы. A_1 и C_1 - параметры первой модели, A_2 и C_2 - параметры второй модели

Для полуавтоматической или интерактивной подгонки моделей к экспериментальным вариограммам в системе Датамайн имеется процесс (VARFIT) (рис. 10.5). Доступные виды модельных функций:

- Сферическая
- Гауссова
- Экспоненциальная
- Степенная
- Логарифмическая

Каждая модель может содержать несколько структур, а также быть одномерной или трехмерной.



Variogram			Grade:	
3 Structure	Isotropic	Model.	Nugget	0.25
Structure	Range	C Value	Sill	
1	6.1	0.25	0.50	
2	28.5	0.26	0.97	
3	84.4	0.25	1.01	

Рисунок 10.5. Пример подбора трехструктурной сферической модели вариограммы с помощью процесса VARFIT системы Датамайн.

10.4. Пространственная модель вариограммы

После получения набора экспериментальных вариограмм для основных направлений анизотропии массива и приведения его в соответствие с реальной геологической картиной месторождения необходимо создать из этих составляющих единую 3-х мерную пространственную вариограммную модель. Эта модель будет участвовать во всех последующих геостатистических расчетах, и поэтому должна быть максимально корректна.

В общем случае модель месторождения может состоять из изотропных и анизотропных составляющих. Различают *геометрическую и зональную анизотропию*. Второй тип связан с наличием на месторождении особых структур изменчивости, каждая из которых в свою очередь может иметь свою геометрическую анизотропию.

Геометрическая анизотропия чаще всего используется на практике и предполагает, что вариограммная модель в разных направлениях имеет различные зоны влияния, но - одинаковый порог, и ее можно превратить в изотропную модель простым преобразованием координат.

В компьютерных системах и программах (в т.ч. и в Датамайн) чаще всего используется геометрическая анизотропия, а также следующие принципы описания пространственных вариограммных моделей.

Все параметры для каждой модели могут быть анизотропные, т.е. они могут иметь различные значения для различных направлений. В случае, когда анизотропия установлена, должны быть определены три взаимно перпендикулярных направления, соответствующих главным осям пространственного эллипсоида анизотропии. Длина осей эллипсоида в каждом направлении представляет собой значение зоны влияния (или другого параметра) в этом направлении. Предполагается, что главные оси анизотропии имеют те же направления для каждого параметра вариограммы, но коэффициенты анизотропии, определенные как отношения длин двух осей эллипсоида, могут быть различными для разных параметров.

Последовательность сопоставления используемой прямоугольной системы координат с осями пространственного эллипсоида анизотропии приведена ниже (Рис.10.6):

1. Сначала предположим, что оси эллипсоида А, В и С параллельны соответственно X, Y и Z осям правосторонней системы координат.

2. Затем поворачиваем систему координат против часовой стрелки (если смотреть в положительном направлении оси Z) на угол P ($P = 0 - 90$ градусов) вокруг оси Z. Если поворачивать систему против часовой стрелки, то угол P будет отрицательный.

3. После этого поворачиваем систему координат на угол Q ($Q = 0 - 90$ градусов) против часовой стрелки (для положительного угла) вокруг "новой" оси X (или Y). Таким образом, только этими двумя поворотами (углы P и Q) можно задать практически любую ориентацию пространственного эллипсоида.

4. Если есть необходимость, то можно развернуть систему еще на один угол (G) против часовой стрелки (или по часовой стрелке – для отрицательного угла) вокруг "новой" оси Z.

Таким образом, можно совместить используемую нами систему координат с основными направлениями анизотропии массива, что необходимо для дальнейших геостатистических расчетов. Направления всех поворотов указаны верно, если смотреть в положительном направлении оси поворота.

Параметры вариограммы определяются для каждой оси эллипсоида: А, В и С. Чтобы вычислить значения параметра в D направлении, которое не параллельно ни одной из трех осей, уравнение эллипсоида решают вместе с уравнением прямой, проходящей через центр эллипсоида в направлении D.

Расстояние между центром эллипсоида и его поверхностью в данном направлении представляет собой требуемое значение параметра.

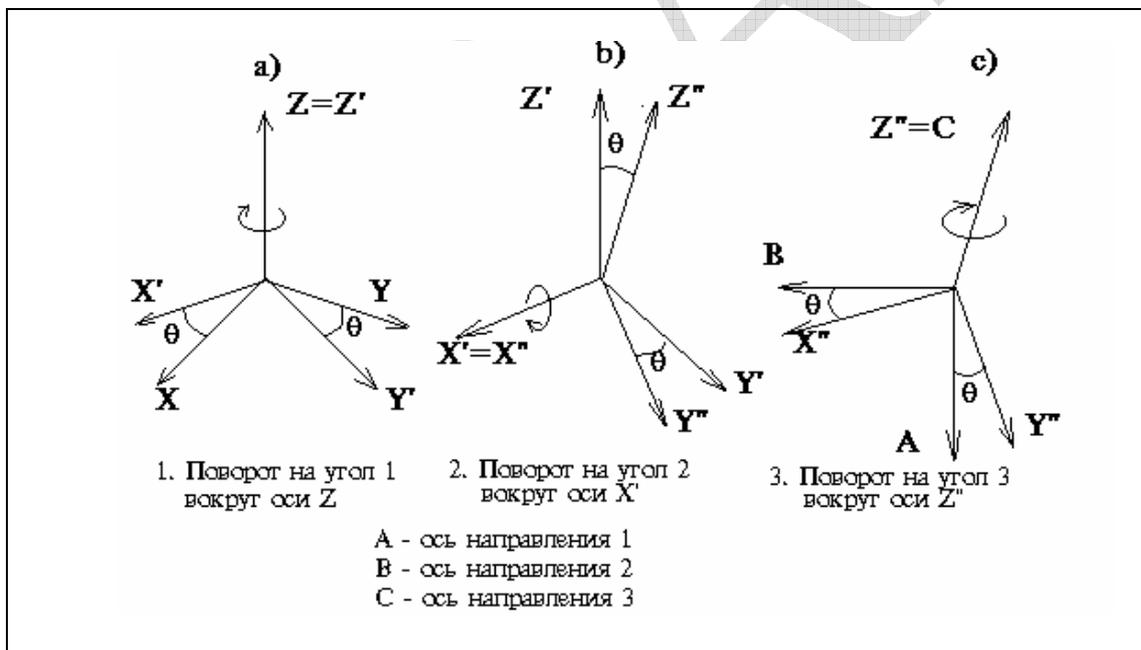


Рисунок 10.6. Поворот осей системы координат к эллипсоиду: а - угол P, б - угол Q, с - угол G.

Ниже приведен пример требуемого набора параметров пространственной вариограммной модели (2-х структурная сферическая модель) для расчета кригинга в системе Дататайн.

В общем случае требуется 18 параметров: (в каждой группе -3 параметра, соответственно для осей: А, В и С)

P 1-P3 - Эффект самородка (Co) для осей А,В,С

- Р 4-Р6 - Разница между порогом первой структуры вариограммы и C_0 - (C_1)
- Р 7-Р9 - Зона влияния (A1) для первой структуры
- Р10-Р12 - Разница между порогом второй структуры вариограммы и (C_0+C_1) - (C_2)
- Р13-Р15 - Зона влияния (A2) для второй структуры
- Р16-Р18 – Углы поворота системы координат: 1, 2, 3.

Однако, в большинстве случаев можно обходиться только единичными параметрами C_0 , C_1 и C_2 , т.к. основные процессы Датамайн, работающие с вариограммными моделями предполагают только геометрическую анизотропию.

Подробнее о способах задания параметров вариограммных моделей для кригинга сказано в разделе 16.

11. Проверка корректности моделей вариограмм

Как было отмечено выше, надежность геостатистических решений зависит от устойчивости моделей экспериментальных вариограмм, которая, в свою очередь, зависит от удачного выбора модели конкретной вариограммы и от того, насколько принятые параметры модели соответствуют характеру и особенностям пространственной изменчивости геологической переменной.

Единственное, что обычно известно о месторождении на этом этапе - это содержания в пробах, поэтому наилучшей проверкой будет воспроизведение этих фактических данных опробования, используя полученную вариограммную модель. Решение этой проблемы обеспечивается перекрестной проверкой моделей вариограмм.

Метод перекрестной проверки (cross-validation - КВ) был предложен в 1976 г П.Дельфинером и включен в виде процесса XVALID в систему Датамайн. Он работает следующим образом:

1. выбирается несколько наиболее подходящих моделей вариограмм пространственной переменной;
2. для одной из опробованных точек массива значение содержания удаляется, а его оценка производится по оставшимся пробам геостатистическим методом интерполяции - кригингом с использованием выбранной модели вариограммы;
3. шаг 2 повторяется для всех значений выборки;
4. полученные оценки сравниваются с фактическими значениями проб, рассчитываются статистические показатели обеих множеств, и оценивается теснота связи между ними;
5. шаги 1 – 4 повторяются для всех принятых для испытания моделей вариограмм; в качестве наилучшего выбирается такой вариант модели, для которого коэффициент корреляции между оценками и реальными значениями самый высокий.

Выбор подходящего типа модели Вариограммы и определение ее параметров - очень субъективный вопрос. Мишэль Дэвид в его Руководстве по Прикладной Геостатистике комментирует, что «После двадцати лет существования Геостатистики, это (то есть, cross-validation) - вероятно та область, где делалось наименьшее количество успехов». Однако, это до сих пор - единственный основанный на статистике метод, который является повсеместно используемым, хотя он не принят всеми практиками.

Первый набор параметров Вариограммы – получается с помощью визуальной подгонки, используя VARFIT. Эти параметры затем используются для первого запуска XVALID. Результат от первого запуска включает ряд статистики, которая может быть сравнена с их оптимальными величинами, как описано позже. Затем один или больше параметров Вариограммы изменяется, и процесс запускается повторно, чтобы создать второй набор статистики. Сравнение первого набора статистики со вторым покажет, улучшило ли ситуацию изменение в параметрах Вариограммы. Процесс требует повторяющихся запусков XVALID прежде, чем будет определена 'лучшая' модель.

11.1. Результаты работы процесса XVALID

Текст, написанный в выходном окне процесса разделен на четыре секции:

1. Progress Report
2. Summary of Input Parameters
3. Cross-Validation Statistics
4. Cross-Validation Menu

Пример выхода процесса показан ниже:

CROSS-VALIDATION STATISTICS FOR AU

```
-----
Number of samples estimated    = 1077
Number of samples not estimated = 0

Mean of actual values         = 5.994147
Mean of estimated values      = 5.964446

Mean difference (act - est)    = 0.029706
Mean difference (as % of actual) = 0.495
Mean absolute difference       = 1.612181

Variance of actual values     = 7.73888
Variance of estimated values   = 4.355755

Correlation coefficient        = 0.666

Kriging Variance:
  Mean of KV estimated from model = 4.313843
  Mean of squared differences     = 4.354414
  Ratio                           = 0.99

Regression Equation:
  Actual      = 0.694132 + 0.888602 * Estimate
  Standard Error = 2.073525
```

Число Проб

Число оцененных образцов плюс число не оцененных образцов равняется числу образцов во входном файле. Образец не будет оценен, если нет достаточно данных в объеме поиска.

Средние Величины

Для несмещенной оценки фактические и оцененные средние должны быть равными, хотя практически маленькое различие допустимо.

Средние Различия

Различие между двумя средними величинами выражено тремя способами:

1. Среднее различие (факт - оценка). Оцененное среднее вычитается из фактического среднего.
2. Среднее различие (как % фактического среднего). Вычисляется как $100 * (\text{факт} - \text{оценка}) / \text{факт}$.
3. Среднее абсолютное (MAD) различие. Вычисляется как среднее положительных разниц факта и оценки.

Цель состоит в том, чтобы сделать все три этих статистических параметра насколько возможно близкими к нулю. Процентное Различие (пункт 2) должно быть меньше чем 5 % и, мы надеемся, меньше чем 2 %.

Дисперсия Реальных данных и Оценок

Эти два статистических параметра не используются для того, чтобы оценить характеристики Вариограммы. Дисперсия реальных данных рассчитана для набора входных данных, поэтому Дисперсия оценок всегда будет меньше чем для реальных данных из-за сглаживания K.

Коэффициент Корреляции Фактических данных и Оценок:

Коэффициент корреляции всегда находится между -1 и +1, со значением +1, показывающим прекрасную положительную корреляцию. Цель должна состоять в том, чтобы сделать коэффициент корреляции как можно больше. Однако все еще возможно иметь очень низкий Коэффициент корреляции (например, 0.15) и эта величина является статистически существенной, если набор данных является большим. Значение коэффициента корреляции может быть найдено, вычисляя величину t и проверяя ее по t распределению Стьюдента:

$$t = r * \sqrt{(N - 2) / (1 - r^2)}$$

где r - коэффициент корреляции и N число проб.

Отметьте, что вычисление значения коэффициента корреляции предполагает, что переменные нормально распределены. Одни или два выбросов могут иметь существенный эффект на величину коэффициента.

Дисперсия Кригинга (K)

Три статистических параметра показаны под этим заголовком:

1. Средняя дисперсия K, оцененная по Вариограммной модели. Для каждой оценки K вычисляется дисперсия K, основанная на относительных местоположениях проб и параметрах Вариограммы. Статистически - это среднее этих единичных дисперсий K.
2. Среднее квадратов различий. Она вычисляется как сумма (факт - оценка)² разделенная на число проб. Это - мера той же самой дисперсии как и в пункте 1 выше.
3. Отношение. Отношение вычислено как средняя дисперсия K (см. пункт 1), разделенная на среднее квадратов различий (см. пункт 2). Она должна лежать в диапазоне между 0.9 и 1.1, и быть как можно ближе к 1. Это - один из самых важных статистических параметров для рассмотрения при подгонке моделей.

Уравнение Регрессии

Одна из опций диалогового меню XVALID состоит в том, чтобы создать диаграмму рассеяния фактических данных и оценок, как иллюстрировано в Описании Процесса XVALID. Если бы все оценки были идеальны, то все точки легли бы на линии с наклоном 45°. Однако практически будет облако точек, рассеянных вокруг этой линии.

Уравнение регрессии вычислено, используя стандартный метод наименьших квадратов. Уравнение имеет формат:

$$\text{факт} = c + b * \text{оценка}$$

Для идеального варианта постоянная c (точка пересечения с Осью Y) должна быть равна нулю, а тангенс наклона линии (b) равен 1.

На рис 11.1 показана qq диаграмма, где по оси X отложены реальные содержания Cu в пробах, а по оси Y – оценки, выполненные для этих же точек с помощью обычного Кригинга. Из диаграммы видно, что вариограммная модель достаточно надежна. Коэффициент корреляции достигает 0.8.

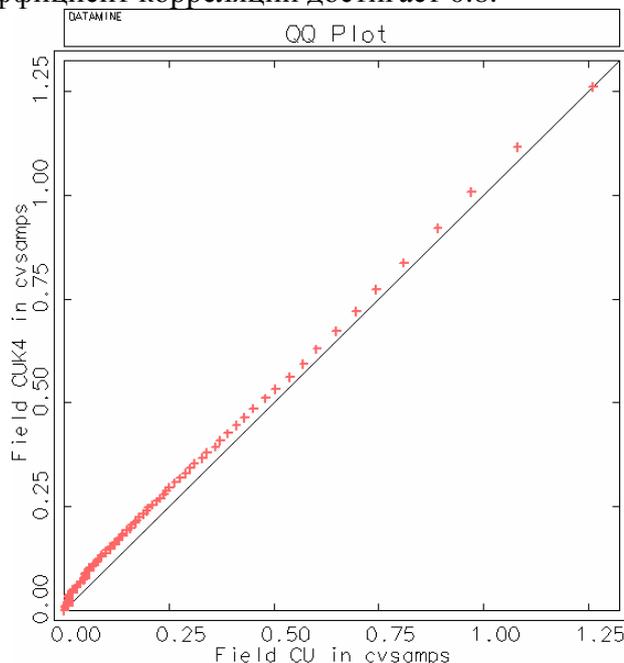


Рис. 11.1 QQ диаграмма соответствия реальных содержаний Cu и кригинговых оценок для этих же точек.

11.2. Важная статистика

Тремя самыми критическими статистическими параметрами для подбора модели Вариограммы, как полагают, являются:

- среднее различие (как % факта) (**mean difference (as % of actual)**)
- отношение разницы дисперсий K (**kriging variance ratio**)
- среднее абсолютное различие (**mean absolute difference**)

и далее:

- коэффициент корреляции (**correlation coefficient**)
- средняя дисперсия K (**mean kriging variance**)
- наклон линии регрессии (постоянная b) (**regression line slope (constant b)**)

Однако изменение в одном из параметров входной модели Вариограммы часто будет приводить к улучшению некоторых параметров и ухудшению других. Конечный результат, вероятно, будет компромиссом.

11.3. Объем поиска проб

Пробы, которые используются для Кригинга каждой точки отбираются, используя минимальный и максимальный объем поиска. Используются только образцы, которые

лежат и вне минимального объема, и в максимальном объеме. Причина для использования минимального объема поиска - та, что, если есть несколько образцов, расположенных очень близко к оцениваемой точке, то эти образцы получают очень большие веса K , а другие образцы будут игнорироваться. Таким образом результаты КВ только проверят значение параметров Вариограммы на маленьких расстояниях. Вариограмма будет впоследствии использоваться для блочного Кригинга, таким образом важно, чтобы подобранная модель Вариограммы отражала все расстояния в пределах обоснованного объема поиска. Поэтому полезно устранить из рассмотрения пробы, которые находятся очень близко к оцениваемой точке, и это делается, использованием минимального объема.

Использование минимального объема является особенно актуальным, когда набор данных опробования включает последовательные пробы по буровой скважине. Образцы с обеих сторон оцениваемой точки будут иметь наибольшие веса. Минимальный объем поиска должен попытаться устранить один или два образца с обеих сторон от оцениваемой пробы.

Максимальный объем поиска определяется, используя файл параметров объема поиска (srcparm). Минимальный объем вычисляется, применяя коэффициент для осей эллипсоида максимального объема поиска. Этот коэффициент определяется параметром SMINFAC. Минимальный объем имеет ту же самую ориентацию как максимальный объем и будет концентрическим к нему.

Максимум 30 образцов в объеме поиска обычно достаточно. При нормальных обстоятельствах оси максимального объема поиска были бы установлены равные зонам Вариограммы в этих трех измерениях. Если модель Вариограммы имеет больше чем одну структуру тогда должны использоваться зоны самой длинной структуры. Однако, если это постоянно дает больше чем 30 проб в объеме поиска, то оси поиска могут быть уменьшены, умножением каждой из них на коэффициент.

11.4. Практические рекомендации

Подгонка Параметров

Главные переменные, которые будут 'подгоняться' - тип модели и ее параметры. Однако другие переменные, которые могут повлиять на качество моделей, включают объем поиска и минимальное и максимальное число образцов. Это означает, что может быть большое количество переменных, которые могут быть рассмотрены. Поэтому рекомендуется, по крайней мере, на ранних стадиях подгонки одновременно рассматривать только одну переменную.

Увеличение эффекта самородка, сохраняя постоянную величину порога увеличит дисперсию Кригинга, оцененную по модели и следовательно увеличит отношение K дисперсий. Уменьшение зоны даст подобный, хотя и меньший эффект.

Выбросы (Ураганные пробы)

Выбросы могут иметь существенный эффект на результаты КВ. Если урезание Ураганов должно быть применено, то это должно быть сделано до вычисления экспериментальных Вариограмм и КВ. Даже если урезание было применено, все же рекомендуется определить чувствительность результатов КВ к самым высоким выбросам, удаляя их из набора данных и повторно запуская процесс.

Логнормальный Кригинг (ЛК)

Логнормальная Вариограмма часто будет иметь более гладкое поведение чем нормальная, и, таким образом, ЛК может быть также рассмотрен. Процесс КВ дает хороший метод для сравнения результатов K и ЛК. На практике часто получается, что, хотя Логнормальная Вариограмма дает лучшую визуальную подгонку, но нормальная модель дает лучшие результаты КВ. В случае, когда эти два метода дают подобные результаты, лучше выбрать нормальную модель, которая является более понятной и менее чувствительной к предположениям относительно типа распределения.

Метод Обратных Расстояний

Процесс может использоваться, чтобы подобрать параметры (IPD), и сравнить результаты с K . Главные параметры IPD, которые будут проверяться – показатель степени и объем поиска. Должно быть отмечено, что выходные параметры от КВ, используя IPD, идентичны параметрам K и поэтому включают дисперсию K и отношение дисперсий, даже при том, что никакой K не был выполнен. Для IPD эти значения вычисляются следующим образом:

- Среднее квадратов различий: вычисляется как для K , то есть это - среднее квадратов различий между реально существующими данными и оценками;
- Средняя дисперсия K оцененная по модели: она вычисляется как дисперсия средних всех проб в пределах объема поиска то есть, если есть M проб в пределах объема поиска и дисперсия их - S^2 , то «дисперсия K » является S^2 / M .

Из сказанного следует, что модель вариограммы, признанная лучшей с помощью метода перекрестной проверки, является таковой лишь для выбранного метода оценки результатов и для данного ряда наблюдений.

Таким образом, метод перекрестной проверки нельзя рассматривать как панацею, как метод доказательства или как критерий проверки статистических гипотез, в частности, - о модели и параметрах вариограмм. Его следует воспринимать и использовать только как исследовательский метод анализа данных, дающий возможность многократно изучать и переформулировать модель, добиваясь наилучшего соответствия модели и имеющихся данных.

Не надо, однако, уповать на то, что данный метод в 100% случаев будет подсказывать Вам правильное решение. В практике геостатистики известно достаточно трудных ситуаций, когда все испытываемые модели дают при проверке одинаковые результаты.

12. Кригинг.

В этой главе рассматриваются теоретические и практические аспекты, связанные с кригингом. Кригинг – это метод оценивания, который дает наилучшую несмещенную линейную оценку значений точек или средних содержаний блоков. Рассматривается три типа кригинга: обыкновенный кригинг (ordinary kriging, OK), используемый, когда среднее содержание неизвестно и простой кригинг (simple kriging, SK), используемый, когда среднее содержание известно.

Общая характеристика кригинга

Предпосылкой развития геостатистических методов послужило расхождение между исключительными по величине (прежде всего высокими) содержаниями многих металлов, особенно благородных, в разведочных пробах и в реально извлекаемых объемах руд. В процессе разработки месторождений обычно устанавливается, что блоки, оцениваемые как богатые, оказываются на самом деле беднее и наоборот - бедные по разведочным данным блоки фактически характеризуются более высокими содержаниями полезных компонентов.

Опробование обеспечивает точную информацию в точках взятия проб. Однако оно не информирует нас, что происходит между этими точками. Поэтому нужен точный способ оценивания значений в промежуточных точках или средних по блокам. Точность оценивания зависит от нескольких факторов:

- количество проб и качество данных для оценки каждой точки.
- расположение проб по месторождению. Равномерно расположенные пробы дают больше информации о месторождении, чем неравномерно сгруппированные данные.

- расстояние между пробами и точкой или оцениваемым блоком. Действительно, чем дальше расположена проба, тем труднее ей доверять. Поэтому мы ожидаем, что точность будет выше для близких проб, и уменьшается с увеличением расстояния.
- пространственная непрерывность рассматриваемой переменной. Легче оценить величину регулярной (коррелированной) переменной, чем той, которая меняется произвольно.

"Кригинг" – метод оценивания, который учитывает все эти факторы. Он назван в честь доктора Д. Г. Криге (Dr D.G. Krige) - южноафриканского горного инженера, который первым разработал метод движущего среднего для оценки содержания золота. Профессор Дж. Матерон (Prof. G. Matheron) улучшил эту методику, и новый метод был назван кригингом (литературе по геостатистике на русском языке часто известен как крайгинг). По существу, это способ нахождения лучшей несмещенной линейной оценки (в смысле наименьшей дисперсии).

12.1. Уравнение кригинга



Задача состоит в следующем: в исследуемом районе имеется N значений данных $z(x_1), \dots, z(x_N)$, и мы хотим оценить линейную функцию переменной $Z(x)$. Например, мы можем захотеть оценить ее значение в конкретной точке $Z(x_0)$, или ее среднее на заданном участке. Чтобы избежать необходимости отдельного описания всех случаев, обозначим оцениваемое множество через:

$$z_v = \frac{1}{V} \int_V z(x) dx \quad (12.1)$$

Объем V может быть представлен всем месторождением или отработываемым блоком, или единственной точкой в случае точечной оценки. Он может иметь любую неправильную форму. Чтобы оценить $Z(V)$, мы запишем выражение для средневзвешенного этих данных:

$$z_v^* = \sum \lambda_i z(x_i) \quad (12.2)$$

где λ_i – факторы взвешивания. В дальнейшем звездочка будет использоваться для обозначения оценки действительного неизвестного значения. Проблема заключается в определении лучшего способа выбора факторов взвешивания. Т.е. необходимо найти область, где мы можем использовать геостатистическую модель. Предположим пространственную переменную:

$$Z_v^* = \sum \lambda_i Z(x_i) \quad (12.3)$$

Необходимо выбрать такие веса, чтобы оценка была несмещенной, т.е.:

$$E[Z_v^* - Z_v] = 0$$

и имела минимальную дисперсию (которая называется дисперсией кригинга):

$$\text{Var}[Z_v^* - Z_v] - \text{минимально.}$$

Предположим на первом этапе, что пространственная переменная $Z(x)$ стационарна и, что ее среднее m неизвестно. Кригинг с неизвестным средним называется **обычным кригингом (ОК)**. Сначала мы определим систему уравнений для обычного кригинга (для стационарного случая) в терминах вариограммы, после чего покажем, как обобщить эти результаты на случай внутренних переменных.

Следующий этап заключается в том, чтобы понять, как оценивать неизвестное среднее m . После этого мы увидим, что происходит с кригинговой оценкой, если среднее m известно. Этот метод называется **простым кригингом** и обозначается **SK**. Во всех этих случаях линейные уравнения, называемые системой кригинга, должны решаться для вычисления весов кригинга и дисперсии кригинга.

Обычный кригинг



Переменная $Z(x)$ полагается стационарной со средним m . Это значит, что

$$E[Z(x)] = m = E[Z_v] \tag{12.4}$$

Большинство оценок являются взвешенным средним величин пространственных данных, что означает, что они - линейные комбинации этих данных:

$$Z_v^* = \sum \lambda_i Z(x_i) \tag{12.5}$$

Среднее ошибки оценивания $[Z_v^* - Z_v]$ равно:

$$E[\sum \lambda_i Z(x_i) - Z_v] = \sum \lambda_i m - m = m[\sum \lambda_i - 1] \tag{12.6}$$

В случае несмещенной оценки математическое ожидание ошибки должна быть равно нулю, поэтому должно выполняться одно из условий: либо $m=0$, либо сумма весов кригинга должна быть равна 1. В первом случае среднее известно, и следует использовать простой кригинг.

Дисперсию ошибки $[Z_v^* - Z_v]$ можно выразить в терминах либо ковариации, либо вариограммы:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \sum \sum \lambda_i \lambda_j C(x_i, x_j) + \bar{C}(V, V) - 2 \sum \lambda_i \bar{C}(x_i, V) = \\ &= 2 \sum \lambda_i \bar{\gamma}(x_i, V) - \sum \sum \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j) - \bar{\gamma}(V, V) \end{aligned} \tag{12.7}$$

где $\bar{\gamma}(x_i, V)$ - среднее вариограммы между x_i и объемом V (Рис. 12.1), т.е.

$$\bar{\gamma}(x_i, V) = \frac{1}{V} \int_V \gamma(x_i - x) dx$$

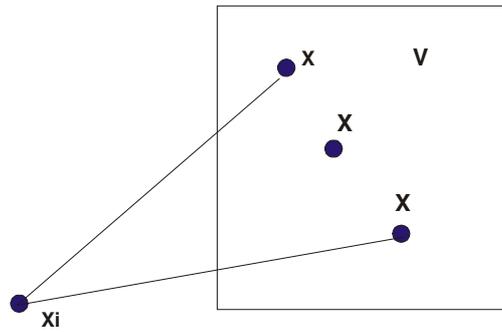


Рисунок 12.1. Соотношение между точкой данных и объемом.

Значение $\bar{\gamma}(V, V)$ является средним вариограммы между любыми двумя точками x и x' , независимо распределенных по всему объему V (Рис. 12.2).

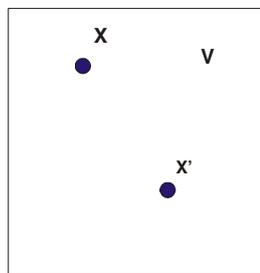


Рисунок 12.2. Точки внутри объема V .

$$\bar{\gamma}(V, V) = \frac{1}{V^2} \iint \gamma(x - x') dx dx' \quad (12.8)$$

Чтобы минимизировать дисперсию оценивания при условии, что сумма весов кригинга равна 1, введем в выражение для минимизации коэффициент Лагранжа. Поскольку сумма весов должна быть равна 1.0, то добавление этого слагаемого не изменит значения выражения.

$$\varphi = \text{Var}(Z_v^* - Z_v) - 2\mu(\sum \lambda_i - 1) \quad (12.9)$$

Затем частная производная приравнивается нулю, что приводит к системе с $N+1$ линейными уравнениями, называемой системой уравнений кригинга. Система кригинга в терминах вариограммной модели имеет вид:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N \lambda_j \gamma(x_i, x_j) + \mu &= \bar{\gamma}(x_i, V) \quad i = 1, 2, \dots, N \\ \sum_i \lambda_i &= 1 \end{aligned} \quad (12.10)$$

Минимальная дисперсия, называемая дисперсией кригинга вычисляется по формуле:

$$\sigma_K^2 = \sum \lambda_i \bar{\gamma}(x_i, V) - \bar{\gamma}(V, V) + \mu \quad (12.11)$$

Чтобы решить систему уравнений, запишем ее в матричном виде: $AX=B$.

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & & \gamma_{1N} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & & \gamma_{2N} & 1 \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ \gamma_{N1} & \gamma_{N2} & & \gamma_{NN} & 1 \\ 1 & 1 & & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \\ \\ \lambda_N \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\gamma}(x_1, V) \\ \bar{\gamma}(x_2, V) \\ \\ \\ \bar{\gamma}(x_N, V) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (12.12)$$

Если γ - допустимая модель, и если нет повторяющихся точек, то матрица A в любом случае - не вырожденная. Существует ее обратная матрица A^{-1} . Поэтому решение существует, и можно доказать, что оно единственно. Уравнение дисперсии кригинга можно записать в виде:

$$\sigma_k^2 = X^T B - \bar{\gamma}(V, V) \quad (X^T = X \text{ транспонированное}) \quad (12.13)$$

Обратная матрица A не является положительно определенной.

Уравнения ОК для внутренних пространственных переменных

В предыдущем параграфе уравнения ОК получены для случая стационарных пространственных переменных. Что произойдет, если пространственная переменная $Z(x)$ внутренняя, но не стационарная. В определении внутренней переменной мы сказали, что здесь действия производятся с приращениями, а не с самими переменными. В частности были выдвинуты две гипотезы:

$$E[Z(x+h) - Z(x)] = 0 \quad (12.14)$$

$$\text{Var}[Z(x+h) - Z(x)] = 2\gamma(h), \quad (12.15)$$

где $\gamma(h)$ зависит от h , но не от x . Поэтому по этой гипотезе ошибка оценивания $[Z_v^* - Z_v]$ является приращением, обеспечивающим сумму весов равную 1.0, и, следовательно, ее математическое ожидание и дисперсия существуют и могут быть вычислены. С этой точки процедура остается такой же как и для стационарного случая. Вычисляется и минимизируется дисперсия ошибки оценивания. Это приводит к такой же системе кригинга в терминах вариограммы, как и для стационарного случая.

Рассмотрим в качестве примера простой случай оценки блока (200м на 200м) по пяти пробам ($z_1 - z_5$), размещенным по регулярной сети 200м на 200м (Arm] (Рис. 12.3).

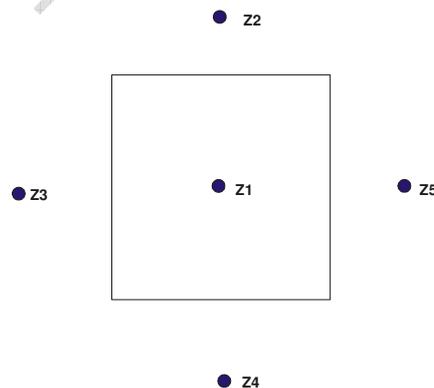


Рисунок 12.3. Конфигурация данных для оцениваемого блока

Предположим, что пространственная переменная стационарна и характеризуется изотропной сферической вариограммой с порогом 2.0 и зоной 250м. Чтобы сделать возможными вычисления на карманном калькуляторе, ниже даны предварительно рассчитанные значения $\bar{\gamma}(V, V)$ и $\bar{\gamma}(V, x)$.

$$\bar{\gamma}(x_1, V) = 0.88 \quad \bar{\gamma}(x_2, V) = 1.86 \quad \bar{\gamma}(V, V) = 1.13$$

Напишем систему кригинга. Так как проб всего 5, то система имеет размерность 6 на 6.

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \gamma_{14} & \gamma_{15} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} & \gamma_{24} & \gamma_{25} & 1 \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} & \gamma_{34} & \gamma_{35} & 1 \\ \gamma_{41} & \gamma_{42} & \gamma_{43} & \gamma_{44} & \gamma_{45} & 1 \\ \gamma_{51} & \gamma_{52} & \gamma_{53} & \gamma_{54} & \gamma_{55} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\gamma}(x_1, V) \\ \bar{\gamma}(x_2, V) \\ \bar{\gamma}(x_3, V) \\ \bar{\gamma}(x_4, V) \\ \bar{\gamma}(x_5, V) \\ 1 \end{bmatrix}$$

Далее находим расстояния между точками и затем оцениваем соответствующие значения вариограмм. Например, расстояние между точками 2 и 3 равно $200\sqrt{2}$. Так как эта величина больше зоны влияния, то значение вариограммы равно порогу. В результате система принимает вид:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1.89 & 1.89 & 1.89 & 1.89 & 1 \\ 1.89 & 0 & 2 & 2 & 2 & 1 \\ 1.89 & 2 & 0 & 2 & 2 & 1 \\ 1.89 & 2 & 2 & 0 & 2 & 1 \\ 1.89 & 2 & 2 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.88 \\ 1.86 \\ 1.86 \\ 1.86 \\ 1.86 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Отсюда легко получим:

$$\lambda_1 = 0.60, \quad \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = 0.10, \quad \mu = 0.12$$

Поэтому оценка среднего значения в блоке равна:

$$Z^* = 0.60Z_1 + 0.10(Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5), \text{ а дисперсия этой оценки:}$$

$$\sigma_k^2 = \sum \lambda_i \bar{\gamma}(V, x_i) + \mu - \bar{\gamma}(V, V) = 0.26$$

Эффект самородка привносит элемент сложности при создании матрицы кригинга. Если бы в рассматриваемом случае эффект самородка сферической вариограммы был равен 1.5, то все недиагональные элементы матрицы увеличились бы на 1.5, а диагональные элементы остались равными 0.

Простой кригинг

Теперь мы построим систему кригинга, когда среднее m пространственной переменной известно. Во-первых, мы предполагаем, что пространственная переменная $Y(x)$ имеет нулевое среднее. Понятно, что начальная пространственная переменная вычисляется из условия $Z(x)=Y(x)+m$. Получаем нашу оценку $Y(x)$:

$$Y_v^* = \sum_{i=1}^N \lambda'_i Y(x_i) \quad (12.21)$$

Как и раньше оценка кригинга должна быть несмещенной, а дисперсия должна быть минимальной. Чтобы быть несмещенной, ошибка оценивания должна иметь математическое ожидание равное 0. Т.е.

$$E[Y_v^* - Y_v] = E\left[\sum_{i=1}^N \lambda'_i Y(x_i) - Y_v\right] = 0 \quad (12.22)$$

Так как среднее $Y(x)$ равно 0, то эта оценка автоматически становится несмещенной. Поэтому ограничение на сумму весов отсутствует. Дисперсия ошибки оценивания –

$$\begin{aligned} \text{Var}[Y_v^* - Y_v] &= \text{Var}\left[\sum_{i=1}^N \lambda'_i Y(x_i) - Y_v\right]^2 = \\ &= \sum_j \sum_i \lambda'_i \lambda'_j C(x_i, x_j) = \bar{C}(x_i, V) \quad i = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (12.23)$$

Так как нет условия по сумме весов, то нет необходимости и в коэффициенте Лагранжа. Поэтому система кригинга имеет следующий вид

$$\sum_{j=1}^N \lambda'_j C(x_i, x_j) = \bar{C}(x_i, V) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (12.24)$$

Соответствующая дисперсия кригинга:

$$\sigma_{SK}^2 = \bar{C}(V, V) - \sum_{i=1}^N \lambda'_i \bar{C}(x_i, V) \quad (12.25)$$

Решение системы кригинга (12.24) дает веса кригинга λ'_i и, отсюда, оценку Y_v . Оценку Z_v можно вывести заменой $Y(x)$ на $Z(x)-m$. Это дает:

$$\begin{aligned} Z_v^* &= Y_v^* + m = \sum \lambda'_i [Z(x) - m] + m = \\ &= \sum \lambda'_i Z(x_i) + m[1 - \sum \lambda'_i] = \sum \lambda'_i Z(x) + m\lambda_M \end{aligned} \quad (12.26)$$

Элемент λ_M называется весом среднего в простом кригинге.

Простой кригинг редко используется в наши дни для практического применения, потому что среднее редко бывает известно. Например, его можно применять, когда залежь обрабатывается много лет, и можно с большой достоверностью предсказать средние содержания на каких-то участках или в блоках. Он также используется при кригинге преобразованных данных (например, после преобразования Гаусса), когда среднее устанавливается директивно, обычно – в виде нуля. Пример - дизъюнктивный кригинг.

Все рассмотренные выше оценки связаны между собой. Оказывается, что замена кригинговой оценки для среднего m на выражение оценки SK дает оценку ОК. В итоге получаются два интересных результата:

$$\lambda_M \mu_m = \mu \quad (12.27)$$

$$\sigma_{OK}^2 = \sigma_{SK}^2 + (\lambda_M)^2 \text{Var}(m^*) \quad (12.28)$$

Первое из уравнений обеспечивает интерпретацию коэффициента Лагранжа для ОК в терминах веса среднего в SK и коэффициента Лагранжа для кригинга среднего. Второе уравнение показывает, что дисперсию обычного кригинга можно представить в виде двух частей: первая – это дисперсия простого кригинга, где среднее известно, вторая – это дисперсия оценки среднего, умноженная на квадрат фактора взвешивания среднего в простом кригинге. Второе слагаемое содержит элемент потери точности из-за незнания действительного среднего.

Проверка точности кригинговых оценок

На практике для проверки корректности оценивания на одном графике изображают действительные значения содержаний вместе со значениями оценок. В идеальном случае Z_V^* всегда равна Z_V , и график имеет вид прямой линии, проведенной от начала координат под углом 45° , что невозможно реализовать на практике.

Очень хорошие результаты получаются, когда оценщик является условно несмещенным; т.е.

$$E[Z_V | Z_V^*] = Z_V^* \quad (12.29)$$

Это означает, что регрессионная функция между Z_V и Z_V^* должна быть линейна с наклоном 45 градусов.

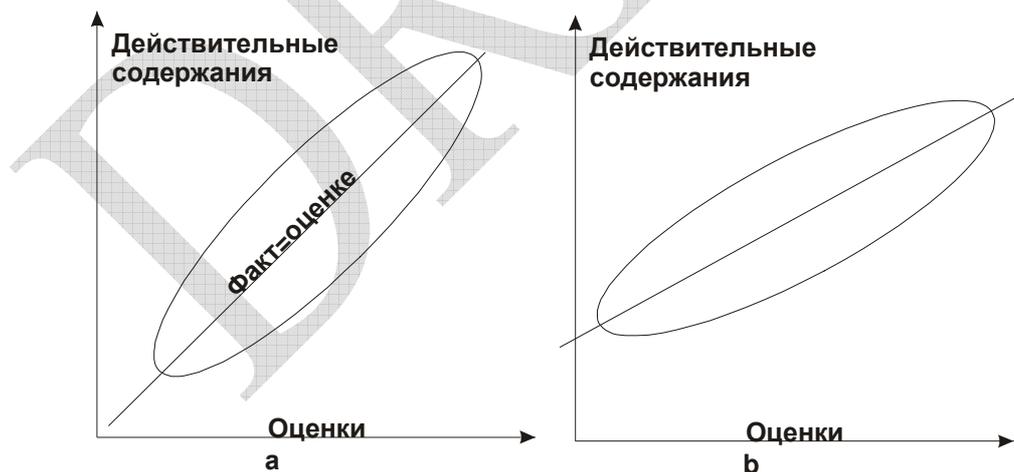


Рисунок 12.4 Регрессия действительных значений и оценок, (а) условно несмещенная и (b) условно смещенная

Важно отметить, что, хотя кригинг по определению - глобально несмещенный оценщик, так как $E[Z_V^* - Z_V] = 0$, он не является *обязательно* условно несмещенным. В общем случае (если предположить линейную регрессию зависимости оценок от

действительных значений) простой кригинг будет условно несмещенным, а обычный кригинг нет.

12.2. Основные свойства кригинга

Кригинг позволяет получать несмещенные оценки средних значений пространственной переменной в заданных объемах, имеющие минимальные дисперсии погрешностей. Кроме того, он обладает рядом других свойств, которые приносят определенный эффект при оценке месторождений полезных ископаемых.

Условная несмещенность означает, что среднее содержание полезного ископаемого во всех блоках равно действительному среднему в этих блоках. *Такое свойство проявляется абсолютно точно при условии согласия распределения содержаний полезного ископаемого с нормальным законом.*

Эффект сглаживания кригинга проявляется в том, что дисперсия оценок кригинга всегда меньше дисперсии точных значений пространственной переменной (12.30). Применение кригинга для определения значений переменной в локальных объемах геометрического поля (в блоках месторождения по данным разведки) *часто приводит к снижению их высоких (больших) частных значений и увеличению низких.* Таким образом, значения, получаемые в результате оценивания, варьируют меньше точных, т.е. оценивание при помощи кригинга приводит к сглаживанию вариаций пространственной переменной.

$$\sigma_z^2 \approx \sigma_{z^*}^2 + \sigma_k^2 \quad (12.30)$$

где: σ_z^2 - дисперсия точных значений

$\sigma_{z^*}^2$ - дисперсия оценок кригинга

σ_k^2 - дисперсия кригинга

Из формулы 12.30 видно, что *при уменьшении числа проб, т.е. – увеличении неопределенности и дисперсии кригинга*, сглаживаемость его оценок возрастает

Аддитивность кригинга заключается в его уникальной способности получать аналогичные оценки при изменении последовательности выполнения операций (при одном и том же наборе исходной информации). Это свойство особенно важно при объединении блоков (моделей рудных тел и т.д.) в один объем.

Точная интерполяция кригинга, которая характеризуется тем, что в процессе вычислений точке с известным содержанием присваивается вес, равный 1, а веса всех других проб приравниваются 0.

Эффект экрана проявляется в том, что при уменьшении эффекта самородка вариограммной модели значения весов близко расположенных к оцениваемой точке проб резко возрастают, а веса более отдаленных проб – соответственно уменьшаются. И наоборот, при «чистом эффекте самородка» (вариограммная модель представляет собой линию на уровне порога без пологой части) оценкой является среднее арифметическое всех проб, попадающих в установленный эллипсоид поиска.

12.3. Практические рекомендации по использованию кригинга

Отрицательные веса кригинга [4]

Важно понять, что дисперсия кригинга не может быть отрицательной, а веса кригинга могут быть. (Отрицательная дисперсия кригинга может быть результатом

использования модели вариограммы, которая не определена положительно, или результатом ошибки программы, например, при дискретизации блоков).

Отрицательные веса появляются обычно в 2-х случаях :

- Когда имеется много информации и при этом используется многоструктурная вариограммная модель без эффекта самородка с квадратичным поведением в начале (Степенная или Гауссова). Выходом в такой ситуации является применение мало структурных моделей с линейным поведением в начале (например, сферической)
- Когда данные кластеризованы, т.е. имеются участки с чрезмерным сгущением разведочной сети, а эффект самородка вариограммной модели близок к 0. Если такая ситуация встретилась, то необходимо перед оценкой разрядить данные в местах скопления, т.е. провести декластеризацию (см. раздел_____).

Влияние параметров вариограммной модели на результаты кригинга

Моделируя вариограммы, исследователь обычно вынужден много экспериментировать. В частности, он может назначать различные параметры модели в достаточно широких диапазонах, серьезно не отклоняясь от полученных ранее экспериментальных функций. Однако, меняя соотношение параметров модели, он должен представлять себе наиболее вероятные последствия этих действий. Ниже приведены некоторые наиболее важные практические последствия изменений вариограммных параметров на результаты кригинга.

Порог вариограммы. Изменение порога вариограммной модели вызывает соответствующее изменение только дисперсии кригинга, а следовательно – эффекта сглаживания оценок.

Форма пологой части вариограммы особенно вблизи начала координат сильно влияет на величину кригинговой оценки и может приводить к экранирующему эффекту и отрицательным весам отдельных проб.

Эффект самородков оказывает сглаживающее влияние на веса проб. В итоге чем он больше, тем больше сглаживание оценок, и естественно - больше дисперсия кригинга. Чистый эффект самородков приводит к практически полному сглаживанию оценок.

Зона влияния оказывает относительно малый эффект на веса проб. При очень малых зонах мы получим сильное сглаживание, аналогичное чистому эффекту самородков. Чем больше зона, тем меньше значение дисперсии кригинга.

Анизотропия естественно оказывает сильное влияние на веса проб и величину оценки. Чем больше различие в зонах влияния в различных направлениях, тем сильнее оценки анизотропной модели будут отличаться от оценок изотропной функции.

Ранее была подчеркнута важность возможно точного определения эффекта самородка и формы вариограммы в начале. Если к экспериментальной вариограмме могут визуально быть подобраны несколько разных моделей с одинаковым поведением в начале, **то можно быть уверенным, что все они дадут практически идентичные кригинговые оценки и дисперсии.** Это происходит потому, что ряды и колонки в системе уравнений кригинга будут одинаковы.

Выбор величины эффекта самородка крайне важен, так как он оказывает сильное влияние на веса и дисперсию кригинга. Однако, часто нет никакой возможности узнать характер поведения вариограммы в самом начале, или, по крайней мере, для расстояний меньших, чем расстояние до первой точки на экспериментальной вариограмме. Если бурение дополнительных, близко расположенных скважин не производилось, то геостатистик должен уметь спрогнозировать форму вариограммы около начала.

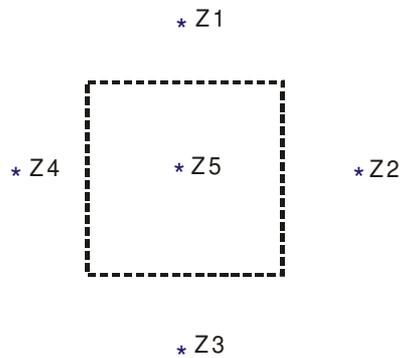


Рисунок 12.5. Оцениваемый по 5 пробам блок, размерами 200м на 200м

Предположим, что мы хотим оценить блок 200м на 200м (Рис. 12.5), используя пробу в центре и 4 соседних пробы, расположенные по регулярной сети 200м на 200м. Используя для оценки разные вариограммные модели, мы получим очень непохожие результаты (Табл. 12.1)

Показатели	Модель «Чистый эффект самородка»	Сферическая модель
Вес центральной точки	0.20	0.540
Вес внешней точки	0.20	0.115
Дисперсия кригинга	0.40	0.290

Таблица 12.1. Веса и дисперсии кригинга для 5 точек опробования

Разница между двумя дисперсиями кригинга очень значительная. Для чистого эффекта самородка она (а следовательно и сглаживающий эффект кригинга) намного больше, чем для второй модели. Влияние типа модели на веса кригинга более специфичное. Модель эффекта самородка дает равный вес всем пробам и, следовательно, меньший вес - центральной пробе и больший - периферийным пробам, Структурированная модель приписывает значительно более высокий вес центральной пробе, т.е. демонстрирует экранирующий эффект для более отдаленных проб.

Используемая здесь конфигурация из 5 точек нереалистично мала. На практике обычно выбирается гораздо большие окрестности с большим количеством проб. В таблице 12.2 приведены результаты аналогичных расчетов для 9 точек, также расположенных по регулярной сети 200м на 200м.

Показатели	Модель «Чистый эффект самородка»	Сферическая модель
Вес центральной точки	0.11	0.51
Вес точки ближнего окружения	0.11	0,08
Вес точки дальнего окружения	0.11	0.04
Дисперсия кригинга	0.22	0.26

Таблица 12.2. Веса кригинга и дисперсия кригинга для конфигурации из 9 точек

Сравнивая результат с примером из 5 точек, мы видим, что увеличение окрестности приводит к изменению в весах и дисперсии кригинга для чистого эффекта самородка, но не для сферической модели. Как будет показано в следующем параграфе, пробы, близко расположенные к оцениваемой точке, эффективно экранируют влияние более отдаленных точек в случае, если вариограмма хорошо структурирована. Это утверждение несправедливо для плохо структурированных моделей с большим эффектом самородка или с небольшой зоной влияния.

Эффект экранирования

При эксплуатационном опробовании разрабатываемых месторождений появляется громадное количество проб. С вычислительной точки зрения имело бы здравый смысл препятствовать использованию всех их для оценивания каждого блока. Интуиция подсказывает, что оценки будут очень близки к действительным значениям, если принимать в расчет только соседние данные. Проблема заключается в том, чтобы обосновать, сколько точек включить в расчет.

Общее правило - брать только несколько первых ареалов (то есть колец) проб вокруг целевой точки, если вариограмма хорошо структурирована, то есть, если влияние эффекта самородка относительно маленькое. Причина в том, что эти первые ареалы полностью экранируют влияние более отдаленных проб. Это можно лучше всего продемонстрировать на примере (Рис. 12.6).

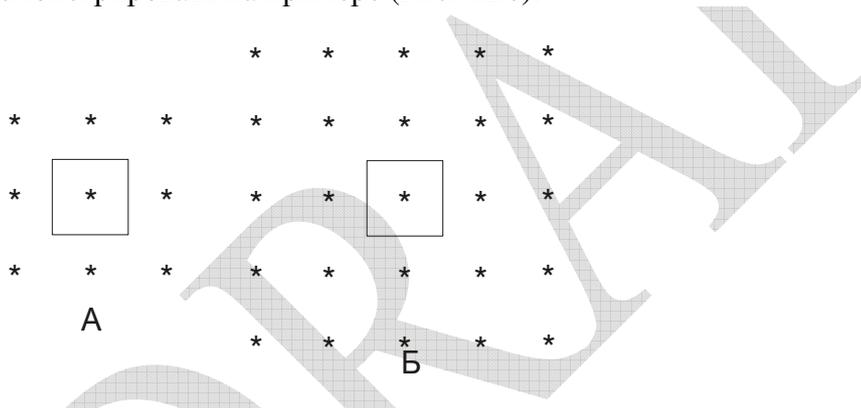


Рис 12.6. Блок с одним ареалом данных (а), и с двумя ареалами данных (б)

Предположим, что мы хотим оценить блок 200м на 200м с пробой в центре, используя данные, расположенные по сети 200м на 200м. Количество проб можно увеличивать с 1 (центральная проба), до 9 (1 ареал) и, затем до 25 (2 ареала). Когда модель вариограммы известна, веса и дисперсию кригинга можно вычислить для каждой конфигурации данных. Ясно, что каждое увеличение количества участвующих в оценке проб уменьшает дисперсию кригинга (или дисперсия остается той же самой). Чтобы проиллюстрировать, как работает экраный эффект, рассмотрим три случая: сферические вариограммы с порогом 2.0 и зонами 250м и 100 м соответственно, и чистый эффект самородка 2.0 (который можно представить как сферическую вариограмму с нулевой зоной).

Для хорошо структурированной сферической модели (зона 250м, верхняя часть рисунка) наибольшие веса сконцентрированы в центральной точке и четырех самых близких пробах. Следовательно, увеличение количества точек больше 25, не ведет к какому-то существенному улучшению дисперсии кригинга. При этом величина оценки также не будет существенно изменяться, как и веса. Поэтому в данном случае нет необходимости использовать больше данных, чем несколько ближайших точек. Когда вариограмма плохо структурирована (чистый эффект самородка или сферическая функция

с более короткой зоной), дисперсия кригинга с ростом числа проб продолжает понижаться, а веса для внешних точек не очень быстро стремятся к нулю. Поэтому в данной ситуации требуется большая окрестность кригинга. Пожалуйста, обратите внимание на то, что точки даже за пределами зоны вариограммы могут иметь отличные от нуля веса при использовании ОК. Они не обязательно равны нулю.

12.4. Сведения о других видах кригинга

Теоретическая основа линейного кригинга - предположение о нормальном (гауссовом) распределении ошибок относительно среднего значения. Хотя это предположение само по себе не требует нормального распределения исходных данных, но является необычным явлением для явно несимметричных распределений, которые характерны для большинства реальных геологических наборов данных.

Линейный кригинг и производные от него методы как правило "требуют" стационарности исходных данных. Это означает, что данные в исследуемом месте имеют те же свойства, что и во всех остальных местах моделируемой зоны. Это ограничение часто не является существенным для зон, где изменчивость не слишком большая, но оно должно обязательно учитываться там, где имеются зоны высокой концентрации ценных компонентов. Это является серьезной и хорошо известной проблемой при оконтуривании рудных тел и оценки содержаний и тоннажа. Кригинг в этой ситуации будет переоценивать тоннаж и недооценивать содержание.

Безусловная несмещенная природа линейного кригинга будет конечно гарантировать, что даже в этих условиях глобальное среднее содержание должно быть корректным. Однако даже это обстоятельство не должно быть утешением для горного инженера, проектирующего горные работы, при выборе блоков, подлежащих отработке и имеющих содержание выше бортового. Другими словами, отрицательная ошибка в оценке (т.е. недооценка фактических содержаний) не будет иметь серьезных последствий, в отличие от положительной ошибки, когда переоценивается содержание оцениваемой руды и экономические последствия горных работ могут быть непредсказуемы.

Эффект от этих 2-х типов ошибок неодинаков и, следовательно, метод несмещенной оценки - необязательно лучший для анализа; часто его предпочитают, т.к. он позволяет получить «консервативное» скрытое смещение, когда занижается значение экстремальных членов массива данных (обычно - высоких содержаний) и делается хорошая оценка величин, близких к среднему значению выборки.

В последнее время появилось много альтернативных методов оценки, которые разработаны на основе линейного кригинга. Часто они имеют названия, не всегда понятные горным специалистам, поскольку были разработаны математиками - теоретиками Матерононской школы. Некоторые из них уже не употребляются или дискредитировали себя, в то время как другие методы успешно развиваются отдельными исследователями. При этом, как правило, эксперты стараются обойти достаточно суровые ограничения линейного кригинга.

Универсальный кригинг появился как попытка решения проблем стационарности. Он объединяет уравнение линейного кригинга с уравнением полиномиального тренда поверхности, что приводит к эффекту относительно простого сглаживания различий в значениях рядом расположенных оцениваемых величин. К несчастью здесь встретились две серьезные проблемы.

Когда появился универсальный кригинг, анализ поверхности методом полиномиального тренда уже практически не использовался на практике за исключением простых случаев из области структурной геологии в нефтяной промышленности. Это стало следствием того, что уравнения тренда не давали достаточной гибкости для

моделирования реальной геологической ситуации при низких степенях полиномов и становились сильно неустойчивыми при высоких степенях.

Вторая проблема - более серьезная. Увеличение степени полинома приводило к некорректности вариограммной модели, рассчитанной для плоского случая. Перерасчет вариограммы для новых условий и использование ее в расчете тренда снова делало ее некорректной и т.д. Эта процедура требовала длительной интерактивной настройки сходимости полученного уравнения тренд-поверхности и вариограммной модели.

Дизъюнктивный кригинг является достаточно сложным методом, который разрабатывался для оценки в условиях локальных негауссовых распределений переменных. Он не помогал в решении проблем нестационарности (во всяком случае не более чем универсальный кригинг решал проблемы негауссовых распределений). Цель дизъюнктивного кригинга - оценить местное распределение с соответствующими параметрами: средним, дисперсией и т.п. Кроме стандартной оценки и дисперсии кригинга он позволяет оценить вероятность того, что среднее содержание в блоке будет выше заданного бортового содержания.

Но этот метод никогда не вызывал широкого признания и сейчас редко используется из-за своей сложности в понимании и практическом применении.

Индикаторный кригинг был разработан А. Жорнелем в Станфордском университете (США). Его цель - работа с негауссовыми распределениями, т.е. он может действительно оперировать с любыми распределениями. Однако, он не решает проблем нестационарности. Принцип этого метода заключается в следующем. Зная бортовое содержание, он оценивает вероятность того, что руда оцениваемого блока имеет среднее содержание ниже бортового. Массив исходных данных преобразуется в множество значений: 0 и 1 в зависимости от того, выше или ниже бортового реальное содержание. Далее для этого нового массива рассчитывается вариограмма и выполняется процесс линейного кригинга, который будет выдавать оценки, лежащие в интервале 0 -1. Эти оценки могут быть интерпретированы как значения вероятности того, что среднее содержание оцениваемого блока - ниже бортового. Основное преимущество индикаторного кригинга в том, что распределение реальных данных предварительно превращается в простое дискретное распределение с известными свойствами. Конечно, и в этом случае необходимо предварительно рассчитать вариограммную модель для индикаторных величин

Естественно, что много информации теряется при получении индикаторной кригинговой оценки, которая позволяет лишь судить, находится ли оцениваемый параметр данного блока выше или ниже единственного заданного значения бортового содержания. Чтобы получить реальные оценки переменной, необходимо выполнить расчеты для достаточно большого количества вариантов бортовых содержаний и располагать оценками параметров локального распределения. А это в свою очередь требует предварительного расчета и интерпретации большого числа вариограмм. При некоторых обстоятельствах в процессе интерпретации вариограмм **могут получаться бессмысленные результаты**, например при более высоком "борте" количество некондиционных блоков может оказаться меньше, чем при меньшем бортовом содержании и т.п.

Индикаторный кригинг имеет и более серьезные проблемы. Поскольку индикаторы имеют значения только 0 и 1, поэтому они имеют дискретное распределение вероятности, а методология кригинга требует непрерывного распределения (и более того, распределения с определенными свойствами). Таким образом, правомерность использования индикаторного кригинга находится под большим вопросом.

Панельный кригинг

Часто возникает ситуация, когда требуется оценить среднее содержание в каком-то пространственном объеме, ограниченном в плане только контуром, или – в каком-то

выделенном объеме имеющейся блочной модели. Для этих целей в Датамайн имеется процесс **PANELEST**.

Панели определяются или множеством линий в файле PERIM, или множеством отдельных точек в файле DISPTIN. Для интерполяции используются основные методы: Ближайшей пробы (БП), Обратных расстояний (ОР), Обычный кригинг (ОК).

Определение панелей с помощью множества линий. Файл PERIM должен содержать одну или несколько линий. Если они не замкнуты, то перед обработкой будут замыкаться. Необходимо проконтролировать, чтобы эти линии не содержали «перехлестываний». Количество точек в одной линии не должно быть больше 5000. Линии должны быть плоскими и размещаться (не обязательно – все) на одной из координатных плоскостей: XY, XZ или YZ.

Далее Вы можете определить независимые (+/-) расстояния проецирования DPLUS и DMINUS для того, чтобы создать из плоских контуров объема. Если хотя бы один из этих параметров не равен 0, то панель считается 3-х мерной, в противном случае – 2-х мерной.

Если она 2-х мерная, то все пробы будут спроецированы на эту плоскость. В этом случае Вы должны проверить, чтобы несколько проб не проецировались в одну точку, иначе кригинг не будет работать.

Каждая панель в процессе расчетов представлена множеством отдельных 2-х или 3-х мерных точек. Вы можете задать расстояния между этими точками независимо в каждом из 3-х направлений с помощью параметров XDSPACE, YDSPACE и ZDSPACE. Если Вы не введете эти параметры, то процесс будет самостоятельно использовать подходящие значения. Например, для квадратной панели будет создана 121 точка (по 11 в каждом направлении).

Множество регулярных точек генерируется процессом внутри прямоугольника, самого близкого к форме панели, а затем оставляются только те точки, которые попадают внутрь контура панели. В 3-х мерных панелях точки генерируются и в 3-м измерении, а затем «обрезаются» границами объема, полученного проецированием периметра панели. Общее количество созданных точек не должно быть менее чем установка параметра MINDISC. Если оно меньше, то расстояния между точками последовательно уменьшается на 20% с последующей, новой проверкой их количества.

Определение панелей с помощью множества отдельных точек. Вместо генерирования точек внутри контуров Вы можете ввести эти точки непосредственно с помощью файла DISPTIN. В этом случае параметры XDSPACE, YDSPACE, ZDSPACE, MINDISC, DPLUS и DMINUS будут игнорироваться. Одним из способов создания множества регулярных точек является процесс TRIFIL, с помощью которого Вы можете заполнить внутренность замкнутого каркаса или одну из сторон каркаса поверхности регулярными ячейками (без деления их на подъячейки!), центры которых будут играть роль множества точек для процесса PANELEST (Рис.12.7). Выходной файл процесса TRIFIL (WIREFILL) может быть непосредственно использован в PANELEST, как файл DISPTIN.

Множество точек может быть задано также существующей блочной моделью с уже интерполированными содержаниями. Лучше, если предварительно подъячейки будут объединены в нормальные ячейки. Выбрав какое-то множество ячеек или всю модель, Вы можете получить среднее содержание и дисперсию оценки для них.

Выбор проб для оценки. Параметры MINNUM и MAXNUM используются, чтобы задать минимальное и максимальное количество проб, которое будет использоваться для оценки каждой точки.

Если в панели найдено меньше проб, чем MINNUM, то оценка не выполняется. Если проб больше, чем MAXNUM, то для оценки выбираются ближайшие пробы.

Если панель задана периметрами (файл PERIM), то установка параметра INSIDE=1 приведет к тому, что для оценки будут использованы только пробы, находящиеся внутри

панели. Если $INSIDE=0$, то используются все пробы. При задании точек файлом DISPTIN этот параметр игнорируется.

Методы интерполяции. Используется 3 метода интерполяции: 1- БП, 2 – ОР, 3 – ОК (если параметр $LOG=1$, то используется логнормальный кригинг, см. предыдущий параграф). Отметьте, что при использовании кригинга будет рассчитываться дисперсия кригинга, а при методе ОР – классическая дисперсия проб, используемых для оценки.

Анизотропия. В случае использования кригинга анизотропия определяется параметрами вариограммной модели. Для других методов она задается набором стандартных параметров $ANANGLE_n$, $ANAXIS_n$ и $ANDIST_n$ (см. выше).

Результаты расчета. Когда параметр $TOTAL=1$ и оценивается более одной панели, то рассчитываются суммарные показатели для всех панелей (площадь/объем и содержание), взвешенные по площади или по объему каждой панели. Дисперсия оценки будет рассчитана только для кригинга путем взвешивания аналогичных параметров по квадрату площади/объема каждой панели. В этих расчетах предполагается, что панели независимы друг от друга. Это часто бывает справедливым, если панели большие.

Если панели определены как множество точек, то должен быть оценен объем каждой панели. Он рассчитывается в зависимости от количества точек и расстояний между ними.

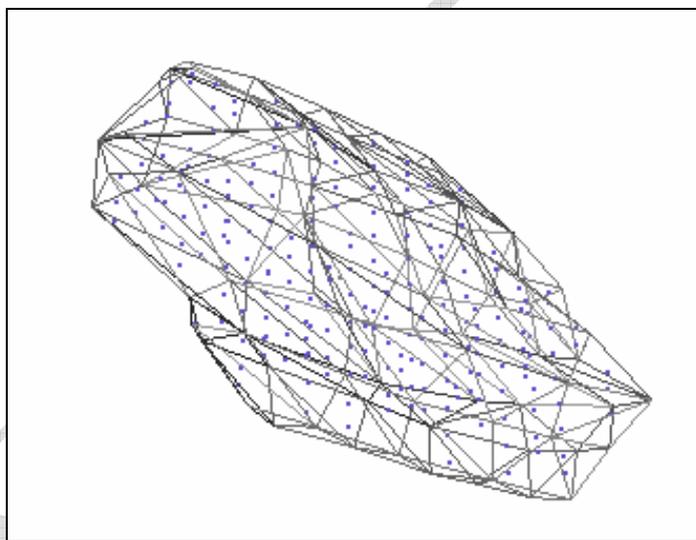


Рисунок 12.7. Вид каркаса, заполненного множеством регулярных точек (ячеек).

13. Оценка извлекаемых запасов руды

13.1. Понятие об извлекаемых запасах

Проблема оценки извлекаемых запасов является одной из центральных при освоении полезных ископаемых. Она тесно связана с решением таких вопросов, как изучение природной изменчивости оруденения и определение степени селективности добычи руды, которая зависит от размеров выемочных блоков и достоверности разведочных данных, необходимых для разделения блоков на промышленные и некондиционные. Для решения этой проблемы требуется комплексный количественный анализ разнообразных факторов: геологических, горнотехнических и геолого-экономических, которые вызывают отклонения характеристик извлекаемых запасов от запасов, подсчитанных в результате предпроектной разведки.

Согласно определению, "Руда представляет собой естественное твердое вещество, из которого могут быть (посредством горных работ и сепарации) с выгодой получены полезные компоненты при условиях, существующих во время оценивания". Эти условия подразделяются на три типа:

- экономические, которые зависят от результатов геолого-экономической оценки месторождения и синтезируются в величинах бортового и минимального промышленного содержания полезного ископаемого в руде;

- горно-технологические, которые не ограничиваются только выбором открытой или подземной системы разработки, а включают в себя также определение оптимальных (и минимальных) размеров эксплуатационных блоков;

- информационные, которые определяются качеством, количеством и местом размещения в массиве месторождения геологоразведочных объектов, которые являются источником информации о месторождении.

Любое изменение этих условий во времени влечет за собой необходимость корректировки оценок качества полезного ископаемого и, следовательно, - запасов месторождения, которые в данной ситуации приобретают экономическую природу.

В свою очередь экономическая оценка запасов месторождения является информационной основой планирования деятельности горнодобывающего предприятия, которое реализуется по принципу "от общего - к частному" и сопровождается изменением информационной базы оцениваемых единиц (участков, блоков) месторождения от крупных к все более мелким.

Геолого-промышленные характеристики эксплуатационных блоков, подлежащих отработке в планируемый период, всегда отличаются от характеристик включающих их крупных блоков, выделенных в процессе разведки. Серьезной проблемой при освоении месторождений является такая ситуация, когда эксплуатационное бортовое содержание полезного ископаемого близко к среднему содержанию по месторождению. В этом случае многие эксплуатационные блоки после проведения больших объемов вскрышных и горно-подготовительных работ могут оказаться непромышленными.

Планирование разработки месторождения представляет собой последовательность взаимоувязанных процедур анализа имеющейся информации и принятия управленческих решений, основанных на предположении, что имеющиеся исходные данные в достаточной мере характеризуют объект разработки и отдельные его части. Однако, это предположение всякий раз требует доказательств, и одна из главных задач геостатистики заключается в том, чтобы предоставить такие доказательства или определить стратегию накопления необходимой для них информации в достаточных объемах, а также стратегию выбора и применения соответствующих методов обработки этой информации.

Применение геостатистики предоставляет планировщику необходимую исходную информацию для процесса принятия решений в соответствии с существующими экономическими и горнотехническими критериями и ограничениями. Эффективность геостатистики особенно проявляется при краткосрочном планировании, **цель которого – обеспечить поступление на обогатительную фабрику нужного количества руды планируемого качества с учетом существующих экономических и горных ограничений.** Такое планирование осуществляется на основе геологоразведочных данных, которые могут быть представлены результатами детальной и эксплуатационной разведки месторождения.

Таким образом, планирование проводится на основе разведочных оценок руд, которые обычно отличаются от реальных результатов работы обогатительной фабрики. Поэтому важным условием эффективной разработки месторождения является правильное определение различий между параметрами добываемых руд и их оценками, т.е. достоверный прогноз реальных параметров рудопотоков горного предприятия.

Любые ошибки такого рода, особенно по бедным блокам, вызывают неритмичное снабжение обогатительной фабрики кондиционной рудой и дорогостоящее,

непредвиденное перемещение фронта горных работ, а также - проходку дополнительных, не предусмотренных проектом горных выработок. Таким образом, одной из основных задач геологического изучения месторождения в процессе эксплуатации является предсказание фактического распределения запасов руды в выемочных блоках, а также - изменчивости качества поставляемого на переработку полезного ископаемого во времени.

Первая задача решается с помощью учета эффекта основания и информационного эффекта с соответствующей корректировкой извлекаемых запасов руды, а вторая – расчетом дисперсии изменчивости качества руды в блоках и условным моделированием месторождения.

13.2. Влияние геометрической базы геологической информации на извлекаемые запасы; эффект основания.

Практика освоения полезных ископаемых постоянно сталкивается с влиянием размеров объемов селекции на степень извлечения промышленных запасов. Геостатистический термин “основания” (support) относится к размерам и объему пробы или блока.

Исходными данными для оценки месторождения по итогам разведки являются обычно результаты определения содержаний полезных компонентов в рядовых разведочных пробах. В период эксплуатации меняются требования к геометрической базе исходных данных для подсчета запасов - возникает необходимость определения количества полезного ископаемого в каждом эксплуатационном блоке.

Изменение геометрической базы исходных данных опробования влечет за собой изменение дисперсии содержаний полезного ископаемого, что непосредственно сказывается на зависимости "запас - содержание". Из практики известно, что выход руды зависит не только от бортового содержания, но и от дисперсии соответствующей пространственной переменной.

На рисунках 13.1 и 13.2 представлены действительные содержания для блоков с размерами (основанием) 1 на 1 м и 2 на 2 м. Средние значения обоих множеств практически одинаковы (201). Небольшая разница обусловлена округлениями содержаний до целых чисел. Но дисперсии множеств не одинаковы. Дисперсия для блоков 2*2м равна 16,641, что значительно меньше, чем для блоков 1*1м (27,592).

735	325	45	140	125	175	167	485
540	420	260	128	20	30	105	70
450	200	337	190	95	260	245	279
180	250	380	405	250	80	515	605
124	120	430	175	230	120	460	260
40	135	240	35	130	135	160	170
75	95	20	35	32	95	20	450
200	35	100	53	2	45	58	90

Рисунок 13.1. Истинные значения содержаний 64-х блоков размерами 1 на 1 м

505	143	88	207
270	328	171	411
102	220	154	263
101	54	44	155

Рисунок 13.2. Истинные значения содержаний 16-ти блоков размерами 2 на 2 м

Распределения блоков (рис. 13.3) показывают, что меньшие по размерам блоки более рассеяны, чем большие. При бортовом содержании 300, больше руды будет добыто для блоков с размером 1 м на 1 м, чем для блоков - 2 м на 2 м. **Этот эффект называется эффектом основания.**

Когда месторождение разведано серией скважин, то очень важно, чтобы гистограмма по данным рядовых керновых проб примерно соответствовала бы истинному "идеальному" распределению, при котором все месторождение разбито на объемы равные объему пробы.

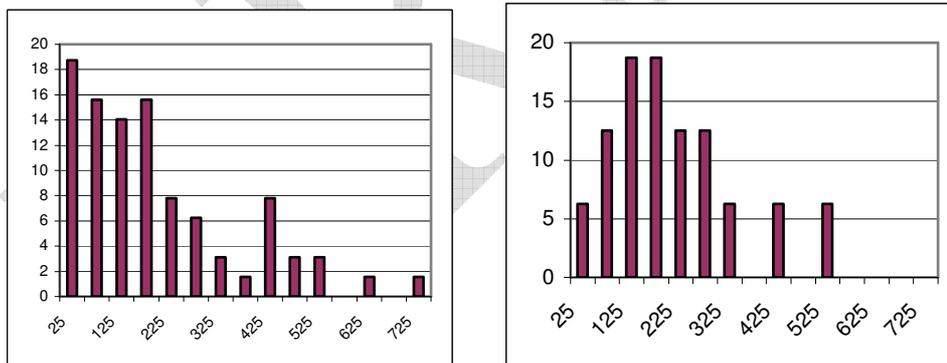


Рисунок 13.3. Гистограммы содержаний для блоков 1*1 м (слева) и 2*2 м (справа)

Такое соответствие скорее всего можно получить, если скважины бурились по регулярной сети, что очень нечасто встречается на практике. В противном случае единственным выходом для получения более или менее корректного распределения будет взвешивание проб перед расчетами.

Для последующего изложения примем, что мы имеем достаточно корректное распределение по рядовым пробам, которое характеризуется оцененными средним значением и дисперсией, а также определенной формой гистограммы.

При разработке месторождений оценка качества руды делается уже для объемов значительно больших, чем объем керновой пробы (Рис.13.4). Таким образом, мы получим гистограмму, характеризующую реальные условия разработки месторождения.

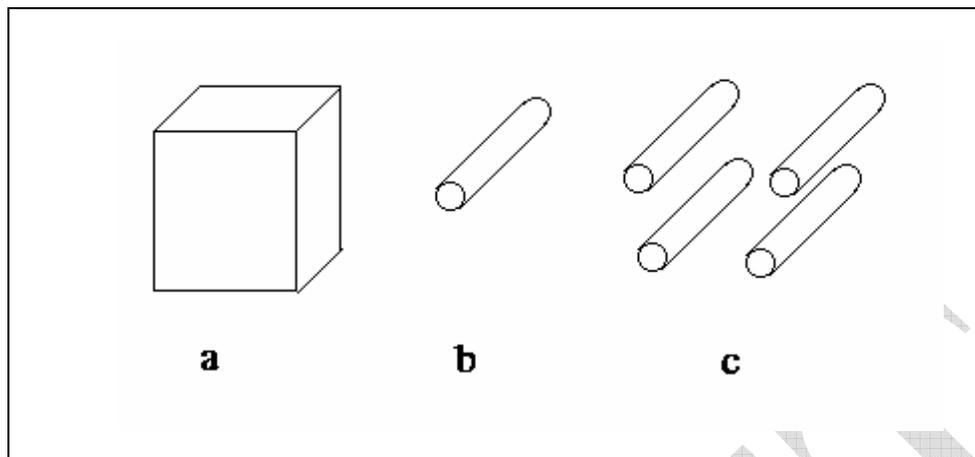


Рисунок 13.4. Различные основания для оценки запасов: а - выемочный блок, б - керновый образец, с- группа керновых образцов.

Если сеть разведочных выработок регулярна, то среднее этого распределения не будет сильно отличаться от среднего гистограммы проб. Однако, дисперсия будет намного меньше (Рис.13.5).

Если задавать различные бортовые содержания и для каждого значения рассчитывать запасы (тоннаж) руды и запасы металла, то получим функцию "тоннаж - металл" (Рис.13.6).

Из рисунка видно, что *оценка месторождения по керновым пробам всегда приводит к переоценке запасов металла, т.е. - к переоценке средних содержаний по месторождению*. И эта переоценка тем больше, чем больше разница в объемах пробы и элементарного выемочного блока и чем больше изменчивость месторождения.

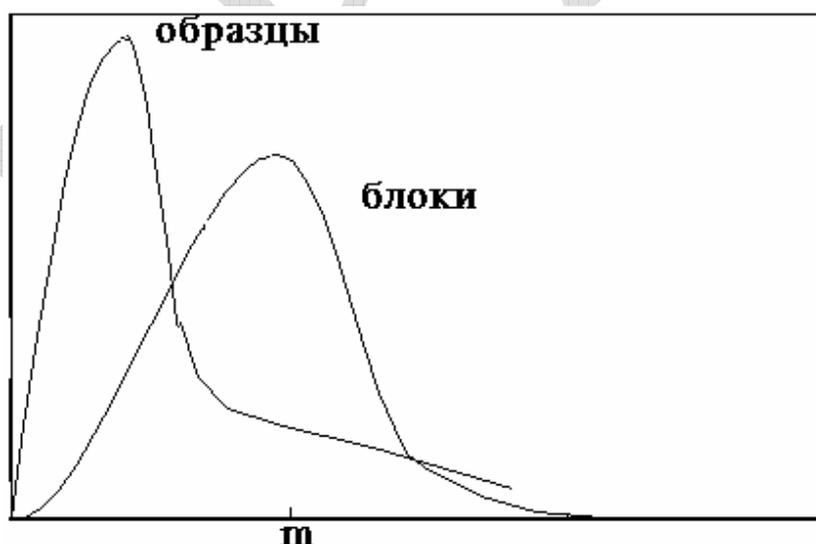


Рисунок 13.5. Гистограммы содержаний, построенные по разным основаниям

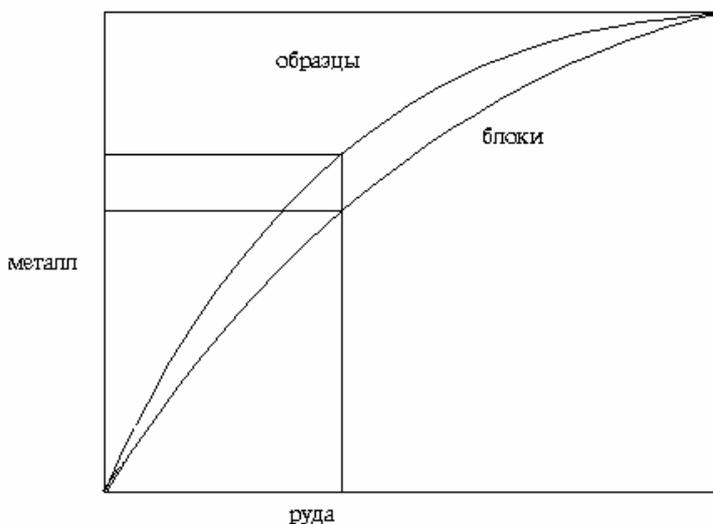


Рисунок 13.6. Зависимость запасов металла от запасов руды для различных оснований: образцов и блоков .

13.3. Информационный эффект оценки извлекаемых запасов.

Оценка запасов месторождения и проектирование горных работ, как правило, осуществляются после геологоразведочных работ по результатам довольно редкого опробования месторождения. Если мы выполним на этой стадии кригинговые расчеты и оценим блочную модель месторождения, то получим распределение с дисперсией равной разности фактической дисперсии используемых блоков и дисперсии кригинга. Но мы уже знаем, что чем меньше информации о залежи, тем большее сглаживание дает кригинг и тем меньше будет дисперсия полученного распределения кригинговых оценок.

Разработка месторождения обычно сопровождается появлением дополнительной информации, что приводит к изменению формы, размеров и пространственного положения эксплуатационных блоков; они часто оказываются меньше тех, которые оконтуривались и оценивались во время разведки. Меняются запасы месторождения и их структура - запасы оказываются иначе распределенными по установленным типам руд и классам содержаний полезного ископаемого. В результате горных работ обычно оказывается, что реальные запасы промышленных руд внутри оцененного ранее контура меньше, чем предсказанные. Особенностью оценивания является то, что ошибки предсказания запасов становятся известными только через длительные интервалы времени после получения оценок, т.е. только после добычи соответствующих объемов руды.

Решения, принимаемые в процессе горных работ, недолго остаются основанными на ранних оценках; они корректируются с учетом вновь поступающей информации.

Информационный эффект обуславливается неполнотой геологической информации, доступной во время разведки. Мы имеем только оценки значений блоков вместо истинных значений. Чтобы наглядно представить себе это, мы нарисуем диаграмму рассеивания истинных значений (ось Y) против оценок (ось X) для различных методов оценивания (рис. 13.7). В идеале оценочные значения должны быть эквивалентны настоящим, поэтому точки должны лежать на линии, проходящей через центр координат под углом 45 градусов. К сожалению, это не так. Они образуют облако точек, которое может быть представлено эллипсом.

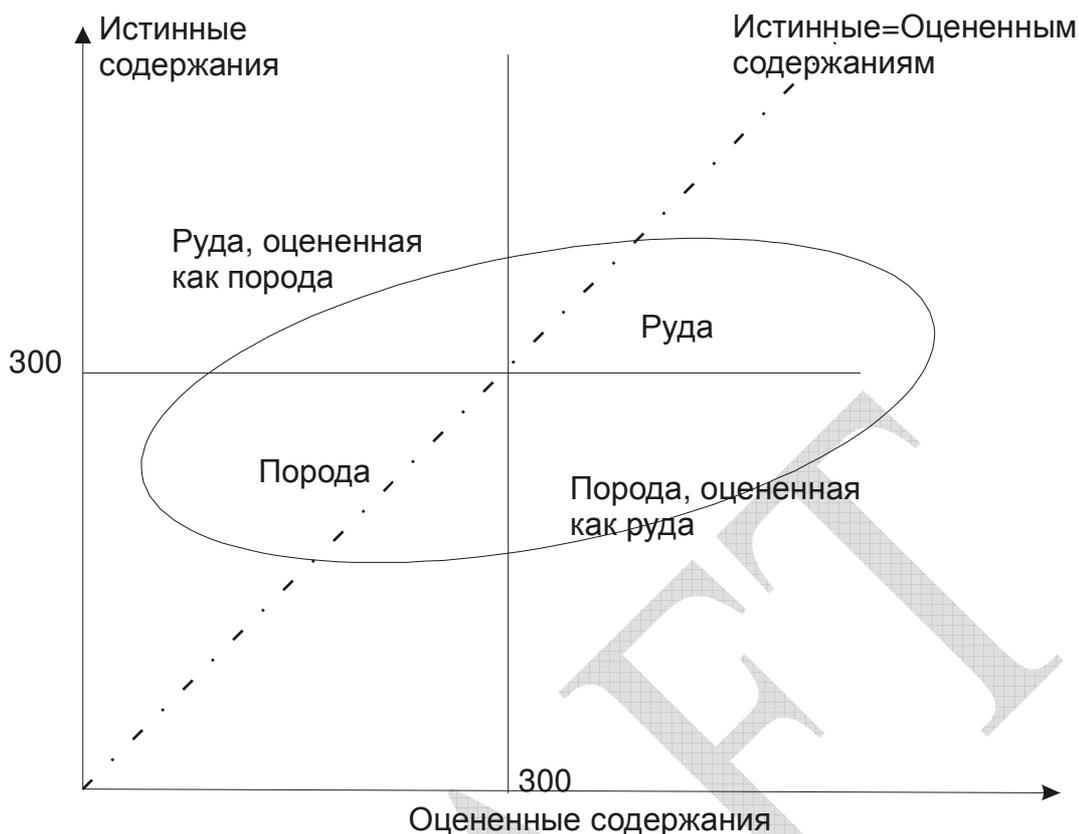


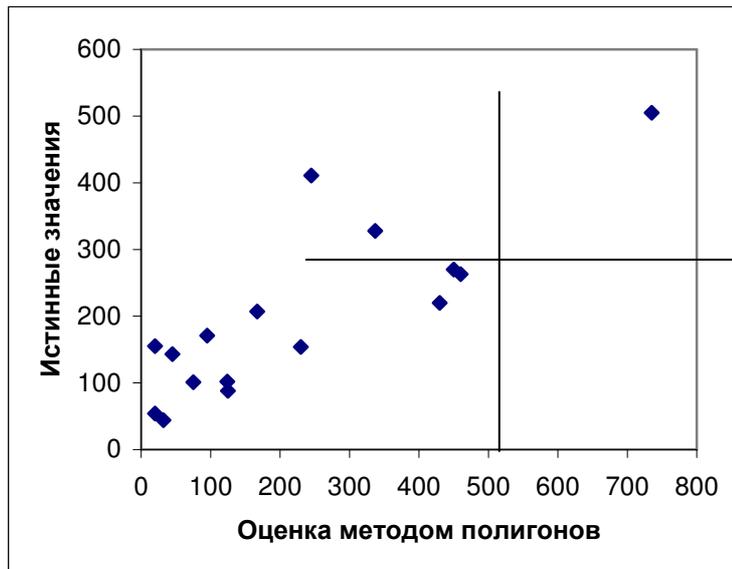
Рисунок 13.7. Диаграмма разброса истинных значений против оценочных. Облако точек ограничено эллипсом. Блоки с оцененным значением больше 300 намечены для добычи, в то время как могут быть добыты только блоки с действительным содержанием больше 300.

Когда планируется добыча руды, то все блоки, оцениваемые значения которых выше борта, считаются рудосодержащими. Это показано графически с помощью вертикальной линии с координатой $X=300$. Блоки правее этой линии выбраны для добычи. В действительности же мы хотим добыть блоки, истинные значения содержания которых больше 300. Горизонтальная линия с координатой $Y=300$ показывает это. Блоки выше этой линии должны быть добыты. Эти 2 линии делят всю область на четыре зоны:

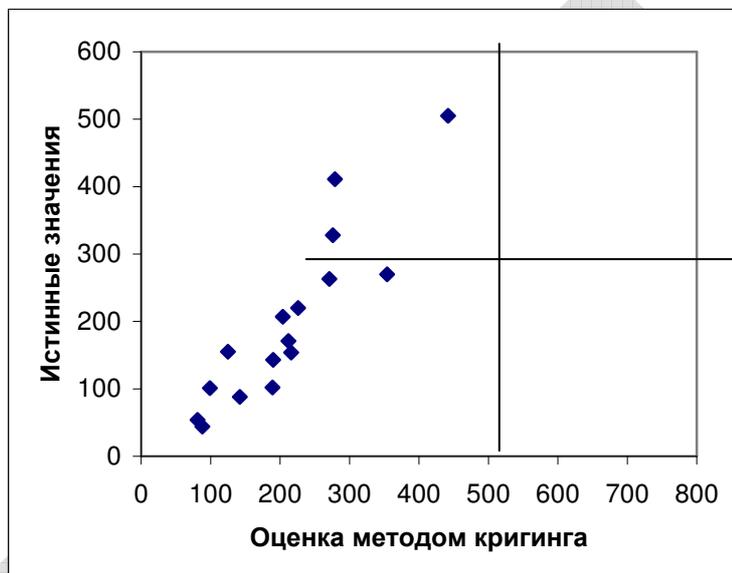
1. Истинные значения > 300 ; значение оценки > 300 . Эти блоки правильно оценены, как рудосодержащие. Они соответствуют правой верхней части диаграммы.
2. Настоящее значение < 300 ; значение оценки < 300 . Эти блоки пустой породы корректно оценены как пустая порода. Они лежат в левой нижней части диаграммы.
3. Настоящее значение > 300 ; значение оценки < 300 . Эти истинные рудосодержащие блоки были ошибочно отнесены к пустой породе; эта ошибка оценивания может иметь важное значение для рудника в будущем. Такие блоки лежат в левой верхней части диаграммы.
4. Настоящее значение < 300 ; значение оценки > 300 . Эти блоки пустой породы были некорректно отнесены к рудосодержащим. Этот второй тип ошибки может иметь негативные экономические последствия для рудника. Такие блоки расположены в правой нижней части диаграммы.

Рисунок 13.8 показывает диаграмму рассеяния, соответствующую 2-м методам оценки запасов для нескольких выемочных блоков: полигональному (БП) и кригингу. Для кригинга наклон кривой регрессии стремится к 1.0 (т.е. - 45 градусов), тогда как для полигонального метода он меньше 1.0. Теперь посмотрим на "форму" двух облаков. Кригинг дает более "тонкое" облако. Читатель может увидеть результат неверной

интерпретации блоков для каждого метода оценки (см. блоки в левой, верхней и правой, нижней четвертях). Сравнение подтверждает, что кригинг работает лучше.



a)



b)

Рисунок 13.8. Диаграмма рассеяния истинных значений в сравнении с оценками; (a) для полигональной оценки и (b) для кригинга. В идеале, точки должны лежать на диагонали (настоящие значения = значениям оценки).

Итак мы увидели, что эффекты информации и основания могут являться двумя важными причинами для неверного предсказания запасов. Поэтому учет их последствий при прогнозировании будущих рудопотоков очень важен.

13.4. Условное моделирование

Метод Условного Моделирования появился в начале 1970 г, как развитие более традиционного метода интерполяции - кригинга для оценки природных явлений. Он был реализован как альтернатива интерполяционным методам, из-за их способности в ряде случаев чрезмерно сглаживать значения оцениваемой переменной, что было неприемлемо во многих ситуациях.

В практике существуют 2 типа задач, решаемых на модели месторождения. Первый тип преследует цель возможно точной оценки средних содержаний в точках или

ячейках массива, и главный инструмент здесь - кригинг. Второй тип используется тогда, когда главная задача - определить характер изменчивости массива и спрогнозировать возможные колебания качества руды при работе горного предприятия. Точная оценка средних содержаний при этом часто не требуется. В данном случае используется метод условного моделирования.

Если для решения этой задачи использовать модель, полученную с помощью кригинга, то мы будем иметь заниженную дисперсию из-за сглаживающей способности кригинга. Таким образом, для решения данного класса проблем необходимо располагать моделью месторождений, дающей несмещенную оценку дисперсии содержаний в блоках.

Одна из задач этого типа - моделирование процессов отработки месторождения с целью получения информации об изменчивости качества руды, поставляемой на обогатительную фабрику. **При очень плотной сети опробования дисперсия оценки кригинга будет очень маленькой, а дисперсия реальных содержаний будет почти соответствовать дисперсии оценок кригинга.** В этом случае для моделирования процессов отработки можно вполне пользоваться оценками кригинга.

Однако, в реальной действительности (особенно на ранних стадиях освоения месторождения, например, при проектировании рудника или шахты) размер сети опробования, по которой создается блочная модель рудного тела, намного превышает размер элементарной ячейки модели, в результате чего дисперсия кригинга (а следовательно и его сглаживание) получается достаточно высокой. Следовательно, рассчитать по такой модели реальную картину изменчивости рудопотоков можно лишь с очень большим приближением.

Можно использовать технологию условного моделирования и для оценки риска при проектировании и планировании горных работ на данном месторождении. Здесь идея заключается в многократном повторении процесса моделирования участка массива и получении набора вариантов моделей, отличающихся значениями оценок содержаний блоков, но имеющих одинаковую структуру изменчивости. На этих моделях затем имитируется процесс отработки данного участка и получается множество возможных моделей рудопотоков с различными статистическими параметрами. По ширине зоны возможных колебаний уровня качества конечного рудопотока оценивается риск от неподтверждения геологической информации при отработке месторождения.

Точечные или блочные оценки, созданные кригингом или методом обратных расстояний, недостаточны, чтобы ответить на все вопросы, которые появляются относительно содержания, тоннажа и запасов металла. Например,:

- какова вероятность того, что содержание превысит специфический порог,
- какова вероятная ежедневная изменчивость содержаний в рудопотоке на Обогатительную фабрику,
- что повлечет за собой изменение высоты уступа или плотности опробования,
- что является лучшими и худшими сценариями горных работ, и
- как они повлияют на горный план?

Это только некоторые из вопросов, на которые можно ответить, используя Условное Моделирование.

13.5. Возможности Датамайн по оценке извлекаемых запасов

Сведения об извлекаемых запасах обычно приводятся в табличном или графическом виде и несут в себе информацию о том, сколько руды и какого качества может быть извлечено из месторождения, если обрабатывать его с каким-то бортовым содержанием (рис 13.9).

Например, из приведенных графиков видно, что при борте 3 г/т мы сможем добыть 6500 тыс. тонн руды со средним содержанием золота 8.5 г/т.

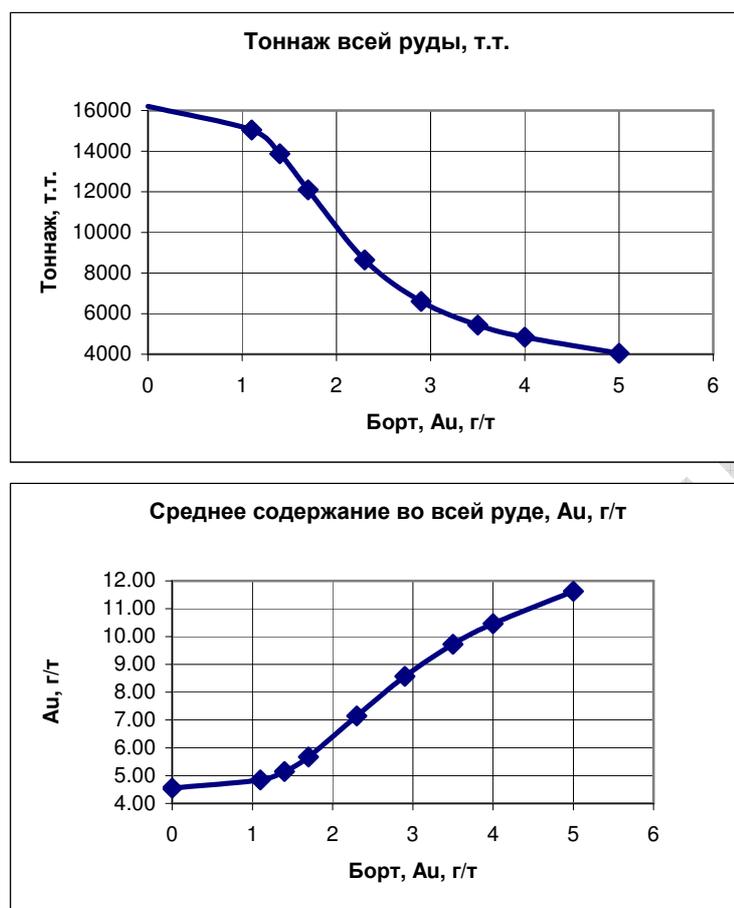


Рисунок 13.9. Кривые “Тоннаж-Содержание” для золоторудного месторождения

Графики на рисунке рассчитаны на основе геологических «in situ» запасов руды. Известно, что с изменением основания оценки (формы, ориентации и объема пространственных единиц, по которым выполняется оценка месторождения: керновая проба, валовая проба, выемочный блок и т.д.) характеристика запасов месторождения будет меняться. В системе Датамайн имеются специальные процессы, которые на основе 'Shortcut' метода (метод кратчайшего пути) позволяют определить тоннаж и содержание реальных извлекаемых запасов.

Процесс **SMUNIS** по результатам обработки блочной модели рассчитывает гистограммы тоннажа и среднего содержания в реально извлекаемых запасах для данного бортового содержания главного полезного компонента.

Процесс **SMUMOD** создает на выходе файл блочной модели, в котором для каждого блока рассчитаны извлекаемый тоннаж и среднее содержание (для указанного борта).

Хотя оба процесса используют на входе блочную модель, но Вы можете смоделировать месторождение в виде одного блока и рассчитать для него извлекаемые запасы. В этом случае Вы не должны проходить стадию создания блочной модели для использования этого метода.

Процесс **FFUNC** позволяет рассчитывать величину геостатистического параметра F (значение вариограммы для точек, находящихся в пределах блока заданного размера), требуемую для расчета дисперсии изменчивости ВГЕ в пределах блока с большими размерами. На входе в него требуется задавать параметры, уже знакомые при использовании рассмотренных выше процессов: @VGRAM, @LOG, @IPOINTS, @JPOINTS, @KPOINTS. Кроме этого, в интерактивном режиме Вы должны будете ввести

характеристики вариограммной модели и размеры ВГЕ, а затем – размеры блока модели. Процесс будет рассчитывать для них значение F. Требуемая дисперсия изменчивости будет равна разности этих величин.

Сейчас необходимо ввести 2 новых термина, которые используются в этих процессах.

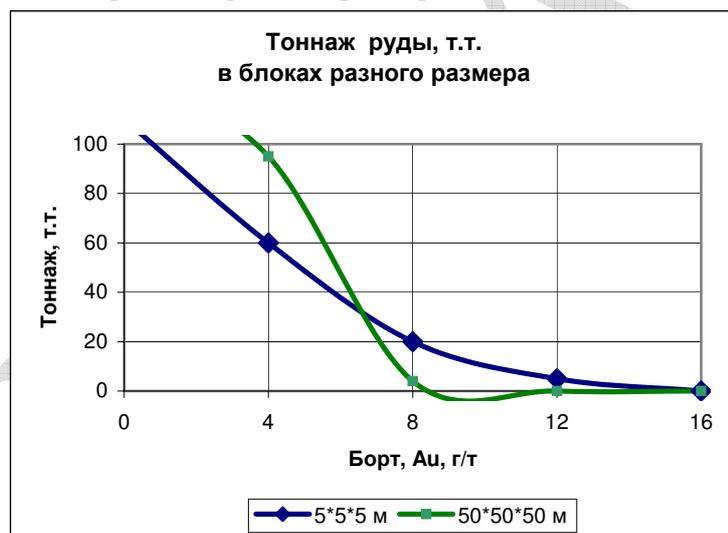
Блок геологических запасов – это ячейка или подъячейка блочной модели месторождения, которая характеризуется оценкой содержания и дисперсией этой оценки. Обычно интерполяция выполняется с помощью кригинга и созданной Вами вариограммной модели.

Выборочная горная единица, ВГЕ (Selective Mining Unit, SMU) - наименьшее количество добываемой горной массы, которое может быть выборочно отработано и классифицировано как руда или порода. При открытой разработке - это может быть объем одного самосвала или часть блока взорванной руды, характеризуемый средним содержанием по скважине БВР. Для подземных работ наиболее подходящим объемом может быть часть подэтажа или слой, отбиваемый одним веером скважин. Обычно размер ВГЕ меньше чем размер «родительской» ячейки блочной модели.

Рассматриваемые методы оценки извлекаемых запасов дают ответ на вопросы:

- 1. КАКОЕ КОЛИЧЕСТВО ВГЕ С СОДЕРЖАНИЕМ ВЫШЕ БОРТОВОГО НАХОДИТСЯ В ПРЕДЕЛАХ ЯЧЕЙКИ БЛОЧНОЙ МОДЕЛИ? И**
- 2. КАКОЕ ОНИ ИМЕЮТ СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ?**

Извлекаемые тоннаж и содержание в значительной степени зависят от размера ВГЕ. На рис. 13.10. показаны зависимости тоннажа и среднего содержания золота в руде от величины борта для разного размера ВГЕ.



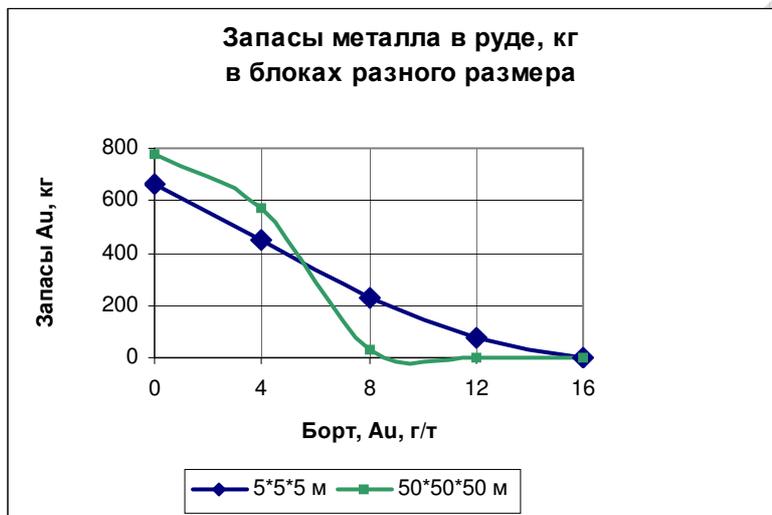
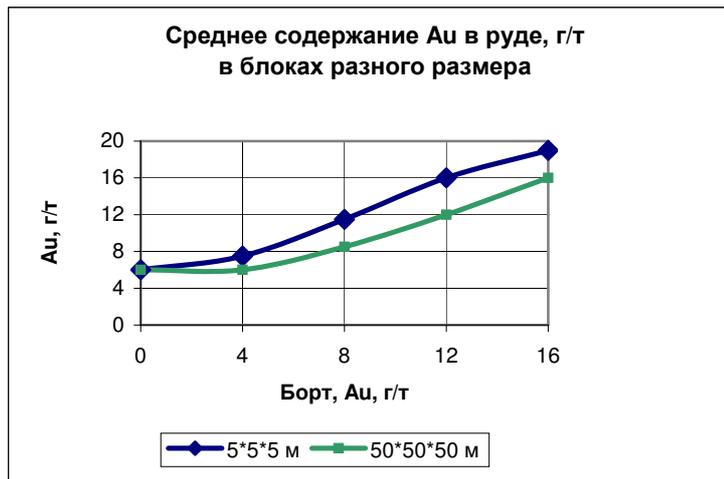


Рисунок 13.10. Зависимость тоннажа, среднего содержания и запасов золота в руде от борта для разных размеров ВГЕ.

Среднее содержание Au в руде месторождения равно 5.6 г/т. Первый график (рис. 13.10) показывает, что при борте ниже среднего содержания меньшие по размерам блоки дают меньшие извлекаемые запасы руды и золота. Это результат высокой степени сглаживания содержаний в больших блоках. Статистическое распределение содержаний в больших блоках будет иметь очень маленький разброс значений, т.к. из-за сглаживания в нем будут отсутствовать блоки с очень высоким или очень низким содержанием. Из второго графика видно, что среднее содержание в маленьких блоках всегда будет выше, чем в больших.

Чтобы использовать данную технологию оценки извлекаемых запасов Вы должны иметь предварительное представление о **законе распределения ВГЕ внутри ячеек блочной модели**. Вы можете сделать выбор из 2-х возможностей:

- Нормальное распределение
- Логнормальное распределение

Это не такое простое дело – выбрать наиболее подходящий закон распределения. Если размер ВГЕ очень мал, а распределение проб близко к логнормальному, то есть большая вероятность, что распределение ВГЕ также будет логнормальным. Когда распределение проб нормальное или слабо асимметрично, или когда размер ВГЕ относительно велик, то следует использовать нормальное распределение.

Чтобы улучшить характеристики логнормального распределения, иногда используются **дополнительная константа**, вводимая параметром @ADDCON. При этом

делается предположение, что, если к оцененным содержаниям прибавить какую-то константу, то полученное множество будет распределено логнормально.

Кроме типа предполагаемого распределения ВГЕ при запуске рассматриваемых процессов необходимо задать еще 2 параметра:

- Среднее содержание в ВГЕ и
- Дисперсию содержаний ВГЕ.

Лучшей оценкой среднего содержания в ВГЕ является содержание в соответствующей ячейке блочной модели. Лучшей оценкой дисперсии будет рассчитанная с помощью процесса FFUNC (см. ниже) дисперсия изменчивости для заданного размера ВГЕ. При отсутствии этого параметра (@DISVAR), программа рассчитывает его самостоятельно, как сумму дисперсии кригинга и дисперсии изменчивости ВГЕ. Имея значения среднего содержания и дисперсии ВГЕ в ячейках модели, программа легко может рассчитать долю запасов с содержанием выше заданного бортового. Следует понимать, что программы SMUNIS и SMUMOD не могут при этом указать расположение кондиционных запасов в оцениваемом блоке.

Оба вышеназванных процесса работают аналогично и требуют почти идентичного набора входной информации. Если параметр @DVMETHOD=1, то программа будет использовать значение дисперсии, указанное параметром @DISVAR. При @DVMETHOD=2 или =3 программа будет рассчитывать ее самостоятельно.

Когда Вы используете вариант @DVMETHOD=1, то получаете большую гибкость в действиях, т.к. сможете в любое время изменить параметр @DISVAR, рассчитывая его другими более подходящими методами. Однако, в этом случае параметр @DISVAR будет применен ко всем ячейкам модели, что при различном их размере приведет к искажению результатов. Таким образом, эта опция подходит только в случае, когда в модели нет подъячеек.

В случае использования @DVMETHOD=2, программа будет рассчитывать единственное значение дисперсии только для основных ячеек модели. Единственное преимущество этого варианта перед предыдущим – то, что Вам не надо будет предварительно рассчитывать параметр @DISVAR.

Вариант @DVMETHOD=3 самый точный и удобный (принимается программой по умолчанию), т.к. программа будет сама рассчитывать дисперсию для каждой ячейки и подъячейки модели.

Для ускорения работы программы иногда необходимо контролировать еще ряд параметров.

Если @VARTYPE=1, то при расчете дисперсии каждый раз учитываются точные размеры ячейки (подъячейки). Это самый медленный способ расчета.

Когда @VARTYPE=2, то программа запоминает ранее использованные размеры подъячеек и применяет аппроксимацию для подбора наиболее подходящего известного ей размера к очередной подъячейке. Этот метод работает намного быстрее, но требует дополнительного определения параметров @XSTEP, @YSTEP и @ZSTEP. Точность оценки извлекаемых запасов для этого метода практически не отличается от метода 1.

Например, если установлено @XSTEP=2, @YSTEP=3, @ZSTEP=5 (эти размеры определяют минимальную подъячейку), а размер основной «родительской» ячейки равен 20x30x10, то количество возможных вариантов подъячеек с разными размерами составит $10 \times 10 \times 2 = 200$, начиная от 2x3x5, 4x3x5, 2x6x5, 2x3x10 и т.д. до 20x30x10. К каждой конкретной подъячейке будет подбираться ближайший размер (из разрешенных), и ей будет присвоено значение дисперсии, рассчитанное ранее для подобранного варианта. Минимальное значение параметров @XSTEP, @YSTEP и @ZSTEP не должно быть меньше размера основной ячейки (в данном направлении), деленного на 20.

В процессе расчета дисперсии каждая подъячейка преобразуется к 3-х мерной матрице регулярных точек, количество которых по каждому направлению задается

параметрами @IPOINTS, @JPOINTS и @KPOINTS. Чем больше Вы зададите точек, тем дольше программа будет работать. Обычно бывает достаточно задать матрицу 4X4X4 точки.

Тип распределения задается параметром @SMUDIST (1=нормальное, 2=логнормальное). Один из недостатков нормального распределения является теоретическая возможность иметь точки (пробы) с отрицательными значениями, хотя в геологической практике такое не встречается. В некоторых ситуациях это может привести к переоценке запасов. Такая же ситуация может иногда встретиться и при логнормальном распределении, когда используется дополнительная константа. Если такая ситуация имеет место, то процесс будет предупреждать об этом пользователя.

Применяя @DVMETHOD = 2 или 3, Вы должны будете задать характеристики вариограммной модели. Тип модели определяется @VGRAM, а параметры вводятся интерактивно в ответ на запросы программы после запуска процесса. Если применяется логнормальная модель, то параметр @LOG должен быть равным 1.

13.6. Технология Условного Моделирования Datamine

Наиболее широко используемые алгоритмы для Условного Моделирования разработаны Deutsch и Journel в их книге **GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide**. Есть много методов такого моделирования, включая самое популярное, Последовательное Гауссовское Моделирование, которое было включено в команду SGSIM Datamine. Две других подпрограммы GSLIB для преобразования данных к Гауссовскому распределению и обратно также были включены, в виде команд NSCORE и BACKTR соответственно. Код GSLIB был увеличен для использования всех трех процессов, чтобы улучшить их эффективность и возможности.

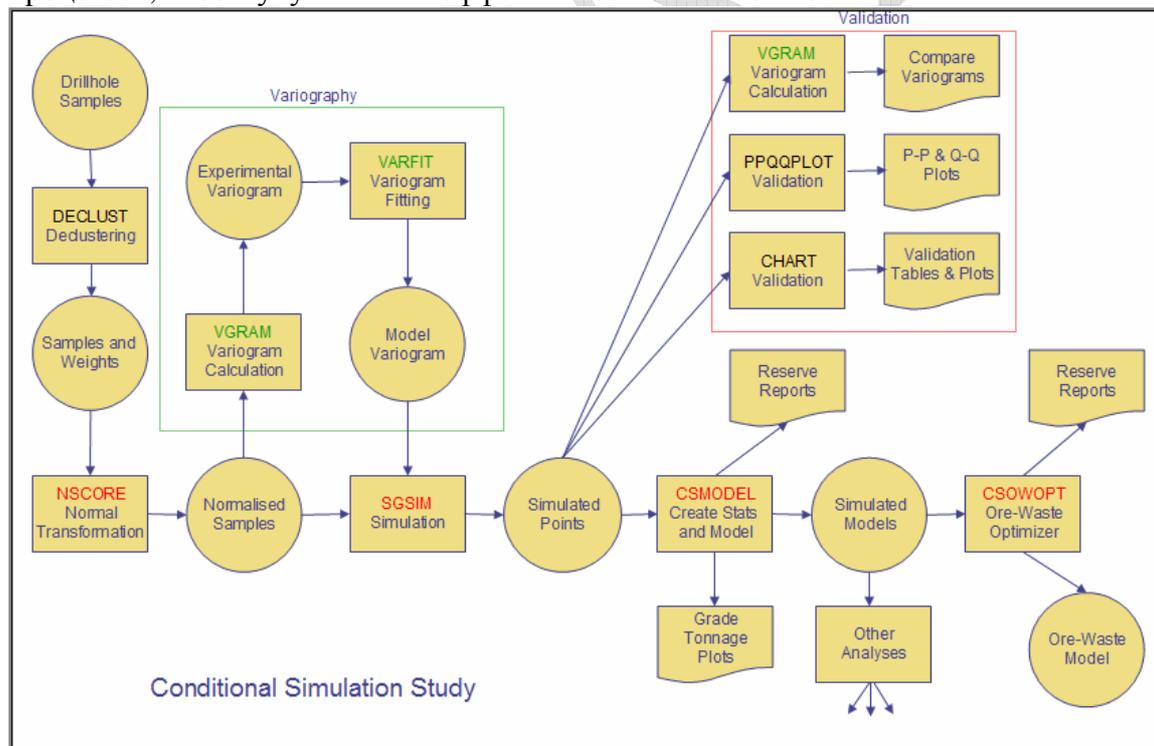


Рисунок 13.11. Последовательность условного моделирования в системе Датамайн

Создание сетки моделируемых точек - только первая стадия процесса Условного Моделирования. Преобразование данных Datamine и команды манипуляции данными обеспечивают мощные инструменты для того, чтобы анализировать и интерпретировать моделируемые содержания. Однако две дополнительных команды были включены как часть модуля Условного Моделирования, которые специально предназначены для

обработки результатов моделирования. Команда CSMODEL обеспечивает детальный статистический анализ условных распределений смоделированных ячеек модели, позволяя задавать доверительные пределы, и команда CSOWOPT, которая оптимизирует выбор рудных и породных блоков модели, минимизируя потерю из-за ошибочной классификации, является особенно полезной для управления качеством руды.

Проверка достоверности

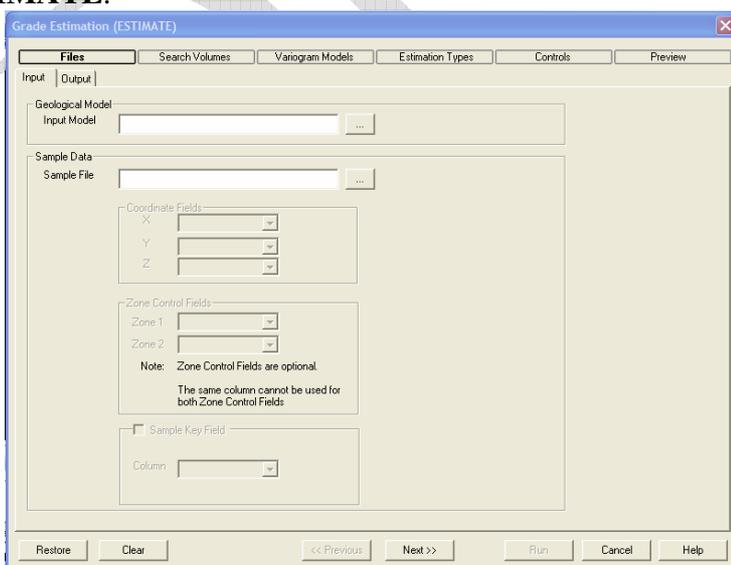
Важная часть любого моделирования (имитации) - это гарантия того, что статистические параметры, распределения и пространственная корреляция моделируемых точек соответствуют реальным данным опробования. Чтобы легко достичь этого, два статистических процесса, DECLUST и QUANTILE были модернизированы и два новых процесса, CHART и PPQQPLOT были добавлены к системе. Они позволяют легкое создание таблиц проверки достоверности и чертежей, включая гистограммы и кумулятивные гистограммы в нормальном и логарифмическом масштабах, вероятностные и лог- вероятностные чертежи, а также Q-Q и P-P диаграммы.

Показанная выше схема (рис. 13.11) изображает последовательность типичного Условного Моделирования.

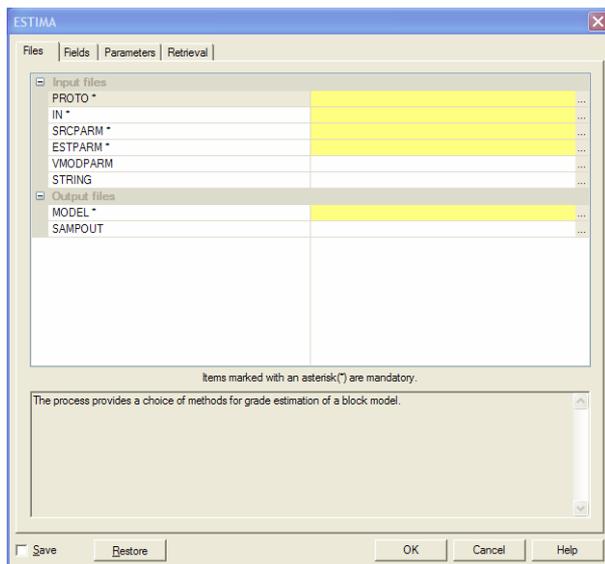
14. Процесс ESTIMA

Есть многочисленные методы для того, чтобы с помощью данных опробования интерполировать содержания в блочной модели. Процессы Студии 3 **ESTIMA** и **ESTIMATE** обеспечивают диалоговый интерфейс, с помощью которого наряду с файлами модели и опробования могут быть определены метод оценки и критерии ограничения .

ESTIMA - это процесс, введенный в версии 3.7 Datamine и полностью сохраненный в Студии 3, охватывает все особенности команд, используемых в Оценке Содержаний, и обеспечивает богатый и гибкий пользовательский интерфейс (способный полностью управляться с помощью скриптов), чтобы руководить Оценкой Содержаний. Это Руководство пользователя описывает процесс оценки содержаний, используя команду **ESTIMA**, а также его диалоговую, управляемую с помощью меню коллегу - команду **ESTIMATE**.



Диалоговое окно меню ESTIMATE



Диалоговое окно процесса ESTIMA

ESTIMA и **ESTIMATE** включают методы интерполяции из двух модулей Датамайн: "Моделирование рудных тел" (MOD) и "Расширенной Геостатистики" (EGS).

Модуль (MOD) включает интерполяцию методами **Nearest Neighbour (NN)**, **Inverse Power of Distance (IPD)** и **Sichel's t Estimator (ST)**. Этот модуль также включает **Ordinary Kriging (OK)** с одноструктурной сферической моделью Вариограммы.

Дополнительные опции, включенные в модуль EGS - выбор моделей Вариограммы, **lognormal kriging (LK)** и **Simple Kriging (SK)**.

ESTIMA - очень развитый процесс, который может требовать значительного количества входной информации. Поэтому, чтобы облегчить его использование, создан диалог 'Файлы, Поля и Параметры', показанный выше.

Независимо от того, управляете ли Вы процессом **ESTIMA** как стандартным процессом из командной строки или с помощью макроса через стандартный диалог, или использованием расширенного диалога меню **ESTIMATE**, для Вас будет выгодно понять основные принципы процесса, описанные ниже.

Главные особенности **ESTIMA** и **ESTIMATE**:

- Единые установки для объема поиска и параметров оценки для всех методов
- Оптимизация поиска проб, для улучшения быстродействия
- Несколько содержаний (металлов) могут быть оценены в одном запуске программы
- Одно и то же содержание (металл) может быть оценено различными методами
- Различные объемы поиска и параметры оценки могут использоваться для различных содержаний
- Прямоугольный или эллипсоидальный объем поиска с учетом анизотропии
- Динамический объем поиска, позволяющий увеличивать его размеры, если в нем нет требуемого количества проб
- Ограничение числа проб октантом
 - Ограничение числа проб по ключевому полю
 - Оценка по зонам, с отдельными параметрами для каждой зоны
 - Широкий выбор типов моделей вариограмм для нормального и логнормального кригинга
 - Автоматическое преобразование данных, если входная модель является повернутой
- Опция разворачивания складок доступна для всех типов оценки
- Оценка родительских ячеек

- Выборочная модификация нужных частей модели

Меню **ESTIMATE** использует процесс **ESTIMA**, чтобы обеспечить точные и надежные результаты, но кроме этого обеспечивает набор современных интерактивных и удобных в работе диалогов. Кроме того, меню **ESTIMATE** позволяет Вам использовать для оценки содержаний Индикаторный Кригинг (ИК).

Входная Модель

Все методы оценки требуют прототипа блочной модели для интерполяции содержаний. Если указанная модель прототипа уже будет содержать ячейки и подъячейки, то значения будут интерполированы в существующую структуру ячеек. Если она пустая, то ячейки и подъячейки будут созданы там, где будет достаточно проб в пределах объема поиска.

Объем Поиска

‘Объем Поиска’ является объемом, содержащим пробы, которые используются для оценки содержания; он центрирован на оцениваемой ячейке.

Все методы, доступные с помощью интерфейса **ESTIMATE**, требуют объема поиска, который Вы можете импортировать или определить с помощью таблицы интерфейса *Search Volume*. Вы можете определить больше чем один объем поиска так, чтобы различные содержания могли иметь другие объемы поиска.

Модели Вариограммы

Модели Вариограммы могут быть импортированы, или определены в таблице *Variogram Models*.

Параметры Оценки

Необходимо задать ряд параметров оценки для каждого содержания, которое будет оценено. Эти параметры могут быть импортированы как файл *Параметров Оценки*, или они могут быть определены в таблице диалога *Estimation Type*. Параметры должны включать: метод оценки, номера объема поиска и специфические данные выбранного метода оценки, например - показатель степени, если был выбран метод Обратных Расстояний.

14.1. Краткий обзор ESTIMA

Этот раздел определяет ключевые особенности и функции Оценки Содержаний с помощью процесса **ESTIMA** в Студии 3.

Независимо от того, запущен ли этот процесс, используя диалоги **ESTIMA**, **ESTIMATE** или командой Скрипта, он является процессом **ESTIMA**, который обеспечивает основные функции.



ESTIMA требует Входного прототипа Модели и набора данных опробования на входе. Обычно прототип модели содержит ячейки и подъячейки, которые представляют, например, геологическую структуру. В этом случае значения содержаний будут интерполироваться в существующий набор ячеек и подъячеек. Если однако, Вы определили пустой прототип (то есть он не содержит какие либо ячейки, или подъячейки), тогда **ESTIMA** создаст ячейки и подъячейки в области вокруг проб как определено объемом поиска. Поэтому соответствующие ячейки модели будут включать как ячейки так и подъячейки. Полная ячейка будет соответствовать родительской ячейке.

Файл Опробования содержит данные, которые Вы используете, чтобы оценить содержание ячейки. Как минимум он должен включать X, Y и координаты Z каждой пробы и по крайней мере одно значение содержания.

ESTIMA требует, чтобы Вы определили объем поиска. Это объем, центрируемый на оцениваемой ячейке, содержит пробы, которые будут использоваться для оценки содержаний. Вы можете определить больше чем один объем поиска, так, чтобы различные содержания могли иметь различные объемы поиска. Параметры описывающие объемы поиска вводятся в **ESTIMA** используя файл Параметров объема Поиска.

ESTIMA также требует, чтобы Вы определили набор параметров оценки для каждого содержания, которое будет оцениваться. Эти параметры также вводятся в **ESTIMA** с использованием файла - в этом случае файл Параметров Оценки. Он будет включать пункты такие как метод оценки, ссылка на номер объема поиска и например степень, если выбран метод Обратного Расстояния.

Каждая ячейка выбирается по очереди из Входной Модели прототипа и интерполируется по пробам, находящимся в пределах объема поиска.

Каждое содержание (металл), которое определено в файле Параметров Оценки оценивается, и результаты записываются в файл Выходной Модели.

Список файлов, используемых в **ESTIMA**, приведен ниже:

PROTO	Входная модель прототипа
IN	Данные опробования
SRCPARM	Параметры объема поиска
ESTPARM	Параметры Оценки
VMODPARM	Параметры Модели вариограммы

STRING	Разворачивающие линии
MODEL	Выходная Модель
SAMPOUT	Выходные пробы

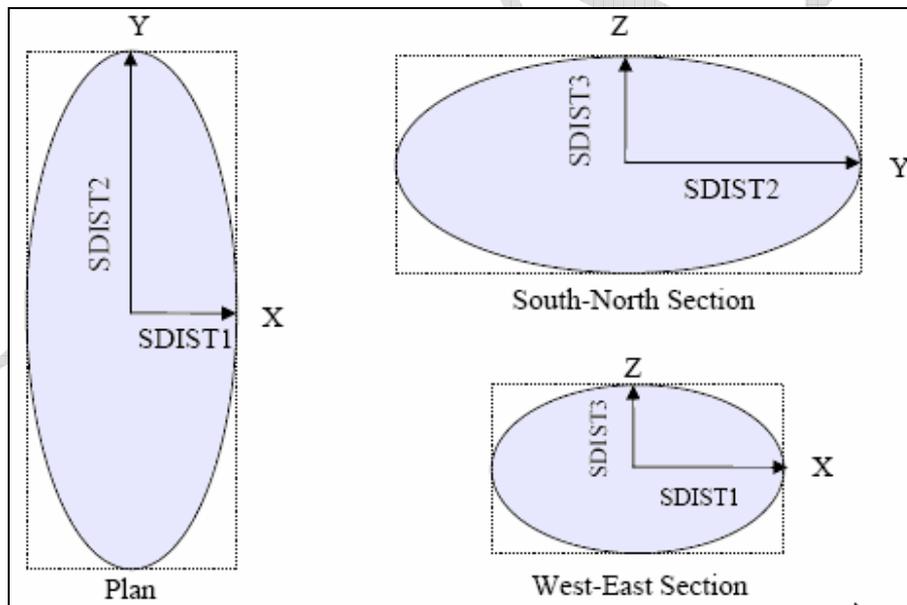
Другая информация определяется для процесса как поля и параметры.

14.2. Объем поиска

Один или большее количество объемов поиска определяются, используя Файл Параметров объема Поиска (&SRCPARM). Каждая запись в файле определяет отдельный объем поиска и каждый объем поиска имеет уникальный Номер Ссылки (поле SREFNUM). Это означает, что объем поиска может быть уникален для индивидуального содержания, или он может быть распределен на два или больше содержания.

Вы определяете метод задания объема поиска полем SMETHOD. Установка SMETHOD = 1 дает трехмерный прямоугольный параллелепипед и установка 2 дает эллипсоид. Единственное различие в том, что прямоугольный метод выберет пробы в “углах” объема поиска как иллюстрировано на рисунке. Во всех будущих описаниях объем поиска дается в виде эллипсоида поиска, который является значением по умолчанию.

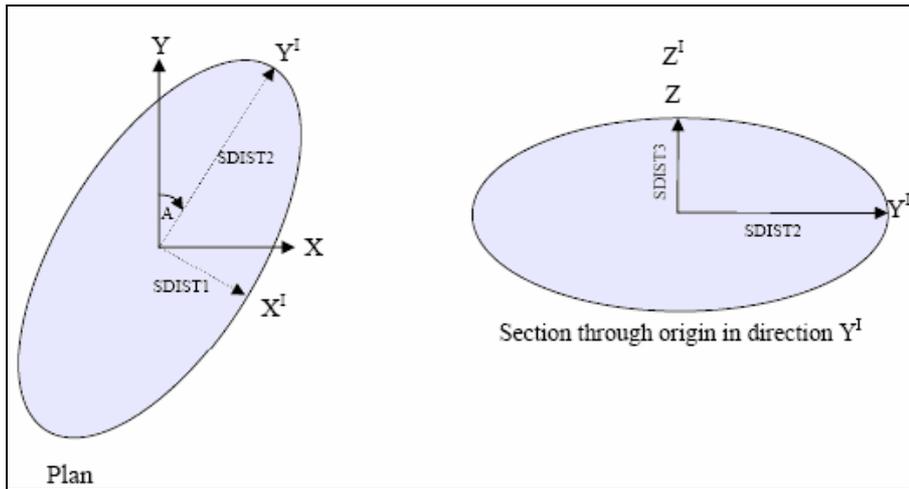
Длины осей эллипсоида определены, используя поля SDIST1, SDIST2 и SDIST3. Изначально SDIST1 соответствует оси X, SDIST2 - Y и SDIST3 - Z.



Соответствие Осей Эллипсоида поиска координатным осям

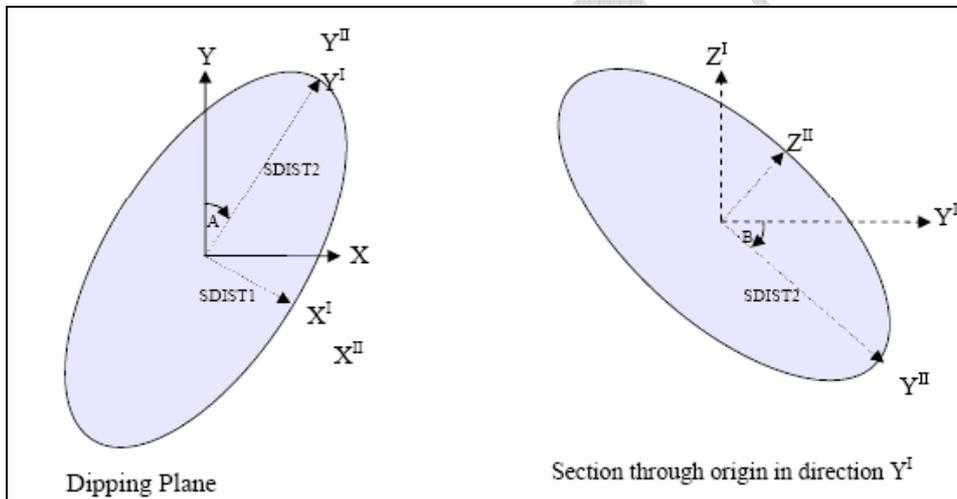
Вы можете задавать один, два или три поворота. Для каждого поворота Вы должны определить, угол и ось координат, относительно которой выполняется вращение. Для этой цели ось X обозначена как ось 1, Y ось, как ось 2, и Z ось, как ось 3. Угол вращения измеряется по часовой стрелке, если смотреть по направлению положительной оси к началу координат. Отрицательный угол вращения означает вращение против часовой стрелки.

Например, если первое вращение будет на A градусов вокруг оси 3 (Z), тогда эллипс поиска ориентируется как показано ниже:



Поворот на угол +A вокруг оси Z(3)

Если эллипсоид поиска затем поворачивается на B градусов вокруг новой оси X, то результат виден на рисунке:



Результат 2-х поворотов осей координат

Этот пример иллюстрирует обычное вращение сначала по азимуту и затем по падению. Однако Вы можете использовать любой метод вращения, который Вам нравится, определяя и углы и оси для трех вращений.

Моделируйте с помощью левой руки.

Иногда может быть полезно использовать пальцы вашей левой руки для моделирования вращения. Направьте ваш указательный палец прямо перед Вами, ваш большой палец вверх, и ваш второй палец направо поперек вашего тела. Напишите номер 1 на вашем втором пальце, 2 на вашем указательном пальце и 3 на вашем большом пальце. Ваш второй палец - ось X, направление на Восток, ваш указательный палец - ось Y,, направление на Север, и ваш большой палец - ось Z, указывающая вверх.

Моделирование двух вращений в предыдущем примере, сначала Вы держите Ваш большой палец (левой руки) правой рукой и вращаете два других пальца по часовой стрелке. Затем держите ваш второй палец, и вращаете Ваш указательный палец и большой палец по часовой стрелке в вертикальной плоскости. Ваши пальцы теперь расположены вдоль осей повернутого эллипсоида поиска.

Поля SANGLE и SAXIS

Поля в файле Параметров объема Поиска, которые определяют первое вращение - SANGLE1 и SAXIS1. В предыдущем примере использовали сначала SANGLE1 - угол A, и SAXIS1 - 3 (Z). Второе вращение было определено, как SANGLE2 (угол B) и SAXIS2 - 1 (ось X). Установка SANGLE3 и SAXIS3 как - (Отсутствующие данные) или 0 означает, что 3-й поворот не используется.

Динамический объем поиска

Он часто полезен для определения категории запасов, основанных на количестве проб в пределах объема поиска. Например:

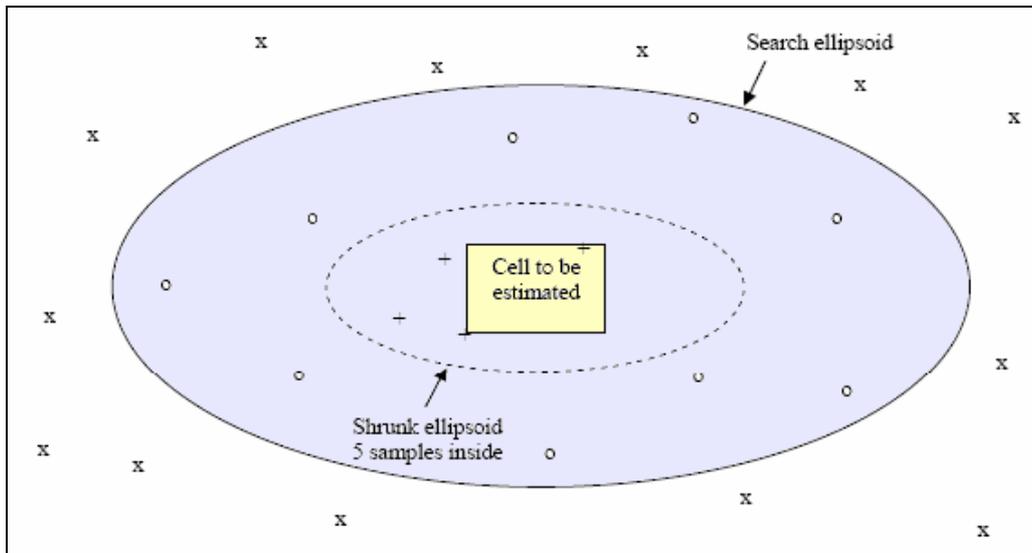
- Measured (Доказанные) - по крайней мере 6 проб в пределах 20 м
- Indicated (Вероятные) - по крайней мере 4 пробы в пределах 40 м
- Inferred (Возможные) - по крайней мере 2 пробы в пределах 60 м

Вы можете делать это при однократном запуске **ESTIMA**, определяя три концентрических объема поиска, минимум и максимум числа проб для каждого объема. Первый объем поиска (который должен быть самым маленьким объемом) определяется, используя оси поиска SDIST1, SDIST2 и SDIST3 как описано ранее. Второй объем поиска определяется умножением этих осей поиска на SVOLFAC2. Значение SVOLFAC2 должен быть или 0 или ≥ 1 . Если он установлен как нуль, тогда второй или третий объемы поиска не используются.

Если SVOLFAC2=1 тогда второй объем поиска будет иметь те же самые измерения как и первый объем поиска. В этом случае минимальное число проб для второго объема должно быть меньше чем минимальное количество для первого.

SVOLFAC3 - умножающий коэффициент для 3 объема поиска. Он должен быть или нуль, или \geq SVOLFAC2.

Для каждого объема поиска Вы можете также определять минимум и максимум количества проб. MINNUM1 и MAXNUM1 относится к первому объему поиска, MINNUM2 и MAXNUM2 – ко второму, и MINNUM3 и MAXNUM3 – к третьему. Если имеется больше проб чем **MAXNUM_n** в пределах объема поиска n, тогда только 'самые близкие' пробы будут выбраны. Самые близкие определены в единицах преобразованного расстояния и в зависимости от объема поиска (в соответствии с осями эллипсоида). Эллипсоид поиска будет концентрически сокращаться до тех пор, пока в пределах его останется нужное количество (**MAXNUM_n**) проб. Это показано на следующем рисунке:



Эллипсоид поиска сжимается до тех пор, пока в нем не останется только MAXNUMn проб

На рисунке пробы, обозначенные x, лежат вне эллипсоида поиска. Имеется 14 проб внутри эллипсоида, обозначенные o и +. Если MAXNUM1 установлен 5, то эллипсоид будет сжиматься до тех пор, пока только 5 проб, обозначенных +, не будут лежать внутри него. Только эти 5 проб будут использованы для оценки значения ячейки.

Объем поиска 1 применяется первым. Если в нем имеется проб меньше чем MINNUM1, тогда для поиска используется 2-й объем. Если и там все еще меньше проб чем MINNUM2, то применяется 3-й объем поиска. Если и там проб меньше чем MINNUM3, то величина содержания для этой ячейки устанавливается как отсутствующие данные (-).

Вы можете записывать, какой объем поиска использован для каждой ячейки, определяя поле SVOL_F в Файле Параметров Оценки. Это - числовое поле, которое будет добавлено в Файл выходной Модели и иметь значения 1, 2 или 3 в зависимости от номера объема поиска.

Преобразованное расстояние

Если в объеме поиска имеется проб больше чем MAXNUMn, тогда эллипсоид поиска будет сокращен так, что их останется только MAXNUMn. В ESTIMA это делается так, что вычисляется преобразованное расстояние для каждой пробы, и затем производится сортировка проб по преобразованным расстояниям. Чтобы вычислить преобразованное расстояние, данные проб сначала поворачиваются в систему координат эллипсоида поиска. Если в повернутой системе центр эллипсоида находится в точке (0, 0, 0), а проба - в точке (X, Y, Z) тогда ее преобразованное расстояние D вычисляется по формуле:

$$D = [(X / \text{SAXIS1})^2 + (Y / \text{SAXIS2})^2 + (Z / \text{SAXIS3})^2]^{0.5}$$

Проба, находящаяся на эллипсоиде поиска будет поэтому иметь преобразованное расстояние 1, а все пробы внутри эллипсоида будут иметь преобразованные расстояния меньше чем 1.

Это вычисление преобразованного расстояния иллюстрировано ниже простым примером:

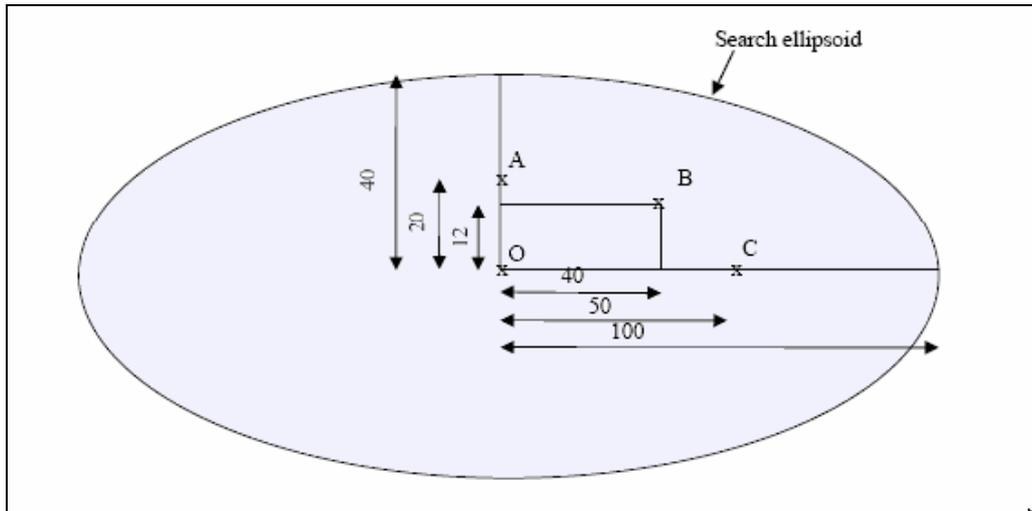


Рисунок показывает пробы A, B и C, повернутые в систему координат эллипсоида поиска. Оси эллипсоида поиска - SAXIS1=100 и SAXIS2=40. Этот Пример имеет 2 измерения, так что значение SAXIS3 не имеет значения. Преобразованные расстояния точек A, B и C от начала координат O рассчитаны как:

Точка A ($X = 0, Y = 20$):

$$D_A = [(0 / 100)^2 + (20 / 40)^2]^{0.5} = 0.5$$

Точка B ($X = 40, Y = 12$):

$$D_B = [(40 / 100)^2 + (12 / 40)^2]^{0.5} = 0.5$$

Точка C ($X = 50, Y = 0$):

$$D_C = [(50 / 100)^2 + (0 / 40)^2]^{0.5} = 0.5$$

Поэтому в этом примере все три точки - имеют то же самое расстояние от центра.

Октанты

Часто случается, что пробы неравномерно распределены вокруг оцениваемой ячейки, и сгруппированы вместе. Использование описанного выше метода стягивающего объема поиска, может привести к выборкам в одной области, имеющей неправильное влияние на содержание ячейки. Эта проблема решается, разделением объема поиска на октанты и заданием минимального числа октантов, имеющих пробы.

8 октантов могут быть созданы определением 3-х плоскостей, параллельных осям эллипсоида поиска. Эти плоскости пересекаются в начале координат эллипсоида, которое является также центром оцениваемой ячейки.

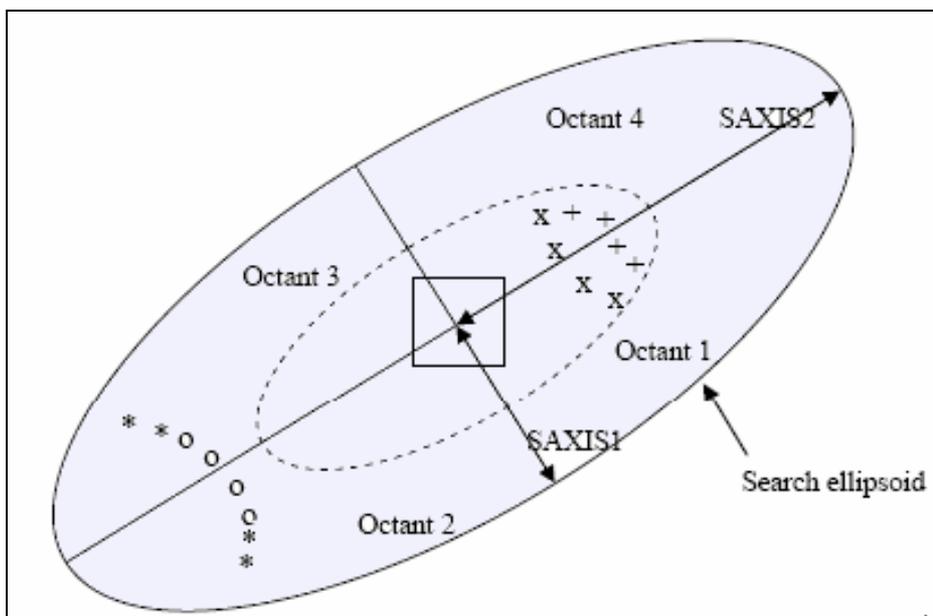


Рисунок выше иллюстрирует метод октантов. Эллипсоид поиска содержит 16 проб, обозначенных O, *, X, и +, и в этом примере все 16 проб лежат над плоскостью XY. Если MAXNUM1 установлен = 16 или больше, тогда все 16 проб были бы выбраны. Однако, если MAXNUM1 установлен как 8, тогда только 8 проб обозначенных X, и + будут выбраны. Оценка содержания ячейки в этом случае очевидно будет смещено к пробам в Северо-восточной части объема поиска.

Если применяется поиск по октантам с максимальным числом проб 2 на октант, тогда будут выбраны 2 пробы в каждом октанте, которые являются самыми близкими к центру ячейки, Эти пробы обозначены O и X. Это было бы предпочтительней по отношению к выбору всех 8 проб в только в Северо-восточной области.

Октанты от 1 до 4 лежат над плоскостью XY, как показано на рисунке, октант 1 является Северо-Восточным октантом. Октанты от 5 до 8 лежат ниже плоскости XY, под октантами 1-4 соответственно.

Имеются 4 значения, которые управляют поиском с использованием октантов, и они указаны как поля в файле Параметров объема Поиска. Если в октанте достаточно проб, то он рассматривается, как 'заполненный'. Если достаточно октантов «заполнено», тогда ячейка будет оценена.

ОСТМЕТН метод определения октантов:

0 = не поиск октантов

1 = использовать поиск октантов

MINOCT минимальное число октантов, которые должны иметь пробы прежде, чем ячейка будет оценена.

MINPEROC минимальное число проб в октанте, чтобы он был заполнен.

MAXPEROC максимальное число проб в октанте, используемых для оценки. Если в октанте имеется больше проб чем **MAXPEROC**, тогда самые близкие к центру ячейки, пробы будут выбраны, используя преобразованные расстояния и метод стягивания эллипсоида.

Параметры **MINNUMn** и **MAXNUMN** применяются, даже если был выбран поиск октантами. Если общее количество проб - меньше чем **MINNUMn** тогда ячейка не будет оценена. Если общее количество проб больше чем **MAXNUMN** тогда дальнейшие пробы (преобразованное расстояние) убираются пока не будет достигнуто **MAXNUMn**. Однако при удалении проб учитывается, что число проб в октанте должно быть не меньше чем **MINPEROC**, в этом случае пробы не удаляются. Следующие, удаленные пробы используется вместо них. Иногда невозможно удовлетворить ограничения и **MAXNUMN**, и октанта; и в этом случае ячейка не будет оценена.

Ключевое поле.

Если каждая запись в файле данных проб идентифицирована ключевым полем, тогда число проб с одним и тем же значением ключевого поля может быть ограничено. Наиболее очевидное использование этой особенности должно предотвратить выбор проб из одной скважины, которая в этом случае будет иметь подавляющее влияние на оценку содержания ячейки. В этом случае ключевое поле было бы определено как **BHID**. Имя ключевого поля указанное как поле **KEY**, например ***KEY (BHID)**. Максимальное число проб с тем же самым значением ключевого поля определяется использованием поля **MAXKEY** в файле Параметров объема Поиска. Если **MAXKEY** установлено, как отсутствие данных (-) или ноль, тогда опция ключевого поля не будет использоваться.

Если был выбран поиск с октантами, тогда параметр **MAXKEY** применяется к числу проб в пределах каждого октанта.

Файл параметров объема поиска.

Файл Параметров объема Поиска, содержит 24 поля, показанные в таблице. Все поля числовые и обязательны. Значение по умолчанию для поля – это значение, используемое процессом, если было введено отсутствие данных (-).

ФАЙЛ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕМА ПОИСКА

Имена Полей	Значение по умолчанию	Описание
SREFNUM		Ссылочный номер объема поиска
SMETHOD	2	форма объема поиска (1 = 3-х мерный прямоугольный параллелепипед, 2 = эллипсоид)
SDIST1	100	Максимальное расстояние поиска в направлении 1 (X)
SDIST2	100	Максимальное расстояние поиска в направлении 2 (Y)
SDIST3	100	Максимальное расстояние поиска в направлении 3 (Z)
SANGLE1	0	Первый угол вращения для объема поиска
SANGLE2	0	Второй угол вращения для объема поиска
SANGLE3	0	Третий угол вращения для объема поиска
SAXIS1	3	Ось для первого вращения (1 = X, 2 = Y, 3 = Z)

SAXIS2	1	Ось для второго вращения
SAXIS3	3	Ось для третьего вращения
MINNUM1	1	Минимальное число проб для первого динамического объема поиска
MAXNUM1	20	Максимальное число проб для первого динамического объема поиска
SVOLFAC2	0	Умножающий коэффициент для длин осей второго динамического объема поиска
MINNUM2	1	Минимальное число проб для второго динамического объема поиска
MAXNUM2	20	Максимальное число проб для второго динамического объема поиска
SVOLFAC3	0	Умножающий коэффициент для длин осей третьего динамического объема поиска
MINNUM3	1	Минимальное число выборок для третьего динамического объема поиска
MAXNUM3	20	Максимальное число проб для третьего динамического объема поиска
ОСТМЕТИ	0	Метод определения октантов (0 = не используются, 1 = октанты используются)
МИНОСТ	2	Минимальное число октантов для заполнения
МИНПЕРОС	1	Минимальное число проб в октанте
МАХПЕРОС	4	Максимальное число проб в октанте
МАХКЕУ	0	Максимальное число проб с тем же самым значением ключевого поля

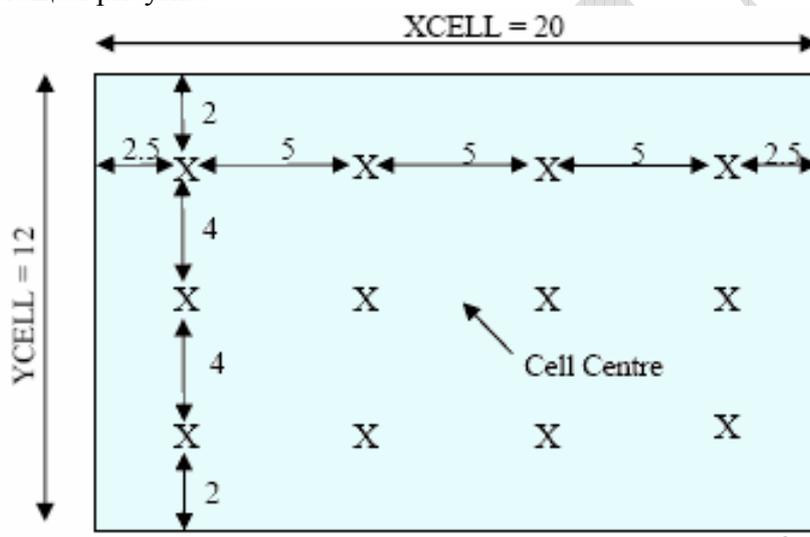
14.3. Дискретизация ячеек модели

Во входном файле прототипа модели, поля координат центра ячейки определены как поля XC, YC и ZC, а поля размера ячейки как XINC, YINC и ZINC. Для метода оценки методом Обратных Расстояний, например, можно использовать только координаты центра ячейки и делать оценку как функцию расстояния каждой пробы от центра ячейки. Однако это означает, что Вы полностью игнорируете размер ячейки и поэтому оцениваете только значение точки в центре ячейки. Однако Вы должны оценить среднее значение содержания по целой ячейке.

Прежде чем представлять ячейку, только одиночной центральной точкой, **ESTIMA** позволяет Вам смоделировать в ячейке трехмерный массив точек, регулярно распределенных в пределах ячейки. Для метода Обратных Расстояний, например, сначала будет оценено значение в каждой дискретизированной точке, а затем рассчитано среднее арифметическое всех точек. При оценке Кригингом дискретизированные точки используются для вычисления ковариации ячейки с каждой окружающей пробой. Она затем используется в вычислении весов кригинга. Ни метод Ближайшей Пробы, ни метод оценки Сичела не используют точки дискретизации. Метод Ближайшей Пробы основан на расстоянии до центра ячейки, а t Сичела - функция логнормального распределения.

Метод 1 – определение количества точек.

Имеются два способа задания точек дискретизации, определяемых параметром @DISCMETH. Если @DISCMETH=1, то Вы используете параметры @XPOINTS, @YPOINTS и @ZPOINTS, чтобы определить число точек дискретизации в направлениях X, Y и Z соответственно. Если Вы определяете четное число точек в данном направлении, то точки будут расположены вокруг средней линии; если Вы определяете нечетное число точек, то будут создаваться точки на средней линии, а другие будут расположены равномерно между гранями ячейки. Это иллюстрировано для 2-х измерений на следующем рисунке.



Метод 2 – определение интервалов

Если Вы устанавливаете @DISCMETH = 2, то Вы можете определять расстояние между точками дискретизации, а не число точек. Вы делаете это, используя параметры @XDSPACE, @YDSPACE и @ZDSPACE. При использовании этого метода всегда имеется одна точка в центре ячейки, а все другие точки расположены на заданном расстоянии от нее

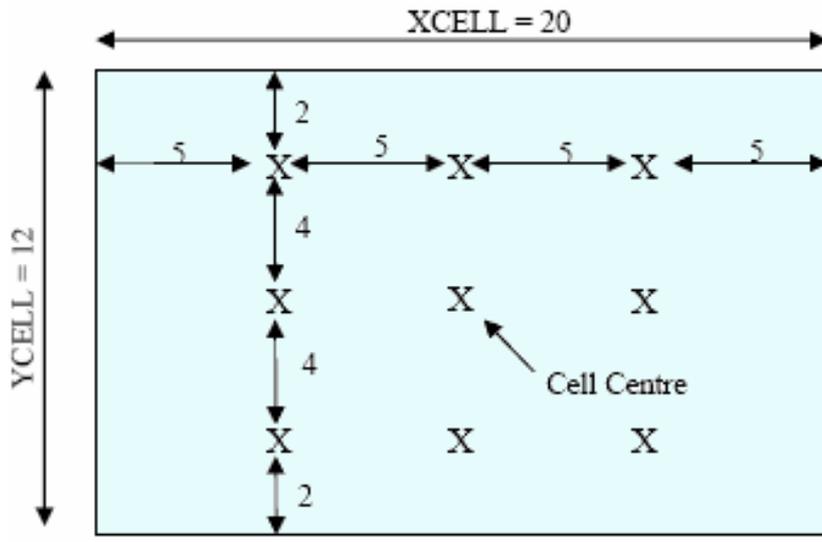


Рисунок показывает расположение дискретных точек при использовании @DISCMETH = 2 с @XDSPACE = 5 и @YDSPACE = 4. Если точки попадают на границы ячейки, то они не будут созданы.

Преимущество первого метода состоит в том, что Вы всегда уверены, что получите то же самое число точек в каждой ячейке, независимо от ее размера. Однако недостаток в том, что интервал в одном направлении может быть значительно больше чем в другом, в зависимости от относительных размеров ячейки.

Преимущество второго метода состоит в том, что, устанавливая @XDSPACE, @YDSPACE и @ZDSPACE равными друг другу Вы можете достигать полностью регулярного набора точек по ячейке. Однако недостаток в том, что для маленьких ячеек Вы можете иметь очень мало и возможно только одну точку. Это – очень важно для кригинга, потому что он требует минимум двух точек дискретизации для оценки ячейки.

14.4. Методы оценки

Вы можете устанавливать для оценки различные содержания, использовать разные методы и параметры при одном запуске программы ESTIMA. Различные комбинации содержания/методы/параметры и т.д. указываются записями в Файле Параметров Оценки (&ESTPARM).

Доступные методы.

Доступные методы оценки определяются полем IMETHOD. Оно может иметь следующие значения:

- 1 Ближайшей пробы (NN)
- 2 Обратных Расстояний (IPD)
- 3 Обычный Kriging (OK)
- 4 Простой Kriging (SK)
- 5 Т оценки Сичела (СТ)

Следующие несколько параграфов описывают особенности, которые являются общими для всех методов оценки. Они сопровождается деталями, которые являются специфическими для каждого метода.

Простой пример.

Простой пример файла Параметров Оценки показан ниже. В этом примере **AU** оценивается Методом Обратных Расстояний (2), а **AG** с использованием Обычного Кригинга (3).

Описание	Имя поля для оценки	Ссылочный номер объема поиска	Метод оценки	Степень для IPD метода	Ссылочный номер модели вариограммы
Имя поля	VALUE_IN	SREFNUM	IMETHOD	POWER	VREFNUM
Тип поля	A - 8 chars	N	N	N	N
Запись 1	AU	1	2	2	-
Запись 2	AG	2	3	-	1

Каждый вид оценки определяется как отдельная запись в файле. Вы можете видеть в этом примере, что для двух содержаний могут быть определены различные объемы поиска. Ссылочные номера объема поиска (SREFNUM) относятся к соответствующему полю в файле Параметров Объема Поиска (Search Volume Parameter).

Каждый метод оценки (IMETHOD) имеет цифровой код, как показано выше. Поле POWER применяется только к **IPD** (IMETHOD=2), а для других методов устанавливается отсутствие данных (-). Наконец, номер ссылки модели вариограммы относится к записи в файле Параметров Модели **Variogram**, который будет описан позже в этом Руководстве.

VALUE_IN и VALUE_OU

Как Вы можете видеть в примере, что поле VALUE_IN - алфавитное поле, (8 символов), которое используется, чтобы определить оцениваемые содержания. Эти поля содержаний (**AU** и **AG**) должны существовать в файле Данных Опробования. Имеется также необязательное поле VALUE_OU (алфавитное - 8 символов) который позволяет Вам определять имя поля в файле Модели. Если Вы не используете поле VALUE_OU или если там установлено отсутствие данных (-), то имя поля в Выходном файле Модели будет то же самое, как имя поля VALUE_IN. В предыдущем примере поля VALUE_OU нет, так что в Выходном файле Модели будут созданы поля **AU** и **AG**.

Поле VALUE_OU особенно полезно, если Вы хотите оценить одно и то же содержание различными методами или тем же самым методом, но с использованием различных параметров. Например, если Вы хотите оценить **AU IPD** и **OK**, тогда поле VALUE_OU может быть **AU-IPD** и **AU-OK**. В обоих случаях поле VALUE_IN было бы **AU**.

Описание	Имя поля для оценки	Имя поля во Выходном файле модели	Ссылочный номер объема поиска	Метод оценки	Степень для IPD метода	Ссылочный номер модели вариограммы
Имя поля	VALUE_IN	VALUE_OU	SREFNUM	IMETHOD	POWER	VREFNUM
Тип поля	A - 8 chars	A - 8 chars	N	N	N	N
Запись 1	AU	AU-IPD	1	2	2	-
Запись 2	AU	AU-OK	2	3	-	1

Зональный контроль.

Вы можете иногда оказаться в ситуации, когда Вы захотите использовать различные параметры для того же самого поля содержания в различных частях месторождения. Например, **AU** может иметь различный набор параметров оценки в зависимости от типа пород. Фактически зональный контроль позволяет Вам определять одно или два поля Zone и задавать различные параметры для каждой комбинации.

Зоны определяются использованием полей the *ZONE1_F and *ZONE2_F. Например, если Вы хотите иметь различные параметры по типам пород (Rock Type) и зоне разлома (Fault Zone), тогда Вы должны определить:

*ZONE1_F (ROCK), *ZONE2_F (FLTZONE)

Оба поля ROCK и FLTZONE должны быть в файле опробования и в файле Входного Прототипа Модели. Вы не можете использовать зональный контроль, если Входной файл Прототипа Модели не содержит ячеек (пустой).

Зональные поля могут быть алфавитными или числовыми. Если они алфавитные, тогда они могут содержать максимум 20 символов (5 слов). В следующем примере поле ROCK алфавитное, а поле FLTZONE числовое.

Описание	Имя поля для оценки	Ссылочный номер объема поиска	Метод оценки	Поле типа пород *ZONE1_F	Поле ZONE *ZONE2_F	Степень для IPD метода	Ссылочный номер модели вариогаммы
Имя поля	VALUE_IN	SREFNUM	IMETHOD	ROCK	FLTZONE	POWER	VREFNUM
Тип поля	A - 8	N	N	A- 4	N	N	N
Запись 1	AU	1	3	A	1	-	1
Запись 2	AU	1	3	B	1	-	2
Запись 3	AU	2	2	A	2	2	-
Запись 4	AU	2	2	B	2	3	-
Запись 5	AU	2	2		-	2	-

Запись 5 имеет отсутствующие данные для полей Zone (пробел для алфавитного поля ROCK, и (-) для числового поля FLTZONE). Этот набор параметров (Запись 5) (опция по умолчанию) **используется для оценки любых ячеек, где поля ROCK и FLTZONE не определены в файле Параметров Оценки.** Чтобы использовать эту заданную по умолчанию опцию с двумя полями Zone, Вы должны определить значения обоих полей (зон), как отсутствующие данные.

Если Вы имеете два поля Zone, то невозможно определить одно поле и иметь другое поле как отсутствующие данные. Например, Вы не можете иметь ROCK как B и FLTZONE как (-); если Вы зададите эту комбинацию, то получите сообщение об ошибке.

Если имеется только одно поле Zone, тогда параметры оценки, соответствующие отсутствию данных в поле Zone, будут применены ко всем значениям, для которых поле

Zone не определено в файле Параметров Оценки. **Поэтому, если все Зоны оцениваются, используя один набор параметров, то Вы нуждаетесь только в одной записи в файле Параметров Оценки, которая определяет поле Zone как отсутствующие данные (-).**

Вспомогательные поля

Оцениваемое содержание всегда записывается в Выходной файл модели с именем поля, определенным полями VALUE_IN / VALUE_OU. В дополнение к полю содержания некоторые из методов оценки также вычисляют вспомогательные поля. Например, Кригинг (K) также вычисляет число проб, используемых для K и дисперсию K. В **ESTIMA**, чтобы записать эти поля в файл Выходной Модели должны быть определены имена этих полей, используя файл Параметров Оценки. Например:

Описание	Имя поля для оценки	Ссылочный номер объема поиска	Метод оценки	Число проб используемых для оценки	Дисперсия оценки	Номер объема динамического поиска	Дистанция до ближайшей пробы
Имя поля	VALUE_IN	SREFNUMBER	IMETHOD	NUMSAM_F	VAR_F	SVOL_F	MINDIS_F
Тип поля	A - 8	N	N	A-8	A-8	A-8	A-8
Запись 1	AU	1	3	N-AU	VAR-AU	SVOL-AU	MDIST-AU
Запись 2	AG	1	3	N-AG	VAR-AG	SVOL-AG	MDIST-AG

Динамический объем поиска был описан ранее. Он дает значения 1, 2 или 3 в зависимости от того, какой объем поиска был использован. В предыдущем примере поля SVOL-AU и SVOL-AG будут созданы в файле Выходной модели для записи, какой объем динамического поиска использовался для каждого содержания.

Расчет трансформированного расстояния от пробы до центра ячейки также описывался ранее в разделе ОБЪЕМ ПОИСКА (Search Volume). Поле MINDIS_F позволяет Вам определить имя поля в котором будет записано расстояние до ближайшей пробы. Это может использоваться, например, для оценки категории запасов.

Другие второстепенные поля используемые в этом примере: NUMSAM_F - для записи числа проб используемых в оценке и VAR_F для записи дисперсии оценки. Последнее поле используется только для некоторых методов оценки.

Если в файле Данных Опробования (Sample Data) не было отсутствующих значений данных AU и AG, а обе переменные оценивались с использованием тех же самых параметров эллипсоида поиска, то значения NUMSAM_F, SVOL_F и MINDIS_F будут одинаковыми. В этом случае не нужно будет определять имена различных полей, а записи 1 и 2 будут определены как:

Описание	Имя поля для	Ссылочный номер	Метод оценки	Число проб, использов	Дисперсия оценки	Номер объема динам	Расстояние до ближайш

	оценки	объема поиска		уемых для оценки		ическо го поиска	ей пробы
Имя поля	VALUE _IN	SREFN UM	IMETH OD	NUMSA M_F	VAR_F	SVOL_ F	MINDIS_ F
Тип поля	A - 8	N	N	A-8	A-8	A-8	A-8
Запись 1	AU	1	3	N	VAR-AU	SVOL	MDIST
Запись 2	AG	1	3	N	VAR-AG	SVOL	MDIST

Если параметры вариограмм различны, тогда дисперсия кригинга будет отличаться, и Вы должны будете использовать различные имена полей.

Если вы назначили одно и тоже имя поля, но используете различные параметры объема поиска, тогда значения будут записаны в Выходной файл модели, но Вы не будете знать, какие из них относятся к AU или к AG. Следовательно, Вы должны быть внимательны при определении имен вспомогательных полей.

14.5. Метод ближайшей пробы (NEAREST NEIGHBOUR)

IMETHOD = 1. При использовании этого метода, ячейке назначается значение ближайшей 'nearest' пробы. Ближайшая проба определяется по трансформированному или анизотропному расстоянию, которое учитывает анизотропию пространственного распределения содержаний.

Метод ближайшей пробы не использует взвешивание значений проб, и поэтому любое цифровое или алфавитное поле может быть им оценено. Алфавитное поле может иметь до 20 символов (5 слов).

Эллипсоид анизотропии (Anisotropy ellipsoid).

Все пробы лежащие внутри объема поиска, определяемого, как описано выше. Затем анизотропное расстояние от пробы до центра ячейки рассчитывается на основе эллипсоида анизотропии, который определяется идентично эллипсоиду поиска. Фактически эллипсоид поиска и эллипсоид анизотропии могут быть тем же самым, и это обычная ситуация. Тем не менее, ESTIMA позволяет Вам определить различные эллипсоиды, если это необходимо.

Поле ANISO используется для определения, какое трансформированное расстояние будет использовано. Оно имеет значения:

- 0 нет трансформации т.е. массив изотропен. Расстояния рассчитываются с использованием системы координат файла опробования.
- 1 используются трансформированные расстояния, определяемые объемом поиска.
- 2 используются трансформированные расстояния, определяемые эллипсоидом анизотропии.

Если ANISO = 2, то Вы должны определить эллипсоид анизотропии используя поля ANANGLE1, ANANGLE2, ANANGLE3 и ANDIST1, ANDIST2, ANDIST3. Они определяются также, как SANGLEn и SDISTn, как описано в разделе Объем Поиска. Хотя Вы можете назначить другие углы и оси для эллипсоида анизотропии, но

последовательность для осей поворота должно быть тем же самым как и для объема поиска, т.е. первое вращение вокруг оси SAXIS1, затем - SAXIS2 и в конце - SAXIS3.

14.6. Метод обратных расстояний (IPD).

IMETHOD = 2. Для метода IPD оценка значений рассчитывается взвешиванием каждой пробы на обратное расстояние до ячейки в степени n . Вы устанавливаете требуемую степень, используя поле POWER. Если Вы установите POWER - ноль, тогда Вы получите арифметическое среднее по пробам, т.к. любое число в степени 0 равно 1.

Все пробы, лежащие внутри объема поиска, определяются, как описано выше, и применяется ограничение по минимальному и максимальному количеству проб. Оценка содержаний делается для каждой отдельной точки ячейки. Это соответствует использованию анизотропного расстояния точно также, как описано для метода Nearest Neighbour. Оценка значений ячеек затем рассчитывается как арифметическое среднее оценок отдельных точек.

ADDCON

Если проба лежит точно в дискретизированной точке (точка центра ячейки), тогда расстояние будет ноль и «вес» пробы будет 100%. Это может приводить в высокой степени к смещенной оценке особенно, если имеется только одна точка и несколько проб, лежащих в пределах ячейки. Однако Вы можете решить эту проблему путем ввода положительного значения в поле ADDCON.

Значение поля ADDCON сперва нормализуется путем деления определенного Вами значения на длину наибольшей оси анизотропии. Процесс затем будет добавлять значение ADDCON к каждому расстоянию перед оценкой значения ячейки (точки дискретизации).

Взвешивание по длине и плотности

Вы можете включить длину и/или плотность в расчет IPD определяя поля *LENGTH_F и/или *DENS_F. Например:

*LENGTH_F (LENGTH), *DENS_F (DENSITY)

Поля LENGTH и DENSITY должны быть в файле данных опробования (Sample Data). Использование обоих полей эквивалентно взвешиванию по весу пробы.

Если используется взвешивание по плотности и длине то «вес» W_i назначаемый каждой пробе i для оценки ячейки будет:

$$W_i = L_i \times P_i / D_i^P$$

где L_i – длина пробы i

P_i – плотность пробы i

D_i^P - трансформированное расстояние до пробы i , в степени P

Оценка E_k дискретной точки k рассчитывается как:

$$E_k = \sum W_i * G_i / \sum W_i$$

где G_i - содержание i пробы.

Оценка ячейки E_c рассчитывается как арифметическое среднее всех дискретных точек:

$$E_c = \Sigma E_k / N$$

где N - число дискретных точек.

Если были определены поля *LENGTH_F и/или *DENS_F, а записи значений данных для этих полей в файле данных отсутствуют, то эти пробы не будут использоваться для оценки.

Дисперсия IPD

Кроме оценки содержаний методом IPD, также рассчитывается дисперсия оценки. Это простая дисперсия классической статистики по всем пробам, участвующим в оценке методом IPD.

$$V = (\Sigma G_i^2 - (\Sigma G_i)^2 / N_s) / (N_s - 1)$$

где G_i – содержание в пробе
 N_s – число проб участвующих в оценке

Это вторичное поле может быть сохранено в файле Выходной Модели (Output Model), используя поле VAR_F, как описано ранее.

14.7. Кригинг (KRIGING)

Кригинг – это Геостатистический метод для оценки содержаний объема. Два типа кригинга используются в ESTIMA – Обычный Кригинг (Ordinary Kriging) и Простой Кригинг (Simple Kriging), которые определяются полем IMETHOD в файле параметров (Estimation Parameter file):

Ordinary Kriging (OK)	IMETHOD = 3
Simple Kriging (SK)	IMETHOD = 4

Как и в IPD, кригинг определяет веса для окружающих данных.

Однако одним из главных преимуществ кригинга является то, что «веса» рассчитываются так, чтобы минимизировать дисперсию ошибок.

Пространственное положение проб.

Когда минимизируется дисперсия ошибок, кригинг учитывает пространственное положение проб относительно друг друга и корреляционную связь между ними. Отсюда, если несколько проб группируются вместе, это будет учтено, когда «веса» рассчитываются и «веса» этих проб будут снижены соответственно. Это не так, как для IPD, где «веса» зависят только от расстояния между пробой и оцениваемой точкой, и в расчет не берется положение других проб.

Расчет весов кригинга основан на модели вариограммы, которая характеризует корреляцию между двумя точками, как функцию расстояния между ними.

Дополнительные детали о моделях вариограмм даются в разделе Руководства «Параметры Моделей Вариограмм».

Обычный (ОК) и Простой (СК) Кригинг.

Для Обычного Кригинга (ОК) вес рассчитывается для каждой пробы, и сумма этих весов равна 1. Для простого кригинга (СК) «вес» W_i рассчитывается для каждой пробы, а среднему содержанию назначается «вес» $(1 - \sum W_i)$. СК не поддается влиянию локальных трендов, как ОК, так как он зависит отчасти от среднего содержания, которое, как известно, назначается и постоянно для всего пространства. Поэтому ОК наиболее часто используемый метод кригинга.

Ввод данных для ОК и СК очень похож, и поэтому последующее описание применяется для обоих методов. В конце будет приведен маленький раздел, относящийся к специфике СК.

Логнормальный Кригинг (LK).

ESTIMA позволяет использовать линейный и логнормальный кригинг для обоих методов: ОК и СК. Поле LOG в файле Параметров Оценки используется для выбора линейного или логнормального кригинга. Для линейного кригинга «веса» применяются к содержаниям проб, а для логнормального кригинга «веса» применяются к логарифмам содержаний и затем трансформируются обратно. Все трансформации происходят внутри ESTIMA, так что Вы не должны делать каких-либо собственных преобразований. Для ОК логнормальная обратная трансформация имеет вид:

$$E_c = \exp(\sum W_i \times \log(G_i) + 0.5 \times (\sum W_i \times \sigma(L_i, L_j) - \sum W_i \times W_j \times \sigma(L_i, L_j)))$$

Где E_c — оценка кригинга
 W_i — вес пробы i
 G_i — содержание пробы i
 $\sigma(L_i, L_j)$ — ковариация логарифмов содержаний проб i и j

Алгоритм для логнормального кригинга основывается на методе Р.А.Довда, представленном в книге 'Lognormal Kriging – The General Case',

Предлагается два метода расчетов – метод приближений Rendu's, и Основной Метод (General Method). Заметим, что Основной Метод это интегративный процесс и может потребовать нескольких решений матриц кригинга для каждой кригируемой панели. И поэтому он требует много времени для решения по сравнению с методом Rendu. Мы настоятельно рекомендуем прочесть книгу Р.А.Довда, но ее основные выводы представлены ниже. Переменная C это пространственная дисперсия для сферической модели вариограммы.

а. Для малых значений C (<1), общий случай логнормального кригинга, предполагая соблюдение логнормальности, дает результаты, которые незначительно отличаются от полученных без предположения о сохранении логнормальности. Когда C увеличивается, то дисперсия кригинга, полученная в обоих методах, остается очень похожей, но различия в весах кригинга становятся все более и более существенными.

b. Приближение Ренду последовательно недооценивает дисперсию кригинга даже для относительно маленьких панелей (например, если ее сторона равна 20 % зоны влияния).

c. Обычный кригинг последовательно переоценивает дисперсию кригинга.

d. Все методы дают одинаковые результаты для очень маленьких панелей (стороны равны 5 % или меньше зоны влияния); кроме того, когда есть эффект самородка (C_0), то результаты обычного кригинга значительно отличаются от других.

e. С увеличением C_0 , результаты, полученные от приближения Ренду становятся ближе к результатам, полученным без предположения о сохранении логнормальности, хотя метод Приближения все еще значительно недооценивает дисперсию кригинга. Значимость различий в результатах, полученных от обычного кригинга и от других методов, увеличивается с увеличением эффекта самородка.

Также рекомендуются прочитать другие статьи о рассматриваемом предмете. В частности, страницы 119-120 *Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation* Мичела Дэвида показывают, **что должна быть предпринята большая осторожность, когда применяется логнормальный кригинг.**

Параметры логнормального кригинга.

Если Вы выбираете логнормальный кригинг, то Вы должны решить какой метод Вы хотите использовать: приближение Ренду или Общий Случай. Для этого используется Поле GENCASE в файле Параметров Оценки:

GENCASE = 0 использование приближения Ренду
 1 используется Общий Случай

Если Вы выбираете Общий Случай, тогда еще три поля, DEPMEAN, TOL и MAXITER должен быть включены в Файл Параметров Оценки, как описано ниже.

Дисперсия Lognormal кригинга рассчитывается как относительная дисперсия, V_R , относительно квадрата среднего, m , по месторождению:

$$V_R = V_A / m^2$$

Для того, чтобы вычислить абсолютную дисперсию, V_A , вы должны или определить фактическое среднее по месторождению, m , или установить его, как ноль. Если Вы устанавливаете его = 0, то процесс использует оценку кригинга ячейки как среднее.

DEPMEAN > 0, использует это значение как среднее
=0, использует оценку кригинга как среднее

Метод Общего Случая использует итерационную процедуру для вычисления весов кригинга. Веса рассчитываются и сравниваются с их предыдущими оценками. Если каждый такой вес лежит в пределах некоторого допуска от его предыдущего значения, то принимаются новые веса; В другом случае рассчитывается следующий набор весов. Вы должны задать допуск (поле TOL) и максимальное число итераций (поле MAXITER). Если веса не сходятся после MAXITER итераций, то вычисления для той ячейки заканчиваются, и используются самый последний набор весов.

Модель вариограммы.

Для каждого поля VALUE_IN, которое будет оцениваться кригингом, должен быть определен соответствующий ссылочный номер вариограммной модели (VREFNUM) в файле Параметров Оценки. Это простая ссылка на тип модели вариограммы и ее параметры, которые записаны в файле Параметров Модели Вариограммы. Поэтому может использоваться любое числовое значение, если оно есть в файле Параметров Модели Вариограммы.

Модели, сохраненные в файле Параметров Моделей Вариограмм, могут быть или нормальными или логнормальными. Поле LOG в файле Параметров Оценки используется для выбора линейного или логнормального кригинга.

Кригинг ячеек.

Как и для NN и IPD, первый шаг должен идентифицировать расположение всех проб в объеме поиска с учетом ограничений на минимальное и максимальное число проб. Затем создается и решается Матрица кригинга, чтобы получить веса кригинга и, следовательно, оценку кригинга.

В дополнение к оценке кригинга, три вторичных переменных могут быть рассчитаны и сохранены для каждой ячейки в файле Выходной Модели:

- число проб, использованных для кригинга
- дисперсия кригинга
- трансформированное расстояние до ближайшей пробы

Чтобы сохранить эти вторичные переменные, имена их полей должны быть определены в файле Параметров Оценки, как описано ранее.

Отрицательные веса кригинга.

При некоторых условиях веса, рассчитанные для одной или большего количества проб могут быть отрицательными. Наиболее вероятно это может случиться, когда модель вариограммы имеет низкий эффект самородка, а проба ограждена от ячейки другими пробами, находящимися непосредственно между этой пробой и ячейкой. Маловероятно, что отрицательные веса составляют больше чем несколько процентов от полного веса пробы. Хотя отрицательные веса математически оправданы, имеются мнения, что отрицательные веса неправильны и должны быть установлены, равными нулю. Вы можете сделать это, используя поле KRIGNEGW:

KRIGNEGW = 0 - отрицательные веса, сохраняются и используются
1 - отрицательные веса устанавливаются на ноль

Если отрицательные веса установлены на ноль, то веса других проб будут пропорционально отрегулированы так, чтобы сумма весов все еще равнялась 1. Проверки на минимальное число проб (MINNUMn) применяются, прежде чем веса кригинга будут рассчитаны, так что невозможно иметь меньше проб, чем MINNUMN.

Дисперсия кригинга > Порога.

Из-за математических сложностей вычислений матриц кригинга иногда может случаться, что дисперсия кригинга будет немного больше чем порог модели вариограммы. Поле KRIGVARS в файле Параметров Оценки управляет, оставить ли расчетную дисперсию выше порога или установить ее равной порогу:

KRIGVARS = 0 - дисперсия остается > порога

1 - если дисперсия > порога, то она устанавливается равной порогу

Этот контроль применяется только в линейном кригинге. Дисперсия для логнормального кригинга зависит от значения **DEPMEAN** и поэтому часто будет больше чем порог.

Простой кригинг.

Простой кригинг назначает вес для местного среднего значения, аналогично весам, назначаемым окружающим пробам. Вы можете использовать поля **LOCALMNP** и **LOCALM_F** в файле Параметров Оценки, чтобы выбрать, как определять это местное среднее значение:

LOCALMNP = 1 - используется поле во входном файле Прототипа Модели, чтобы определить локальное среднее.

= 2 - локальное среднее вычисляется как арифметическое среднее из всех проб, находящихся в объеме поиска.

Если **LOCALMNP** = 1, тогда Вы должны определить имя поля во входном файле Прототипа Модели, которое содержит значение локального среднего. Имя поля в файле Параметров Оценки - **LOCALM_F** как 8-ми значное алфавитное поле. Например:

Description	Name of field to be estimated	Name of field in Output Model file	Search volume reference number	Estimation method	Method for calculating local mean for SK	Local mean field in Input Prototype Model file	Model variogram reference number
Field Name	VALUE_IN	VALUE_OUT	SREFNUM	IMETHOD	LOCALMNP	LOCALM_F	VREFNUM
Field Type	A - 8 chars	A - 8 chars	N	N	N	A - 8 chars	N
Record 1	AU	AU-OK	1	3	-		1
Record 2	AU	AU-SK	1	4	1	AU-LMEAN	1
Record 3	AG	AG-SK	2	4	2		2

Содержание **AU** должно быть оценено **OK** (**IMETHOD=3**) и **SK** (**IMETHOD=4**). Для **SK** местное среднее определяется полем **AU-LMEAN** во входном файле Прототипа Модели. Поэтому Вы, должны предварительно создать это поле. Вы можете сделать это, например, перед запуском **ESTIMA**, используя **IPD** с **POWER = 0** и большим радиусом поиска. Это даст Вам арифметическое среднее всех проб, находящихся в объеме поиска. Альтернативно, Вы можете просто назначить средние значения в зависимости от типа пород или других геологических особенностей месторождения.

Содержание **AG** будет также оценено, используя простой кригинг. Так как **LOCALMNP** = 2, то местное среднее будет рассчитано как арифметическое среднее всех проб, находящихся в объеме поиска. *Оно рассчитывается прежде, чем будут применены максимальное число проб и ограничения по ключевому полю.*

14.8. Оценка t СИЧЕЛА

IMETHOD = 5. Оценка T Сичела может использоваться, чтобы оценить содержание ячейки, когда статистическое распределение проб - логнормальное. В отличие от IPD и Кригинга здесь не требуется расчета расстояния от пробы до ячейки. Поэтому, этот метод наиболее подходит для оценки больших ячеек, каждая из которых содержит несколько проб и там, где объем поиска имеет приблизительно тот же самый размер как и ячейка. Детали метода описаны в статье H.S.Sichel, упомянутой в Библиографии.

Окончательно t оценка определяется как:

$$t = \exp(x) \gamma_n(V)$$

where:

$$\gamma_n(V) = 1 + \sum_{r=1}^{\infty} (n-1)^r V^r / [2^r r! (n-1)(n+1) \dots (n+2r-3)]$$

$$x = \left[\sum_{i=1}^n x_i \right] / n$$

$$V = \left[\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2 \right] / n$$

$$x_i = \log_e [G_i + a]$$

- **G_i** is the grade of sample **i**
- **a** is a constant such that [**G_i+a**] is lognormally distributed

Если распределение проб соответствует 3-х параметровому логнормальному распределению, то Вы должны определить добавочную константу **a**, используя поле **ADDCON** в файле Параметров Оценки. Это - то же самое поле, которое используется в **IPD**, но оно в этом контексте имеет полностью отличающееся значение. Вторичные поля **NUMSAM_F**, **SVOL_F**, **VAR_F** и **MINDIS_F** определяются в идентичной манере как для **IPD**.

14.9. Файл параметров оценки

Следующая таблица показывает все поля в файле Параметров Оценки. Только поля **VALUE_IN** и **SREFNUM** обязательны; если другие поля не включены в файл, то используются их значения по умолчанию.

Имена полей для полей Zone заключены в скобки {...}. Это показывает что, это - не фактическое имя поля в файле; фактическое имя, которое Вы должны использовать, - это имя поля Zone, которое использовано в ваших Входных файлах Проб и Прототипа Модели, то есть (для примера) **ROCK** или **FLTZONE**.

Значение по умолчанию поля **VALUE_OU** - это имя, которое Вы указали, как поле **VALUE_IN**.

Файл параметров оценки (Estimation Parameter File)

Имя поля	Тип	По умолчанию	Метод	Описание
VALUE_IN	A-8		ALL	Имя поля для оценки
VALUE_OU	A-8	(VALUE – IN)	ALL	Имя поля, которое будет создано
SREFNUM	N		ALL	Ссылочный номер объема поиска
{ZONE1_F}	A or N		ALL	1-е поле зонального контроля оценки
{ZONE2_F}	A or N		ALL	2 поле зонального контроля оценки
NUMSAM_F	A-8		ALL кроме NN	Поле, указывающее число используемых проб
SVOL_F	A-8		ALL	Поле указывающее динамический объем поиска
VAR_F	A-8		ALL кроме NN	Поле дисперсии
MINDIS_F	A-8		ALL	Поле, указывающее расстояние до ближайшей пробы
IMETHOD	N	1	ALL	Метод оценки: 1=NN, 2=IPD, 3=OK, 4=SK, 5=ST
ANISO	N	1	NN, IPD	Тип анизотропии: 0=нет, 1=объем поиска, 2=использовать ANANGLE и т.д.
ANANGLE1	N	0	NN, IPD	1-й угол анизотропии
ANANGLE2	N	0	NN, IPD	2-й угол анизотропии
ANANGLE3	N	0	NN, IPD	3-й угол анизотропии
ANDIST1	N	1	NN, IPD	Расстояние анизотропии 1
ANDIST1	N	1	NN, IPD	Расстояние анизотропии 2
ANDIST1	N	1	NN, IPD	Расстояние анизотропии 3
POWER	N	2	IPD	Показатель Степени для IPD
ADDCON	N	0	IPD, ST	IPD –константа, добавляемая к расстоянию ST – аддитивная константа для логнормальности
VREFNUM	N	1	OK, SK	Ссылочный номер модели вариограммы
LOG	N	0	OK, SK	Флаг: 0=линейный К 1=логарифмический К
GENCASE	N	0	LOG=1	Метод логнормального кригинга: 0=Ренди, 1=Основной
DEPMEAN	N	0	LOG=1	Среднее для расчета логнормальной дисперсии
TOL	N	0.01	GENCASE=1	Допуск для логнормального кригинга
MAXITER	N	3	GENCASE=1	Максимальное число итераций для логнормального Кригинга
KRIGNEGW	N	0	OK, SK	Трактовка отрицательных весов К: 0-использовать 1-установить = 0
KRIGVARS	N	1	Лин. кригинг	Трактовка дисперсии>порога: 0-

				использовать 1- установить =порогу
LOCALMNP	N	2	SK	Метод расчета локального среднего: 1=поле из PROTO. 2=расчет среднего
LOCALM_F	A - 8		SK	Имя поля локального среднего в файле PROTO

14.10. Дополнительные особенности

Оценка родительской (полной) ячейки.

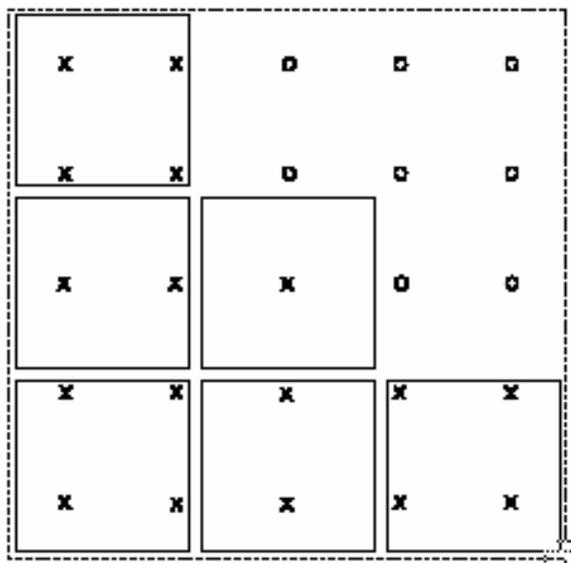
При создании геологической блочной модели Вы обычно используете разделение ячеек так, чтобы подъячейки дали хорошее объемное представление геологических границ. *Обычная практика - оценивать содержание отдельно для каждой подъячейки*, так что содержания отличаются между подъячейками той же самой родительской ячейки.

Но иногда это ненужная работа, особенно если данные опробования редки. Поэтому нет смысла тратить излишнее время для оценки многих подъячеек, когда оценка материнской ячейки вполне удовлетворяет. Это особенно правильно на ранних стадиях оценки содержаний, когда Вы также не заинтересованы в большой детальности.

ESTIMA включает опцию, которая позволяет Вам оценивать содержание родительской ячейки, и затем его значение будет назначено для всех подъячеек внутри родительской ячейки. Зональный контроль здесь все еще применим так, что, если например родительская ячейка содержит 4 ячейки породы А и 5 ячеек породы В, то родительская ячейка будет сначала оценена, используя пробы породы А и это значение будет назначено к этим 4 ячейкам. Затем родительская ячейка будет оценена для породы В в идентичной манере.

Дискретизация выбора.

Дискретные точки в родительской ячейке могут быть рассчитаны одним из двух методов. Если Вы устанавливаете **@PARENT = 1**, то родительская ячейка будет представлена полным набором дискретных точек, определяющих всю родительскую ячейку. Если, однако, Вы устанавливаете **@PARENT = 2**, то полный набор дискретных точек так же вычисляется, но только те точки, которые лежат в пределах подъячеек, будут отбираться и использоваться в оценке.



В 2-х мерном примере в пределах родительской ячейки есть 6 подъячеек, и на ячейку был наложен набор 5 x 5 дискретных точек. Если @PARENT=1 тогда все 25 точек (X и O) используются, чтобы представить ячейку, но если @PARENT=2, тогда используются только точки, аннотируемые X.

Минимальный число точек (проб).

Во втором случае @PARENT = 2 может оказаться, что очень немного (или их нет совсем) дискретных точек будут находиться в ячейках. Чтобы это учесть, Вы можете определить минимальное приемлемое число точек, используя параметр @MINDISC. Если этот минимум не достигнут, то число точек во всех трех направлениях удваивается, и точки пересчитываются.

Преимущество второго метода состоит в том, что он обеспечивает лучшее представление ячеек, но неудобство в том, что вычисление будет продолжаться дольше.

Если Вы устанавливаете @PARENT = 0, то свойства родительских ячеек не будут использоваться.

Копирование значений полей.

Если Входной Прототип Модели имеет ячейки, которые уже включают оцениваемое поле, но в пределах объема поиска недостаточно данных, чтобы оценить ячейку, то Вы имеете выбор с помощью параметра @COPYVAL. Если @COPYVAL = 0, то отсутствующие значения содержаний (-) переносятся в Выходную Модель. Если @COPYVAL = 1, то существующие в Входном Прототипе Модели значения будут скопированы в Выходную Модель.

Объем модернизации.

Иногда Вы можете захотеть модернизировать содержания только части блочной модели. Один из путей выполнения этого состоит в том, чтобы скопировать часть модели, которая требуют обновления в отдельную подмодель, запустить программу ESTIMA для подмодели и затем вернуть эту подмодель назад, используя ADDMOD. Альтернативно, если часть модели, которая должна быть обновлена, может быть определена как прямоугольный параллелепипед, то Вы можете использовать параметры @XMIN, @XMAX, @YMIN, @YMAX, @ZMIN, @ZMAX и сделать обновление только выбранной области. Вы также должны установить при этом @COPYVAL = 1. Тогда только ячейки, которые попадают в указанный объем модернизации, будут оценены, хотя для этого будут использоваться и пробы, находящиеся снаружи данного объема.

Безотносительно выбранных Вами значений @XMIN, @XMAX и т.д, они будут применены процессом ESTIMA для определения границы самой близкой родительской ячейки прежде, чем обновление начнется. Минимальные значения будут опущены вниз, а максимальные вверх. Если один или большее количество параметров не определены или в них отсутствуют данные (по умолчанию), то используются минимальные или максимальные координаты модели.

Операции замены.

Если все поля содержаний (как определено VALUE_OU в файле Параметров Оценки) и их соответствующие вторичные поля (определенные как NUMSAM_F, SVOL_F, VAR_F и MINDIS_F) уже существуют во входном файле Прототипа Модели, то позволяются операции замены. Это означает, что файлы Входного Прототипа Модели и Выходной Модели **могут быть тем же самым файлом** т.е., Вы можете иметь:

&PROTO (MODEL1), &MODEL (MODEL1)

Если Вы определяете их, как один и тот же файл, тогда процесс проверяет, чтобы удостовериться, что файл включает все необходимые поля, и заканчивается с сообщением об ошибке, если дело обстоит не так.

Операции замены позволяют Вам **использовать критерии выбора** в полях входного файла Прототипа Модели. Записи, которые не удовлетворяют этим критериям, останутся неизменными в файле Выходной Модели. **Поэтому это может использоваться для выполнения выборочной модернизации модели.**

Помните, что, если Вы имеете различные файлы Прототипа Модели и Выходной Модели, и Вы используете критерии выбора, то только те записи, которые удовлетворяют критериям будут скопированы в файл Выходной Модели.

Если значение содержания не может быть оценено из-за недостатка данных в объеме поиска, то параметр @COPYVAL диктует, должны ли быть в Выходной Модели использованы отсутствующие значения или предыдущие данные.

Методы псевдо оценки.

Главные методы оценки (IPD, ОК, и т.д) описаны в предыдущих разделах. Однако есть две дополнительных опции, которые определяются, использованием поля IMETHOD в файле Параметров Оценки, но которые не являются фактической оценкой содержаний.

Если IMETHOD=101, то значения, которые записываются в поле VALUE_OU в Выходной Модели – это геостатистическая F функция, т.е. среднее значение вариограммы в ячейке. Если IMETHOD=102, то значение будет множителем Lagrange, рассчитанным при решении матрицы ОК. Чтобы использовать любую из этих опций, Вы должны установить все другие поля и параметры такими, как будто Вы выбрали ОК.

14.11. Файл параметров модели вариограммы

Модель вариограммы состоит из эффекта самородка C_0 , и до 9 индивидуальных структур $\gamma_i(h)$. Объединенная модель, $\gamma(h)$, имеет форму:

$$\gamma(h) = C_0 + \gamma_1(h) + \gamma_2(h) + \gamma_3(h) + \dots + \gamma_9(h)$$

Индивидуальные модели $\gamma_i(h)$ могут быть сферические, степенные, экспоненциальные, гауссовские или De Wijsian.

Если Вы выбрали кригинг, как метод оценки, то Вы должны определить параметры вариограммы в файле Параметров Модели Вариограммы. Требуемые поля показаны в таблице.

Поле	По умолчанию	Описание
VREFNUM		Ссылочный номер вариограммы (для файла Параметров оценки)
VANGLE1	0	1-й угол вращения, определяющий ориентацию эллипсоида
VANGLE2	0	2-й угол вращения, определяющий ориентацию эллипсоида
VANGLE3	0	3-й угол вращения, определяющий ориентацию эллипсоида
VAXIS1	0	1-я ось вращения (1=X, 2=Y, 3=Z)
VAXIS2	0	2-я ось вращения (1=X, 2=Y, 3=Z)
VAXIS3	0	3-я ось вращения (1=X, 2=Y, 3=Z)
NUGGET	0	Эффект самородка
ST1	0	Тип модели вариограммы для 1-й структуры
ST1PAR1	0	Первый параметр 1-й структуры
ST1PAR2	0	Второй параметр 1-й структуры
ST1PAR3	0	Третий параметр 1-й структуры
ST1PAR4	0	Четвертый параметр 1-й структуры
.....		
ST9	0	Тип модели вариограммы для 9-й структуры
ST9PAR1	0	Первый параметр 9-й структуры
ST9PAR2	0	Второй параметр 9-й структуры
ST9PAR3	0	Третий параметр 9-й структуры
ST9PAR4	0	Четвертый параметр 9-й структуры

Все поля числовые и необязательные, за исключением номера ссылки вариограммы. Если поле не включено в файл, тогда будет использоваться его значение по умолчанию.

Номер ссылки вариограммы - указатель для файла Параметров Оценки. Вы можете использовать для него любое числовое значение.

Эллипсоид вариограммы.

Эллипсоид вариограммы используется, чтобы определить любой параметр, который - не является изотропным, например, это зоны влияния сферической модели. Эллипсоид вариограммы определяется, используя поля VANGLE1, VAXIS1, и т.д. идентично заданию эллипсоида поиска, как описано в разделе Объем Поиска. Пример, использующий эти поля поворота дается далее в этом разделе.

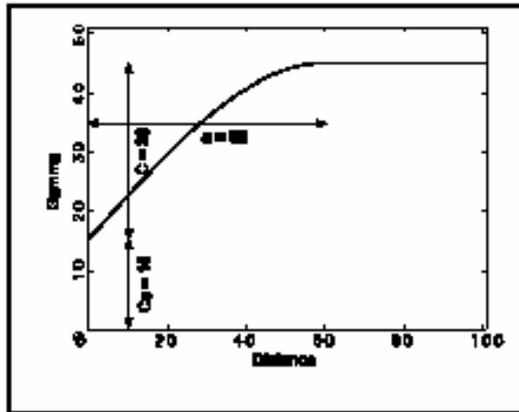
Как Вы можете видеть, значения по умолчанию не определяют никакого вращения. Поэтому, если Вы хотите задать, чтобы эллипсоид вариограммы имел ту же самую ориентацию, как эллипсоид поиска, то Вы должны удостовериться, что поля SANGLE1, SAXIS1, и т.д в файле Параметров Объема Поиска те же самые как поля VANGLE1, VAXIS1, и Т.Д. в файле Параметров Модели Вариограммы.

Типы моделей вариограмм.

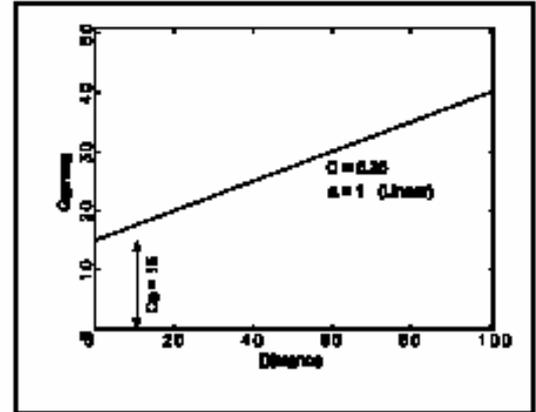
Поля STs определяют тип модели для структуры s. Опции для STs:

- 1 сферическая
- 2 степенная (в т.ч. линейная)
- 3 показательная
- 4 гауссовская
- 5 De Wijsian

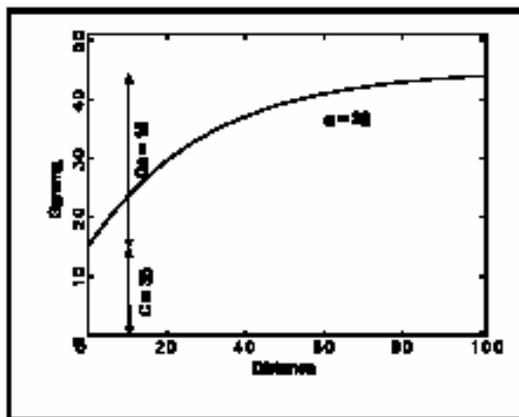
Примеры 5 типов модели показаны на рисунке. Рисунок также включает двухструктурную сферическую модель.



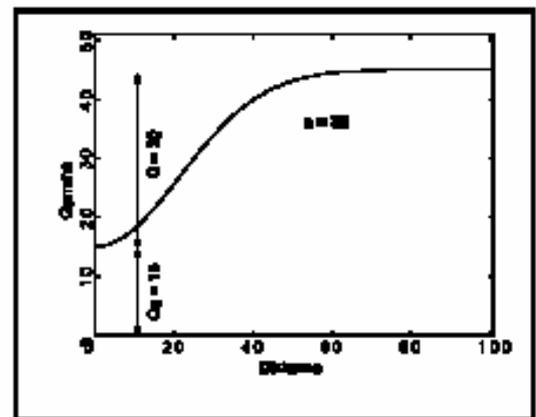
1 Spherical



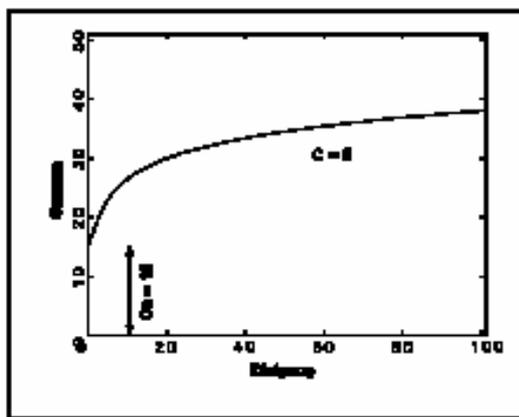
2 Power (linear)



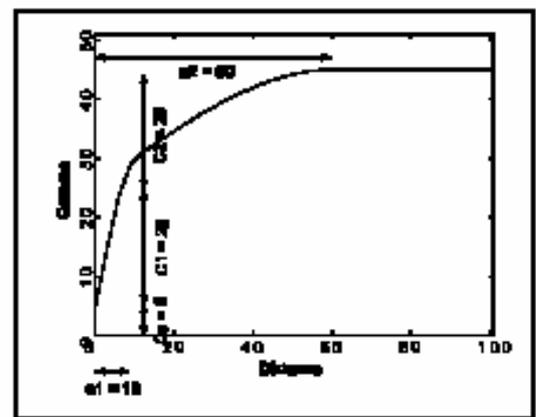
3 Exponential



4 Gaussian



5 De Wijsian



6 Two Structure Spherical

Сферическая модель - тип 1

Сферическая модель определяется зоной влияния и пространственной дисперсией С:

$$\gamma_i(h) = C [1.5 * h / a - 0.5 * (h / a)^3] \quad \text{if } h \leq a$$

$$= C \quad \text{if } h > a$$

Вы должны указать пять полей:

STs =1 Код сферической модели

STsPAR1 зона в направлении 1 (ось X после вращения)

STsPAR2 зона в направлении 2 (ось Y после вращения)

STsPAR3 зона в направлении 3 (ось Z после вращения)

STsPAR4 пространственная дисперсия С.

Степенная модель - тип 2

Степенная модель определяется степенью ($0 < a < 2$) и положительным углом С:

$$\gamma_i(h) = C * h^a$$

Пять полей нужно определить:

STs =2 Код степенной модели

STsPAR1 степень в направлении 1 (ось X после вращения)

STsPAR2 степень в направлении 2 (ось Y после вращения)

STsPAR3 степень в направлении 3 (ось Z после вращения)

STsPAR4 угол С

Экспоненциальная модель - тип 3

Экспоненциальная определяется параметром а и пространственной дисперсией С:

$$\gamma_i(h) = C [1 - \exp(-h / a)]$$

Пять полей нужно определить:

STs =3 Код экспоненциальной модели

STsPAR1 параметр а в направлении 1 (ось X после вращения)

STsPAR2 параметр а в направлении 2 (ось Y после вращения)

STsPAR3 параметр а в направлении 3 (ось Z после вращения)

STsPAR4 пространственная дисперсия С.

Модель Гаусса - тип 4

Модель Гаусса определяется параметром а и пространственной дисперсией С:

$$\gamma_i(h) = C [1 - \exp(-h^2 / a^2)]$$

Пять полей нужно определить:

STs =4 код Модель Гаусса

STsPAR1 параметр а в направлении 1 (ось X после вращения)

STsPAR2 параметр а в направлении 2 (ось Y после вращения)

STsPAR3 параметр а в направлении 3 (ось Z после вращения)

STsPAR4 пространственная дисперсия С.

Модель De Wijsian - тип 5

Модель De Wijsian определяется параметром C:

$$\begin{aligned} \gamma_i(h) &= C * \log_e(h) & h > 1 \\ &= 0 & h \neq 1 \end{aligned}$$

Четыре поля нужно определить:

STs =5 код модели De Wijsian

STsPAR1 параметр C в направлении 1 (ось X после вращения)

STsPAR2 параметр C в направлении 2 (ось Y после вращения)

STsPAR3 параметр C в направлении 3 (ось Z после вращения)

Пример вращения

Этот пример иллюстрирует случай, когда три поворота описывают анизотропию. Первое вращение – на 20 градусов вокруг оси Z, второе вращение – 40° вокруг новой оси X, и последнее вращение – 60° вокруг новой оси Y. Зоны влияния для структуры 1 – 100м, 200м и 300м в новых направлениях X, Y и Z. Поля :

VANGL E1	VANGL E2	VANGL E3	VAXIS 1	VAXIS 2	VAXIS 3	ST1PA R1	ST1PA R2	ST1PA R3
20	40	60	3	1	2	100	200	300

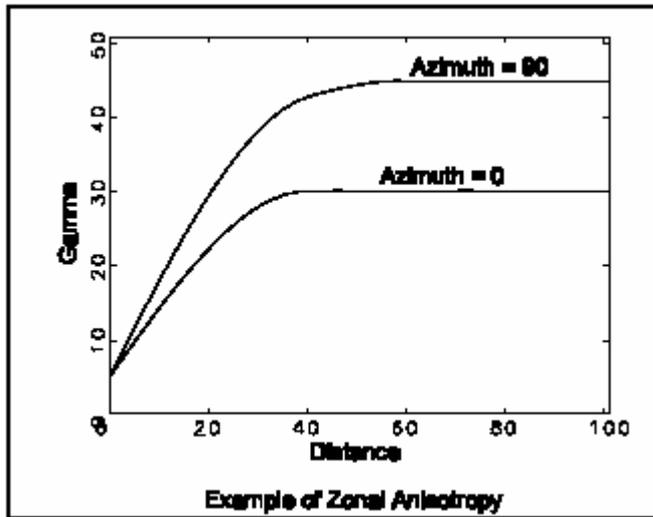
Зональная анизотропия

Определение модели вариограммы в ранних интерполяционных процессах Датамайн разрешало анизотропию эффекта самородка C₀ и пространственной дисперсии C, т.е. они могли иметь различные значения в различных направлениях.

В теории допускается моделирование зональной анизотропии, где порог вариограммы может отличаться в различных направлениях. Однако это часто ведет к проблемам со стабильностью матрицы кригинга, и в итоге много ячеек будут оставлены неоцененными.

Чтобы предотвратить проблемы с матрицей кригинга, определение модели вариограммы в ESTIMA не позволяет анизотропные значения C₀, или C для моделей типа от 1 до 4. Анизотропные значения C для модели De Wijsian (тип 5) приемлемы, потому что уравнение модели не имеет никаких других анизотропных переменных.

В ESTIMA зональная анизотропия может быть представлена многоструктурной моделью. Следующий пример показывает двухструктурную сферическую модель с порогом 30 для азимута 00 и порогом 45 для направления 90°.



Эффект самородка $C_0 = 5$, и все углы вращения (VANGLEn) равны нулю.

Вы можете увидеть, что установка зоны влияния 2-й структуры в направлении 0 на большое расстояние (10000 м) приведет к тому, что пространственная дисперсия на интересующих нас расстояниях (меньше 100 м) будет близка к 30. Конечно, если бы Вы имели ось с расстоянием до 10000 м., то вариограмма для 0^0 в конечном счете достигла бы порога 45.

Полные установки значений полей для этой модели, в файле параметров модели вариограмм указаны ниже:

Field Name	Value	Field Name	Value
VREFNUM	1	ST1PAR1	40
VANGLE1	0	ST1PAR2	40
VANGLE2	0	ST1PAR3	40
VANGLE3	0	ST1PAR4	25
VAXIS1	3	ST2	1
VAXIS2	1	ST2PAR1	60
VAXIS3	3	ST2PAR2	10000
NUGGET	5	ST2PAR3	60
ST1	1	ST2PAR4	15

Обратите внимание, что в этом примере анизотропия ортогональна к системе координат, так что все углы - ноль. В этом случае значения осей несущественны.

14.12. Оптимизация времени вычислений

Несколько особенностей **ESTIMA** были разработаны, чтобы минимизировать время расчетов. Часть из них выполняется автоматически, тогда как другими управляет пользователь.

Настоятельно рекомендуется, чтобы Вы всегда сначала проверяли параметры оценки на маленькой модели. Она может быть или представительным подмножеством полной модели, или моделью с большим размером ячеек и меньшим количеством подъячеек, чем заключительная модель. Также для тех особенностей, где Вы имеете выбор, всегда выберите подходящее приближение для первого испытательного запуска программы.

Поиск проб

Одна из наиболее трудоёмких частей работы - выбор проб в пределах объема поиска.

Специальный Алгоритм поиска был разработан, чтобы минимизировать эту часть процесса. Для Вас нет никакой необходимости сортировать данные по любому специфическому полю, потому что **ESTIMA** выполняет эту работу за Вас. Однако Вы должны гарантировать что *Входная Модель Прототипа* отсортирована по *IJK*, или процесс закончится сообщением об ошибке.

Многие переменные

Способность оценивать много переменных в единственном запуске **ESTIMA** приводит к существенному сокращению времени работы. Если два или больше содержания оцениваются, используя тот же самый объем поиска и те же самые параметры оценки, то увеличение времени для второго и последующих содержаний будет очень маленьким. Даже если используются различные параметры оценки, то все равно экономия времени будет ощутимой.

Точки Дискретизации

Точки дискретизации ячейки используются для методов оценки **IPD**, **OK** и **SK** как описано раньше. Чем больше точек Вы имеете, тем дольше продолжительность работы, но лучше представление ячейки. Таким образом Вам рекомендуется использовать маленькое число точек для испытательных запусков.

Например, если Вы используете только **IPD**, то Вы можете использовать только одну точку:

@DISCMETH=1, @XPOINTS=1, @YPOINTS=1, @ZPOINTS=1

Однако, если Вы используете **Кригинг**, то Вы должны иметь по крайней мере две точки на блок, и, вероятно, по две точки в каждом направлении будет лучшим решением. Для финального запуска Вы должны иметь больше точек, поэтому рекомендуется, чтобы Вы делали испытание на маленькой части модели, чтобы увидеть эффект увеличения числа точек. Оптимальное число зависит от разнообразия факторов, включая размер ячейки, интервал опробования, параметры Вариограммы и т.д., и таким образом невозможно дать единственную рекомендацию, которая охватывает все возможные ситуации. Однако, общее правило таково, что приблизительно 50 точек (например 4 x 4 x 3) - часто хороший компромисс между скоростью работы и получением лучшего представления блока.

Число проб

Продолжительность работы является также функцией числа проб, используемых для того, чтобы выполнить оценку каждой точки.

Для методов, типа **IPD** и **t Сичэля** время самих вычислений является относительно небольшим, поэтому использование большого максимального числа проб будет только увеличивать процесс их поиска. Однако для **Кригинга**, оценка каждой точки вовлекает решение системы из n линейных уравнений, где n - число проб, используемых для оценки, а время, потраченное на решение каждой системы из n уравнений приблизительно пропорционально n^2 .

Максимальное число проб, которые Вы можете использовать для **Кригинга**, - 1400 для самых современных РС.

Однако, Вам настоятельно рекомендуется работать значительно ниже этих пределов. В нормальных обстоятельствах максимальное число образцов не должно превышать 50, а 25 проб будут подходящими в большинстве случаев.

Дисперсия Кригинга

Вычисление дисперсии K требует расчета геостатистической функции F (среднее значение Вариограммы в ячейке). Чтобы сделать это; функцию Вариограммы вызывают приблизительно $n^2/2$ раз, где n - общее количество точек дискретизации в ячейке.

Очевидно, это может быть трудоёмкой операцией, если число точек является большим. Поэтому, если Вы не собираетесь использовать дисперсию K в презентации

запасов, то нет никакого смысла в ее вычислении. *Если Вы не определяете значения для поля VAR_F в Файле Параметров Оценки, тогда дисперсия не будет вычисляться.*

Если дисперсия K вычислена, то ESTIMA хранит значение F для родительской ячейки. Поэтому вычисление дисперсии для модели, которая состоит почти полностью из родительских ячеек, отнимает столько же времени, как модель, содержащая главным образом подъячейки.

Параметр @FVALTYPE

В процесс была включена экономящая время опция, которая позволяет Вам аппроксимировать размеры ячейки дискретным номером размеров. Это контролируется параметрами @FVALTYPE и @FSTEP. Параметр @FVALTYPE принимает одно из следующих значений:

=1 - используются точные размеры ячеек, и поэтому функция F рассчитывается для каждой ячейки модели, кроме родительской ячейки, которая вычисляется только однажды.

=2 - каждая ячейка аппроксимируется одним из дискретным номером ячеек. При обработке ячейки процесс обращается к таблице, где записываются все номера уже обработанных ячеек и значения функции F для них. Если номер текущей ячейки уже записан в таблице, то вычислений не делается, а данные берутся из таблицы. Если нет, то делается полный расчет, а его результаты сохраняются в таблице для будущего использования. Это дает большое увеличение скорости работы.

Невозможно установить @FVALTYPE=2, если Вы уже выбрали оценку родительской ячейки с дискретизацией и (@PARENT=2). Если Вы все же выбрали эту комбинацию, то @FVALTYPE будет изменен на 1.

Параметр @FSTEP

Параметр @FSTEP определяет размер шага, который используется чтобы аппроксимировать размеры ячейки. F функция сохраняется для подъячеек, размеры которых являются целым числом, умноженным на размер шага. Например, если @FSTEP=2, то любая ячейка с размерами в диапазоне: $5 < XINC \leq 7$, $1 < YINC \leq 3$, $7 < ZINC \leq 9$ будет аппроксимирована ячейкой с размерами $6 \times 2 \times 8$.

Если размер ячейки в одном направлении - меньше чем половина размера шага, то он будет аппроксимирован размером шага. Поэтому в предыдущем примере диапазоны должны действительно быть равны:

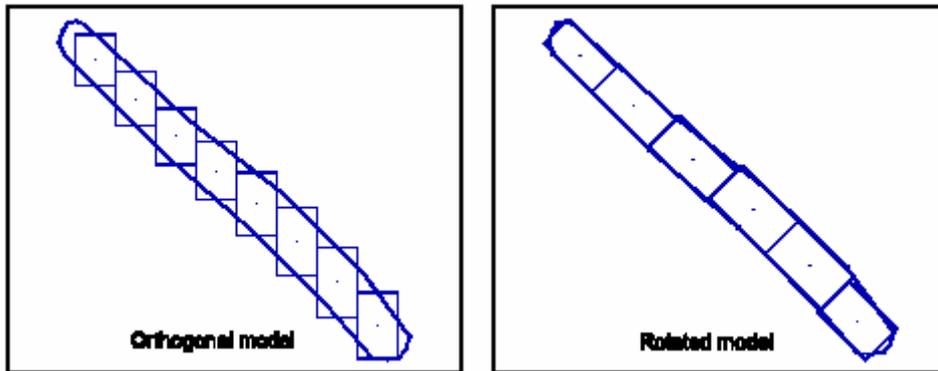
$$5 < XINC \leq 7, 0 < YINC \leq 3, 7 < ZINC \leq 9$$

Как и с точками дискретизации Вы должны сначала выполнить тест на маленькой части модели, чтобы оценить эффект изменения размера шага. Вы будете часто отмечать, что размер шага 1 будет значительно увеличивать скорость обработки, не делая никакого существенного различия в расчете дисперсии K.

14.13. Вращение модели и разворот складок (UNFOLDING)

Поворот моделей

Поворот Модели это разворот ее осей (и естественно – ячеек), относительно системы координаты. Это особенно полезно в ситуации, когда Вы имеете пластовое рудное тело, которое залегает наклонно и/или погружается. Вы можете видеть на рисунке ниже, что ячейки модели лучше подходят, когда модель повернута. Детальное описание процесса дается в следующем разделе.



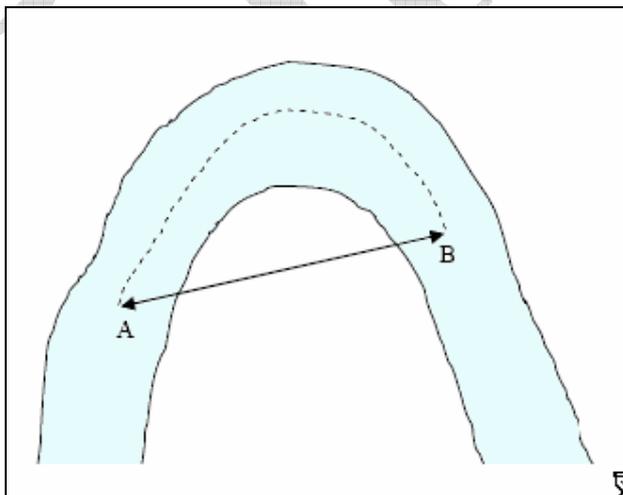
ESTIMA автоматически распознает, является ли входной Прототип Модели повернутой моделью. Если это так - то ESTIMA будет обратно переводить и разворачивать координаты ячеек назад в мировую систему перед вычислением оценок содержаний. Это делается поворотом фактических дискретных точек до их оценки. Это будет только внутреннее действие, т.к. координаты ячеек в файле Выходной Модели будут повернуты обратно, и будут теми же самыми, как и во входном Прототипе Модели.

Поскольку процесс разворачивает ячейки модели только внутри себя, это означает, что **Вы должны ввести все объемы поиска, параметры анизотропии, модели вариограмм, координаты Данных Проб, и Т.Д. в мировой системе координат.**

Окончательно, все, что Вы должны сделать это ввести повернутую модель, как входной Прототип Модели. Не нужно задавать никаких других специальных файлов, полей или параметров.

Разворот складок (Unfolding)

Все методы оценки (Ближайшей пробы, Обратных расстояний и Кригинг) включают в себя расчет расстояния между каждой пробой и центром ячейки или дискретными точками. Эти измерения обычно делаются в стандартной Декартовской системе координат XYZ. Однако для складчатого месторождения, где минерализация произошла перед образованием складок, требуются действительные расстояния, измеренные в рудном теле перед складкообразованием.



Геометрическое и стратиграфическое расстояние между 2-мя точками.

Проблема иллюстрирована простым примером на рисунке сверху, который показывает две пробы на разных сторонах антиклинали. Используя XYZ систему

координат, стандартное геометрическое расстояние между А и В - прямая линия. Однако, с геологической точки зрения расстояние, отделяющее их, это линия в теле антиклинальной структуры, показанная пунктиром на рисунке. Это - расстояние между пробами до складкообразования.

Метод разворота складок позволяет Вам преобразовывать координаты проб и ячейки модели в оригинальную развернутую систему, делать оценку качества в этой системе, и затем конвертировать ее назад для оценки запасов и планирования. Метод описан подробно в *Unfold User Guide*. Есть также описание в работе M.J.Newton, упомянутой в Библиографии.

Если Вы хотите использовать опцию разворота складок для оценки содержаний, то Вы должны сначала использовать процесс UNFOLD в DATAMINE, чтобы вычислить развернутые координаты данных опробования. Этот файл затем будет входным для процесса ESTIMA, как файл Данных Проб. Все объемы поиска, параметры анизотропии, модели вариограмм, и Т.Д. должны быть определены в развернутой системе. Единственное исключение для этого – Входной Прототип Модели, который должен быть в мировой системе координат (т.е. свернутой).

Работа процесса ESTIMA состоит в том, чтобы развернуть дискретные точки так, чтобы оценка была сделана в развернутой системе. Оцененные содержания и любые вторичные переменные будут затем перенесены назад в соответствующую ячейку свернутой модели.

При выборе опции разворачивания складок Вы должны определить дополнительный файл Линий. Он должен содержать линии, описывающие кровлю и подошву пласта на двух или более сечениях. Вы также должны определить параметры разворачивания и поля, как описано в *Unfold Reference Manual*.

Разворачивание не разрешается для повернутой модели. Если Вы выбираете эту комбинацию, то процесс закончится сообщением об ошибке.

14.14. Результаты

ESTIMA создает два выходных файла, это – файл Выходной Модели и Выходной файл Проб. Модель это просто копия файла Прототипа Модели с оцененным содержанием и вторичными полями. Если Вы определили критерии выбора, тогда только требуемое подмножество ячеек будет скопировано в файл Выходной Модели, если Вы не запустили ESTIMA с опцией замены.

Выходной файл Проб

Выходной файл Проб является дополнительным, и содержит запись веса каждой пробы для каждой ячейки и для каждого содержания (металла), которое оценивалось. Каждый вес это отдельная запись, поэтому файл может быть очень большим. **Обычно Вы не нуждаетесь в такой информации, и мы рекомендуем не создать его.** Однако он обеспечивает полезную информацию, если Вы хотите выяснить, как рассчитывались оценки для каждой ячейки. Поля, созданные в Выходном файле Проб представлены ниже:

Поле	Описание
XC	X координата центра оцененной ячейки
YC	Y координата центра оцененной ячейки
ZC	Z координата центра оцененной ячейки
X	X координата пробы
Y	Y координата пробы
Z	Z координата пробы
ACTDIST	Фактическое расстояние от пробы до центра ячейки
TRANDIST	Трансформированное расстояние от пробы до центра ячейки, при использовании трансформации объема поиска
FIELD	Имя поля содержаний для оценки
GRADE	Значение содержания пробы
WEIGHT	Назначенный «вес» для пробы
OCTANT	Число октант, если используется поиск с октантами
{ZONE1_F}	Фактическое имя поля в файле которое будет определять *ZONE1_F например ROCK. Значение записи тогда будет значением поля ROCK.
{ZONE2_F}	Также как {ZONE1_F}
AV-VGRAM	Среднее значение вариограммы между ячейкой и пробой. Только если используется кригинг.

Пример выходного файла проб

Несколько строк Выходного файла Проб показаны ниже:

XC	YC	ZC	X	Y	Z	ACT DIST	TRAN DIST	FIEL D	GRD E	WGT	OC T	ROC K	AV- VGRM
350	250	150	321	222	131	44,6	0,374	AU	3.51	0.284	7	A	6.128
350	250	150	351	301	174	56.4	0.350	AU	5.78	0.237	1	A	6.912
350	250	150	353	248	153	4.7	0.044	AU	9.14	0.324	2	A	4.730
350	250	150	245	245	117	79.4	0.792	AU	2.79	0.155	6	A	8.636

Экран дисплея.

Ниже приведен пример информации, показываемой на экране в течение обработки данных. **Первая строка дает информацию относительно использования виртуальной памяти, и будет показана если @PRINT > =1.** Знание этого могут быть полезны, если Вы имеете проблему с использованием виртуальной памяти. Эти данные нужно затем передать вашему местному представителю DATAMINE.

Таблица Оценки дает резюме для каждой оценки, которая будет рассчитана. Если Вы используете зональный контроль, тогда показываются соответствующие зональные значения. В этом примере есть два зональных поля - одно алфавитное и другое числовое.

Если, в файле Параметров Оценки, Вы определили набор параметров, которые нужно применить ко всем зонам, которые Вы явно не определили, то записи будут показываться в Таблице Оценки для каждой возможной комбинации. Поэтому может показаться, что есть большее количество комбинаций зон, чем Вы указали.

Оценки выполнены в порядке, показанном в таблице. Это не обязательно тот же самый порядок, который Вы определили в файле Параметра Оценки, потому что порядок будет определен так, чтобы минимизировать время работы.

Screen Display

```
>>> The total number of virtual memory files is 11
The total number of words in the vm files is      47942
```

Estimation Table

Estimations will be carried out for the following combinations of grade and zone fields:

Sample Output Zones	Search	Est	Vol.Ref	Meth
Data Model				
Grade Grade				
1 AU AU-IPD OXIDE	1.000		1.0	2
2 AU AU-KRG OXIDE		1.000		3
3 AU AU-IPD SULPHIDE	1.000		1.0	2
4 AU AU-KRG SULPHIDE	1.000		1.0	3
5 AU AU-IPD OXIDE	2.000		3.0	2
6 AU AU-KRG OXIDE		2.000		3
7 AU AU-IPD SULPHIDE	2.000		3.0	2
8 AU AU-KRG SULPHIDE	2.000		3.0	3

```
Number of records in the output model = 9500
Number of different grade fields = 2
Maximum number of estimates = 19000
```

This maximum number ignores retrieval criteria, selective updating, unestimated zones etc, and so the % figure in the progress report may be too low.

```
>>> 19000 estimates, 100.0% completed. Time 12:24:21 <<<
Total number of estimates      19000
```

Summary Statistics for Kriging

The total number of kriged estimates calculated is	9500
The number of kriged estimates with:	
- one or more samples with zero covariance	50
- error in solving kriging matrix	0
- kriging variance greater than the sill	0
- one or more negative kriging weights	202
- only one discretisation point	0
- maximum iterations in log kriging	0

>>> 9500 RECORDS IN FILE MODEL1 <<<

Максимальное число оценок рассчитано как число записей в Выходной Модели, умноженное на число различных полей содержаний, которые будут созданы. Есть несколько ситуаций, когда фактическое число оценок может быть меньше:

- Вы используете зональный контроль, но Вы определили только некоторые комбинации зональных полей, и не определили параметры оценки по умолчанию.
- Оценка производится с опцией замены, и Вы определили для нее критерий выбора;
- Вы используете параметры модернизации некоторой области модели @XMIN, @XMAX и т.д.

Отчет о работе процесса показывает число законченных оценок, как абсолютное число и как процент от полного числа оценок. По причинам, описанным ранее, возможно, что процентное значение будет весьма низким.

Также возможно, что размер процентов в отчете о статусе процесса может превышать 100 %. Это произойдет, если в файле Параметров Оценки, Вы неправильно определили два или более полей VALUE_OU, как имеющих то же самое имя поля. Например, в таблице Экрана, если бы Содержание Выходной Модели для всех 8 строк было AU, тогда было бы только одно различное содержание, и поэтому число оценок будет 9500, даже при том, что будет рассчитано 19000 оценок. Выходной файл Модели будет включать только оценку кригинга, потому что, хотя оценка IPD также будет выполнена, но она будет перезаписана оценкой кригинга. Поэтому, если ваш статус отчет превышает 100 %, то проверьте поля VALUE_OU в вашем файле Параметров Оценки.

Таблица 'Итоговая Статистика для Кригинга' будет показана только, если Вы использовали SK или OK как один из методов оценки. Информация, включенная в эту таблицу:

One or more samples with zero covariance

Здесь показано число оценок, которые включают одну или более проб с расстоянием от ячейки, превышающим зону вариограммы. Это - не ошибка, или даже не проблема, а только знак, что для некоторых ячеек можно будет уменьшить максимальное число проб без значительного воздействия на дисперсию кригинга.

Error in solving the kriging matrix

Если ошибка произошла при попытке решить матрицу кригинга, то для оценки кригинга будут установлено отсутствие данных (-). Если Вы используете @PRINT > 1, то координаты ячейки будут показаны и сохранены в файле печати если @ECHO=1. Скорее всего, это может быть вызвано очень высокой анизотропией зон вариограмм, поэтому

проверьте вашу модель вариограммы. Также удостоверитесь, что Вы не используете логнормальный кригинг с нормальной моделью вариограммы.

Kriging variance greater than sill

Эта запись - просто для информации, и не является проблемой. Как поступать в этой ситуации описано в разделе Кригинг.

One or more negative kriging weights

Эта запись - просто для информации, и не является проблемой. Как поступать в этой ситуации описано в разделе Кригинг.

Only one discretisation point

Эта ситуация происходит только с оценкой материнской ячейки, если @PARENT=2. Число дискретных точек в каждом направлении удваивается, пока их число не превысит @MINDISC.

Maximum iterations in log kriging

Опция Основного Случая для логнормального кригинга - это повторяющаяся процедура. Этот пункт записывает количество законченных повторений, потому что максимальное число повторений было достигнуто. Если это случается очень часто, то Вы должны рассмотреть увеличение допустимого максимального значения - поле MAXITER в файле Параметров Оценки.

14.15. Примеры

Пример 1 - NN и IPD

Первый пример показывает запуск ESTIMA с использованием методов NN (ближайшей пробы) и IPD (обратного расстояния). Это эквивалентно запуску процессов POLD3D и IPDD3D.

Файл Параметров Объема Поиска SRCPARM1 показан ниже - Помните, что все 24 поля обязательны. Три различных объема поиска были определены. Первые два будут использоваться для этого примера, а третий для примера 2.

Первый эллипсоид поиска имеет ось 100 м падающую под углом 45⁰ в направлении 25⁰ на северо-восток. Вторая ось 40 м направлена горизонтально 25⁰ на юго-восток. Третья ось эллипсоида поиска 10 м и направлена перпендикулярно двум другим. Второй эллипсоид поиска имеет такое же вращение как первый, и затем повернут на 65⁰ по часовой стрелке в новой плоскости XY.

SREFNU M	SMETH OD	SDIST1	SDIST2	SDIST3	SANGLE 1	SANGLE 2	SANGL E3
1	2	40	100	10	25	45	0
2	2	40	100	10	25	45	65
3	2	70	60	80	12	34	56
SAXIS1	SAXIS2	SAXIS3	MINNU M1	MAXNU M1	SVOLFA C2	MINNUM 2	MAXNU M2
3	1	3	1	10	-	-	-
3	1	3	1	500	-	-	-
3	1	3	1	11	-	-	-
SVOLF	MINNU	MAXNU	OCTME	MINOC	MINPER	MAXPER	MAXKE

AC3	M3	M3	TH	T	OC	OC	Y
-	-	-	0	-	-	-	-
-	-	-	0	-	-	-	-
-	-	-	0	-	-	-	-

Все поля в файле Параметров оценки, кроме VALUE_IN, являются дополнительными. В этом примере, 7 полей определены для файла ESTPARM1, и поэтому остальные поля принимают значения по умолчанию. В частности это означает что ANISO=1, поэтому эллипсоид анизотропии для расстояния взвешивания тот же самый, как и эллипсоид поиска.

VALUE_I N	VALUE_O U	NUMSAM_ F	SREFNU M	IMETHO D	POWE R	ADDCO N
AU	AU-NN		1	1	-	-
AU	AU-IPD	IPD-NUM	2	2	1	5

Требуемые файлы для ESTIMA показаны ниже. Никакие поля или параметры не были определены, поскольку они все берутся по умолчанию.

!ESTIMA	&PROTO (PROTOMOD),	&IN (SAMPLES),	&MODEL (MOD1EST),
	&SRCPARM (SRCPARM1),	&ESTPARM (ESTPARM1)	

Пример 2 - ОК

Файл Параметра Объема Поиска, используемый здесь - тот же самый файл который используется в примере 1. Файл Параметра Оценки, ESTPARM2, содержит следующие поля:

VALUE_I N	VALUE_O U	NUMSAM _F	VAR_ F	SREFNU M	IMETHO D	VREFNU M	LO G
AU	AU-KRG	N-KRG	KV- KRG	3	3	5	0
AU	AU-LOG	N-LOG	KV- LOG	1	3	6	1

Файл Параметров Модели Вариограммы:

VREFNU M	VANGLE 1	VANGLE 2	VANGLE 3	VAXIS 1	VAXIS 2	VAXIS 3	NUGGE T
5	12	34	56	3	1	3	10
6	25	45	0	3	1	3	0,1

ST1	ST1PAR1	ST1PAR2	ST1PAR3	ST1PAR4
1	40	30	50	20
1	45	35	55	0,2

Требуемые файлы и параметры для ESTIMA показаны ниже. Все поля и все другие параметры берутся здесь по умолчанию.

!ESTIMA	&PROTO (PROTOMOD),	&IN (SAMPLES),	&MODEL (MOD2EST),
	&SRCPARM (SRCPARM1),	&ESTPARM (ESTPARM2),	
	@XPOINTS=3,	@YPOINTS=3,	@ZPOINTS=3

14.16. Обзор параметров

Список всех параметров дается в следующей таблице. Все параметры необязательные, и, если не определены, то используются значения по умолчанию.

Параметр	По умолчанию	Метод	Описание
XSUBCELL	1	Все	Число подъячеек по X если &PROTO отсутствует
YSUBCELL	1	Все	Число подъячеек по Y если &PROTO отсутствует
ZSUBCELL	1	Все	Число подъячеек по Z если &PROTO отсутствует
DISCMETH	1	IPD, OK, SK	Метод дискретизации ячеек: 1 - @XPOINTS, 2 - @XDSPACE и т.д.
XPOINTS	1	@DISCMET H=1	Число дискретных точек по X
YPOINTS	1	@DISCMET H=1	Число дискретных точек по Y
ZPOINTS	1	@DISCMET H=1	Число дискретных точек по Z
XDSPACE	pt at cell centre	@DISCMET H=2	Дистанция между дискретными точками по X
YDSPACE	“-“	@DISCMET H=2	Дистанция между дискретными точками по Y
ZDSPACE	“-“	@DISCMET H=2	Дистанция между дискретными точками по Z
PARENT	0	Все	Флаг родительской ячейки: 0 – оценка каждой подъячейки, 1 – только родительской по всем точкам, 2 – только родительской по выбранным точкам.
MINDISC	1	@PARENT= 2	Минимальное число дискретных точек
XMIN	&PROT O min X	Все	Минимальное значение X для модернизации модели
XMAX	&PROT O max X	Все	Максимальное значение X для модернизации модели
YMIN	&PROT O min Y	Все	Минимальное значение Y для модернизации модели
YMAX	&PROT	Все	Максимальное значение Y для

	O max Y		модернизации модели
ZMIN	&PROT O min Z	Все	Минимальное значение Z для модернизации модели
ZMAX	&PROT O max Z	Все	Максимальное значение Z для модернизации модели
COPYVAL	0	Все	0 – отсутствие значение, когда данных недостаточно, 1 – копирование всех имеющихся значений в выходную модель
FVALTYPE	1	OK, SK	F функция аппроксимации: 1=использовать точные размеры ячейки, 2=аппроксимация размера ячейки.
FSTEP	1	@FVALTYP E=2	Размер шага для аппроксимации ячейки по F значению
LINKMODE	3	Unfold	Метод определения связи линий
UCSAMODE	2	Unfold	Тип UCSA координат
UCSBMODE	3	Unfold	Тип UCSB координат
UCSCMODE	2	Unfold	Тип UCSC координат
PLANE	1	Unfold	План структурных интерпретаций
HANGID	-	Unfold	Значение поля кровли в файле &STRING
FOOTID	-	Unfold	Значение поля подошвы в файле &STRING
TOLRNC	0	Unfold	Точность расчета UCSA координат
ORGTAG	-	Unfold	Номер Tag, определяющего начало UCSB осей.
PRINT	0	Все	Флаг контроля показа статуса процесса: 0-минимум, 1- средний, 3-максимальный
ECHO	0	Все	Флаг вывода контрольной информации в принт-файл: 0- не посылать, 1- посылать в файл

14.17. Файлы и поля

Обзор всех файлов, используемых в ESTIMA, представлен в следующей таблице:

Имя файла	Input/ Output Входной (I)/выходной (O)	Compulsor y/ Обязатель ный (C) / необязатель ный(O)	Описание
PROTO	I	C	Входной прототип модели
IN	I	C	Файл данных опробования
SRCPARM	I	C	Файл параметров объема поиска
ESTPARM	I	C	Файл параметров оценки
VMODPARM	I	O	Файл параметров модели вариограммы
STRING	I	O	Файл линий разворота пласта
MODEL	O	C	Выходная модель
SAMPOUT	O	O	Выходной файл проб

Большинство этих файлов было описано подробно в предыдущих разделах. Краткое описание файлов Входного Прототипа Модели и Данных Опробования дается здесь.

Входной Прототип Модели

Это стандартный файл модели Datamine, имеющий 13 обязательных полей. Дополнительно он может содержать три следующих поля:

LOCALM_F локальное среднее для простого кригинга
ZONE1_F первое поле зонального контроля
ZONE2_F второе поле зонального контроля

Файл данных опробования

Этот файл должен содержать X, Y и Z координаты проб, и, по крайней мере, одно поле содержания. ESTIMA ожидает имена полей координат с названиями X, Y и Z. Однако, если Вы использовали другие имена, тогда они могут быть определены, например, как:

*X (EAST), *Y (NORTH), *Z (RL)

Название(я) поля(ей) содержания(ий) определено как поле VALUE_IN в файле Параметра Оценки. Другие поля (все необязательные) в файле Данных Опробования:

ZONE1_F первое поле зонального контроля
ZONE2_F второе поле зонального контроля
KEY поле, используемое для выбора проб по ключевому полю
LENGTH_F поле для взвешивания по длине для IPD
DENS_F поле для взвешивания по плотности для IPD

Если Вы хотите использовать какое либо из этих полей, то Вы должны определить их как, например *KEY (BHID). Однако, обратите внимание, что, если имеется фактическое поле KEY в файле Данных Проб, и Вы устанавливаете MAXKEY = 1 или больше в файле Параметров Оценки, тогда процесс будет использовать поле KEY для ограничения образцов, даже если Вы не определяли *KEY (KEY).

Подобная ситуация, как с полем KEY, может произойти и с другими полями, которые являются типовыми для Датамайн. Если поле взвешивания длины назвать LENGTH, вместо LENGTH_F, и поле LENGTH существует в файле Данных Проб, что является весьма вероятным, тогда IPD будет всегда использовать взвешивание по длине.

Обзор полей ESTIMA использует стандартные поля DATAMINE, названные соглашениями. Такие поля показаны ниже. Все поля необязательные.

Файл	Поле	Описание
IN	X	X координата данных проб
	Y	Y координата данных проб
	Z	Z координата данных проб
	KEY	Ключевое поле выбора проб для оценки
	LENGTH_F	Поле для взвешивания по длине для IPD
	DENS_F	Поле для взвешивания по плотности для IPD
IN,	ZONE1_F	первое поле зонального контроля

PROTO, MODEL, ESTPARM	ZONE2_F	второе поле зонального контроля
STRING	SECTION	Идентификатор сечения для разворачивания
	BOUNDARY	Идентификатор границы для разворачивания
	WSTAG	Tag сечения
	BSTAG	Tag между сечения
	TAG	Поле Tag

14.18. Ограничения системы

Нет никакого ограничения на число записей в файле Данных Проб или файле Прототипа Модели. Однако есть некоторые ограничения на некоторые переменные:

Число зон.

Максимальное число зональных комбинаций 100 в файле Данных Проб или файле Прототипа Модели. Если определено только одно поле зоны, тогда можно использовать максимум 100 различных зон. Если имеется два зональных поля, то это означает 100 разных комбинаций зон 1 и зоны 2.

Длина алфавитного поля зоны.

Если поле алфавитное, то оно должно быть не больше 20 символов (пять слов по 4 символа).

Поля содержаний.

Максимальное число различных полей содержаний определяемых для VALUE_IN в файле Параметров Оценки - 24. В файле Параметров Оценки может быть больше чем 24 записи, если некоторые из значений содержаний - те же самые, но имеют различные параметры в различных зонах. **Есть также предел - 24 поля VALUE_OU в файле Параметров Оценки.**

Длина ключевого поля.

Если поле *KEY алфавитное, то оно должно иметь не больше 40 символов (10 слов).

Пробы для каждой оценки.

Нет, ограничений на число проб в пределах объема поиска для методов оценки NN, IPD или ST. Однако для ОК и SK Вы ограничены 220 пробами для PC с DOS инсталляцией, и 1400 для всех других компьютеров. Вы должны учитывать эти пределы при определении полей MAXNUMn в файле Параметров Объема Поиска.

15. Создание блочных моделей и манипуляции с ними

15.1. Введение

Цель геологической модели состоит в том, чтобы точно представить не только содержания компонентов по месторождению, но также его границы и внутренние структуры.

Геологическая модель Datamine состоит из прямоугольных блоков, или ячеек, каждая из которых имеет признаки, например, содержаний, типов породы, кодов окисления и т.д.

Хотя возможны многие формы ячеек, таких как многоугольники, искаженные кубы, математические поверхностей и элементы триангуляции, но ни один из них не является полностью универсальным в применении. Самая простая форма трехмерной модели представляет собой прямоугольную сетку, в которой каждая ячейка имеет те же самые размеры. Это - наиболее часто используемый тип модели, потому что он эффективно обрабатывается в компьютере.

Для некоторых залежей могут быть найдены изящные решения проблемы представления содержаний и геологических границ. Развитая система моделирования, типа Студии 3, однако, требует метода, который без модификации является универсальным для самого широкого диапазона месторождений. Решение состоит в том, чтобы использовать блочную модель, которая состоит из прямоугольных ячеек различных размеров (Рис. 15.1).

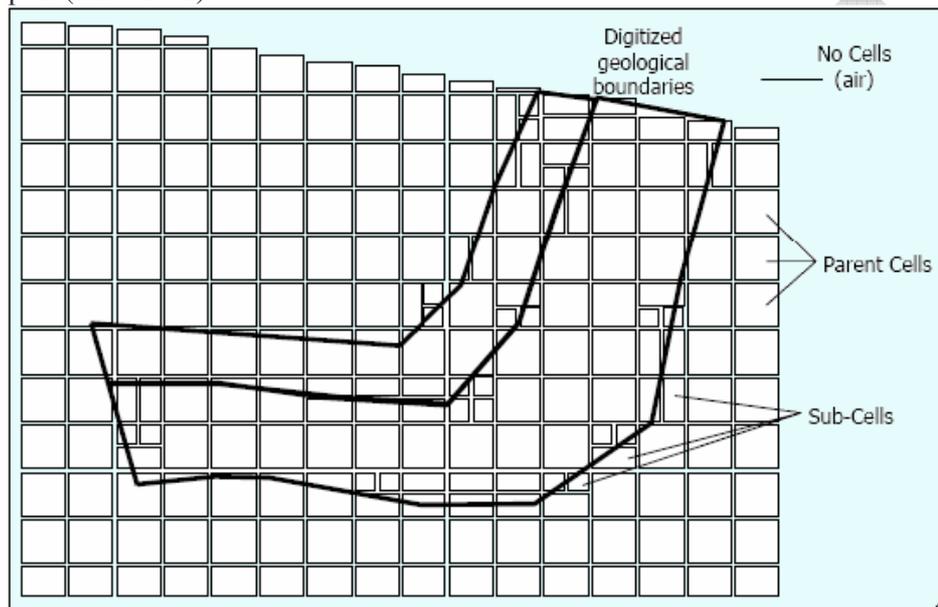


Рис. 15.1. Разрез геологической модели

Размер Ячейки (блока)

Родительская ячейка - самая большая ячейка в модели. Размер ее определяется пользователем с учетом ряда факторов, типа плотности буровой сети, способа отработки месторождения и характеристики его геологической структуры. Там, где модель нуждается в детализации (тонкие линзы, выклинивания на флангах, сложный рельеф) родительские ячейки разделяются на маленькие подячейки. Размер этих подячеек контролируется пользователем.

Факторы, влияющие на размер основного блока модели:

- **Плотность разведочной сети.** В геостатистике есть аксиома, что для получения несмещенной оценки кригинга (геостатистический метод интерполяции) размер оцениваемых основных блоков не должен быть меньше половины среднего расстояния между пробами в данном направлении. Чем меньше будет размер блока, тем большее смещение средней оценки мы должны ожидать. КСТАТИ, это относится и к интерполяции методом обратных расстояний. Несмотря на это, многие эксперты принимают минимальный размер блоков модели, равный 25 –30% от среднего размера разведочной сети.
- **Анизотропия месторождения.** Форма блока должна соответствовать структуре моделируемого объекта и характеру его анизотропии. Если эллипсоид анизотропии развернут относительно системы координат, то иногда ПОЛЕЗНО перед моделированием развернуть систему координат в

соответствии с анизотропией (см. раздел 16), а все дальнейшие работы вести в новой системе.

- **Способ отработки месторождения.** Идеально, если размеры блока будут соответствовать форме и размерам горной выемочной единицы, характерной для принятой проектом системы отработки запасов. Для подземной отработки тонких жил блок должен быть меньше, чем для карьера. На открытых горных работах принято, чтобы высота блока соответствовала высоте уступа и т.д.

Таким образом, размер блока должен всегда отдельно обосновываться геологом, производящим моделирование, и соответствовать вышеприведенным (и возможно – дополнительным) особенностям месторождения.

Существенное преимущество моделирования Datamine состоит в том, что нет необходимости создавать ячейки в каждой позиции в пределах модели. Только области, представляющие интерес, типа минерализованной зоны, могут быть смоделированы.

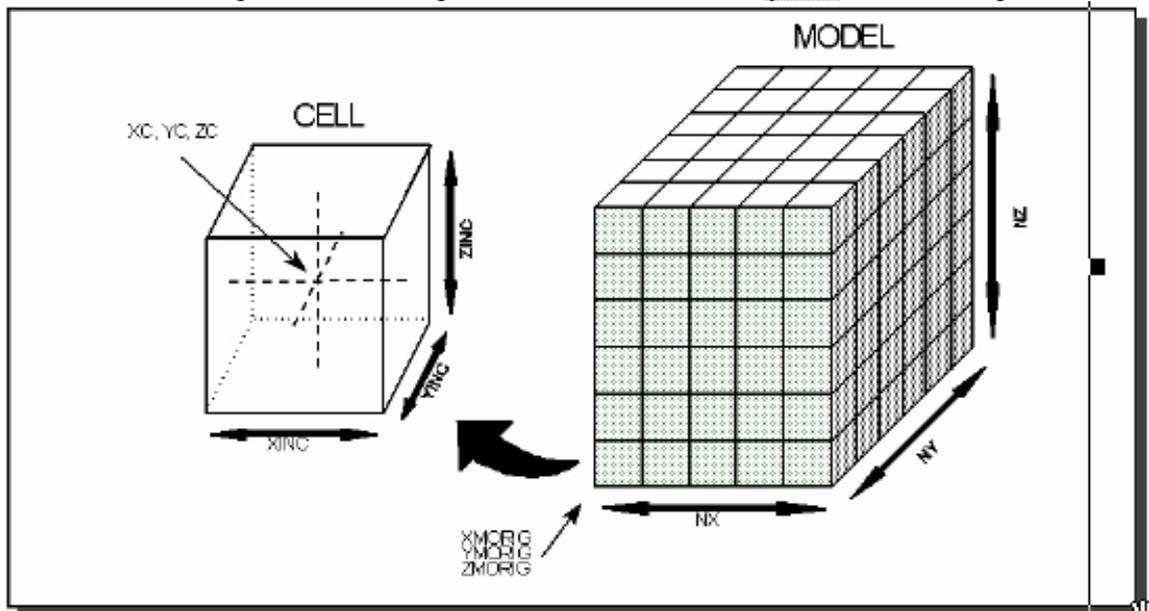


Рис. 15.2. Прототип модели

Плоскость Заполнения

Раскол ячейки может быть сделан по любой оси в модели. Когда используется какая-то граница, типа периметра или wireframe, то необходимо определить плоскость заполнения, чтобы управлять направлением раскола ячейки. Например, если выбрана плоскость заполнения 'XY', то процесс создаст указанное число подъячеек в направлениях осей X и Y. В направлении третьей оси размер ячейки будет вычислен, используя метод "заполнения пласта". При этом методе размер ячейки устанавливается автоматически так, чтобы он точно соответствует периметру или границе wireframe. Поэтому осторожный выбор плоскости заполнения важен для обеспечения возможно лучшего моделирования геологических границ (рис. 15.3).

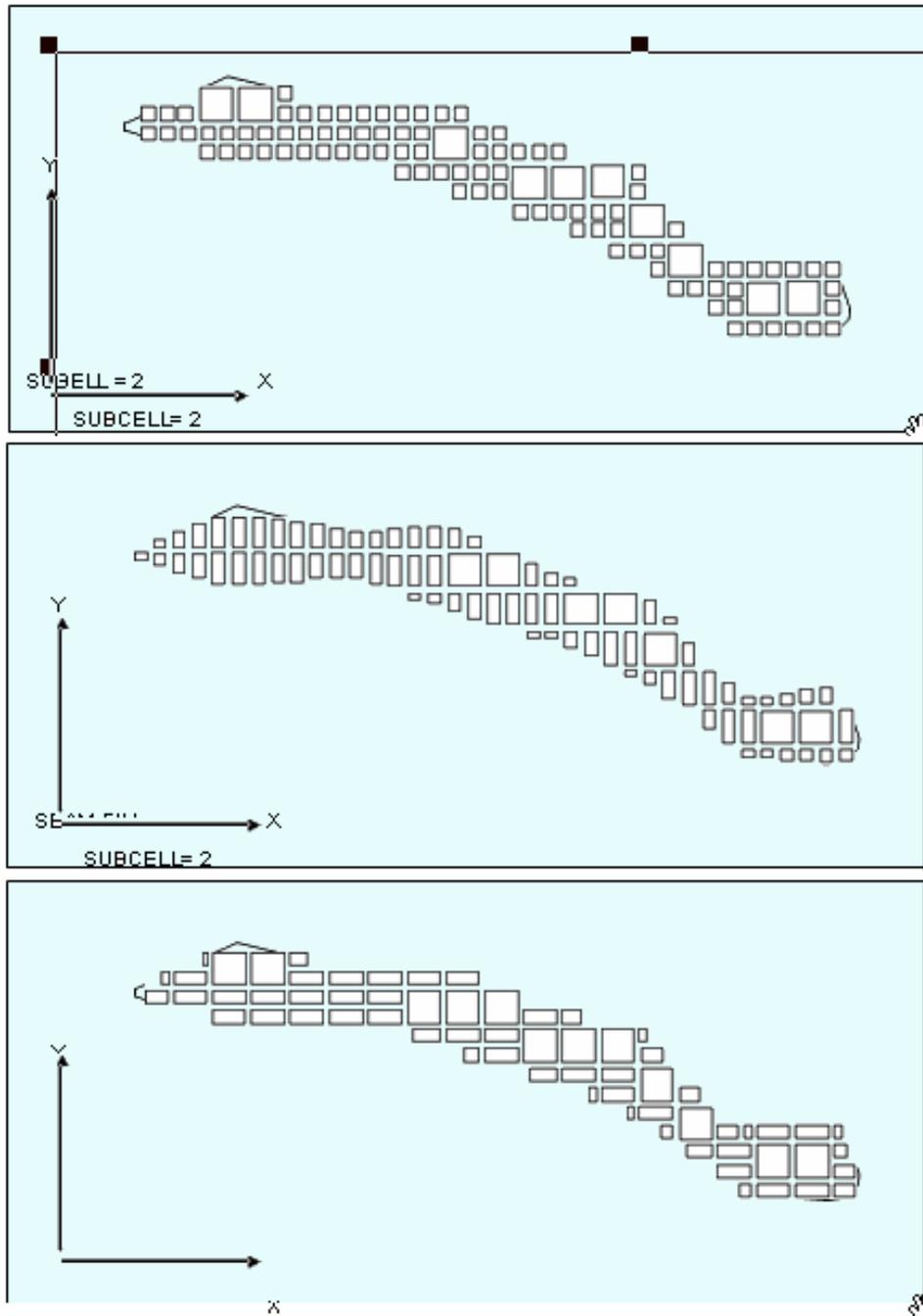


Рис. 15.3. Примеры определения плоскости заполнения

Студия 3 сохраняет точную длину каждой ячейки в направлениях осей X, Y и Z в 3-х отдельных полях. Этот подход позволяет создавать ячейки без ограничений их размеров.

Определение Модели

Перед созданием модели необходимо определить размеры области распространения модели и родительской ячейки. Эта информация сохраняется в файле прототипа модели (рис. 15.2). Этот прототип может также быть существующей моделью или новым файлом, созданным процессом **PROTOM (Models | Create Model | Define Prototype)**. Прототип модели может также быть описан как пустая модель.

Поля файла Модели

Студия 3 требует следующих числовых полей в каждом файле модели. Отметьте, что вместо востока, севера и высотной отметки Студия 3 использует названия полей 'X', 'Y' и 'Z'. Это - для того, чтобы было возможно приводить модели к местной сетке

координат вместо истинной (мировой) системы координаты. Эти все поля создаются процессом **PROTOM**.

Имя поля	Явное или неявное	Описание
XMORIG	Неявное	Восточная координата начала модели
YMORIG	Неявное	Северная координата начала модели
ZMORIG	Неявное	Высотная отметка начала модели
NX	Неявное	Число родительских ячеек в направлении X
NY	Неявное	Число родительских ячеек в направлении Y
NZ	Неявное	Число родительских ячеек в направлении Z
XINC	Явное или Неявное	Размер ячейки по X
YINC	Явное или Неявное	Размер ячейки по Y
ZINC	Явное или Неявное	Размер ячейки по Z
XC	Явное	X координата центра ячейки
YC	Явное	Y координата центра ячейки
ZC	Явное	Z координата центра ячейки
IJK	Явное	Используется для позиционирования родительских ячеек внутри модели. Каждая родительская ячейка имеет уникальный IJK. Подъячейки внутри одной ячейки имеют одинаковый IJK

Определение Начала Модели

Datamine устанавливает начало модели в угле первой родительской ячейки, а НЕ в ее средней точке.

Определение Размеров Модели

Размеры модели по осям X, Y, и Z определяется числом разрешенных ячеек в каждом направлении (NX, NY, NZ) в комбинации с размерами родительских ячеек и началом модели.

Например, если модель имеет следующие значения XMORIG, XINC и NX:

- XMORIG = 45000
- XINC = 10
- NX = 100, то

ее распространение на восток будет от 45000 (XMORIG) до 46000 (XMORIG+XINC*NX)

Другие Поля

В дополнение к стандартным полям модель Datamine, может содержать любое количество дополнительных полей, необходимых для характеристики залежи. Эти поля обычно связаны с содержаниями компонентов, литологии и плотности. Другие обычные типы полей включают экономические поля для полиметаллических месторождений и поля, характеризующие качество оценки содержаний, типа дисперсии kriging.

15.2. Методы моделирования

Несколько методов могут использоваться, чтобы создать модели в Datamine. Выбор метода зависит от сложности геологии, степени требуемой точности, времени и ресурсов, доступных для моделирования.

Неограниченное Моделирование

Самый быстрый способ построить модель состоит в том, чтобы создать ячейки, используя процесс интерполяции. Для интерполяции необходимо иметь пустой прототип модели, данные опробования и ряд подходящих параметров интерполяции. В ходе интерполяции процесс просматривает средние точки каждой потенциальной ячейки, чтобы установить число проб, находящихся в пределах радиуса поиска. Если пробы не удовлетворяют условиям интерполяции, то процесс идет дальше к позиции следующей ячейки, не создавая ячейку. Когда в определенной области поиска достаточно проб, которые удовлетворяют ограничениям интерполяции, то процесс создает ячейку в этой позиции модели и назначает ей интерполированную оценку.

Главное неудобство этого метода в том, что невозможно точно смоделировать геологические контакты. Этот подход обычно используется при моделировании вкрапленных больших месторождений с низкими содержаниями, типа Медно-Порфировой минерализации.

Моделирование в Границах

Для лучшего контроля над формой и положением структур необходимо использовать геологическую интерпретацию. Эта интерпретация может принимать форму периметров, которые определяют границы минерализации, или, если требуется больше точности, то используются wireframed поверхности.

Моделирование с Использованием Периметров

Геологическая интерпретация выполняется на разрезах или планах, на которых наносятся структура и границы минерализации. Они могут быть созданы интерактивно в Проектном окне Студии 3 или вручную на чертежах, которые затем оцифровываются или дигитайзером, или векторизуются после сканирования.

Поскольку линии переведены в цифровую форму, то к ним могут быть добавлены коды или атрибуты, чтобы отличать различные зоны и или типы пород. Datamine может позже назначить их для ячеек модели. Примеры полей атрибут включают *COLOUR*, *ROCKTYPE*, *ZONE*, *WEATHER* и *OXIDE*.

Используя диалоговую графику в Окне **Проекта**, точки периметров могут быть точно привязаны к трехмерным координатам выбранных интервалов буровой скважины.

В Datamine, чтобы заполнить периметры ячейками, они должны быть замкнутыми. Следует гарантировать, чтобы смежные границы периметров примыкают друг к другу без промежутков или наложений. Утилиты редактирования линий в меню окна **Проекта** могут использоваться, чтобы автоматически создавать контуры из открытых перекрывающихся линий. Это означает, что общие границы должны быть оцифрованы только однажды.

Отметьте, что периметры могут быть оцифрованы по часовой стрелке или против часовой стрелки.

Как только линии загружены в Окно **Проекта**, они могут быть легко рассмотрены и отредактированы.

- Проверка положений линий и их кодирование является критическим, потому что любые неправильные значения в этом пункте могут значительно влиять на правильность заключительной модели
- Расчет статистик по линиям, используя процессы **STATS** и **PROPER**.
- Печать чертежей положения линий и атрибут.
- Рассмотрение данных в трех измерениях в Окне **Visualizer**.

Заполнение Периметров ячейками

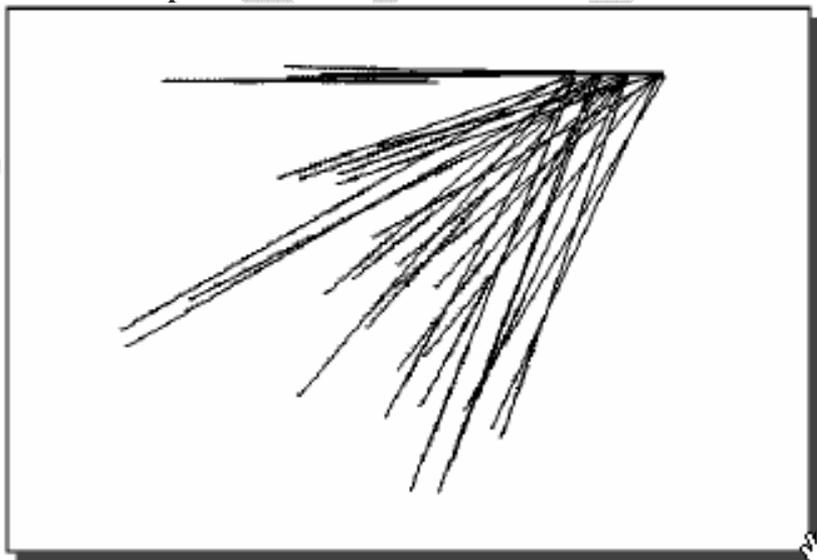
Построение блочной Модели с использованием периметров производится командой **PERFIL** (в окне **Проекта** выберите **Models | Create Model | Fill Perimeters with cells**). Этот процесс требует, чтобы периметры, были плоским и лежали в одной из плоскостей 'XY', 'XZ' или 'YZ'. Если периметры не выполняют любое из этих условий, то будет необходимо создать wireframe и заполнить ее ячейками.

В процессе заполнения периметров **PERFIL** создает ячейки перпендикулярно периметрам.

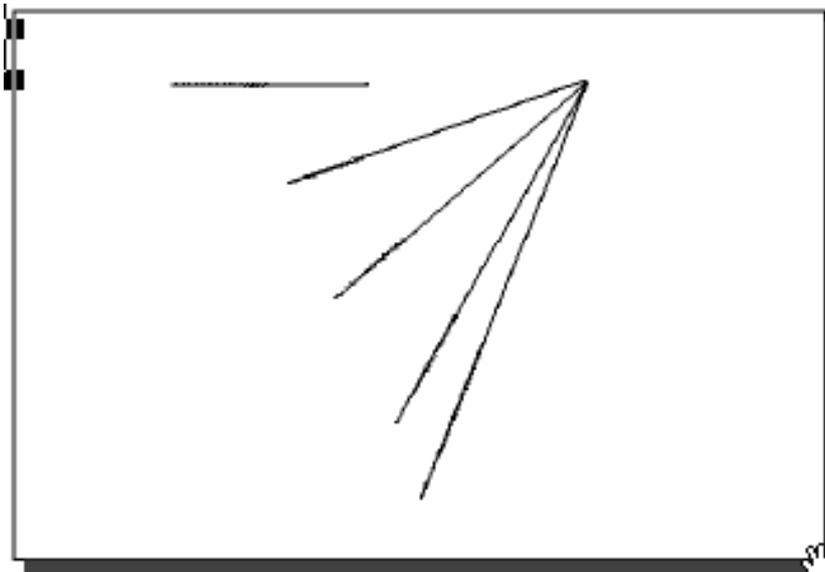
Расстояние проецирования обычно определяется половиной интервала между сечениями. Осторожность должна быть предпринята, чтобы гарантировать, что используемые значения не создадут промежутков или наложений ячеек между сечениями. Этот метод работает лучше всего, когда геологическая структура находится приблизительно вдоль ортогональных осей и сечения близко расположены друг к другу.

Проверка Модели

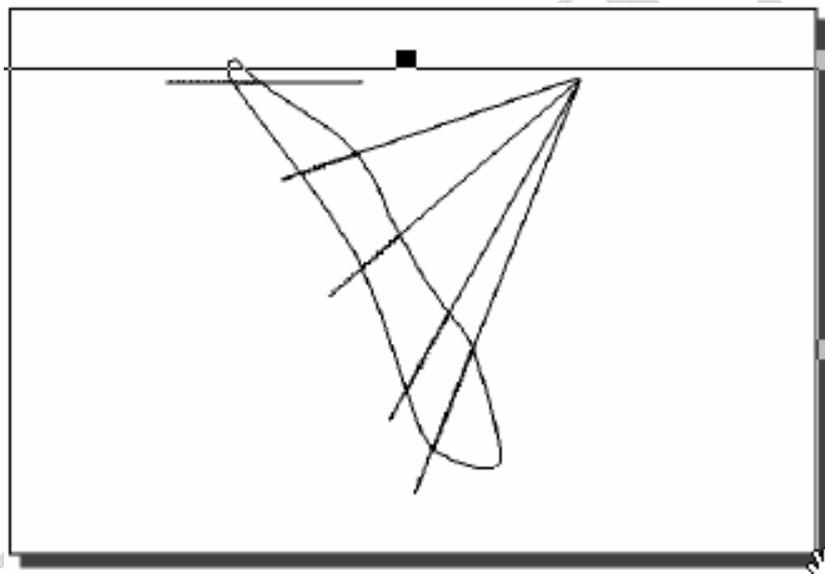
Как только модель создана, она должна быть проверена, чтобы гарантировать, что заполнение ее ячейками прошло как ожидалось. Это может быть сделано визуально, рассматривая различные сечения модели с различной ориентацией в интерактивном режиме в Окне **Проекта**.



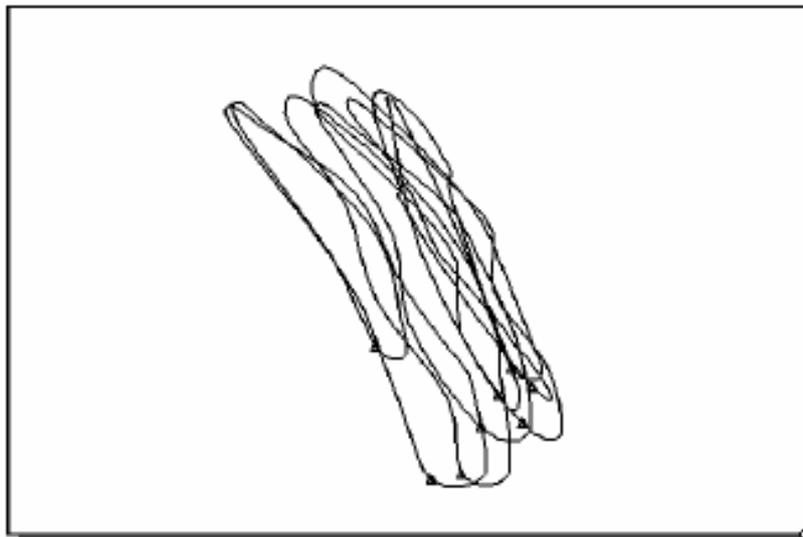
Загрузите набор данных опробования в Окно **Проекта** и затем рассмотрите его на разрезах. Цвета или фильтры могут использоваться, чтобы идентифицировать данные опробования и коды литологии для каждого интервала. Отрегулируйте вид так, чтобы экран находился в плоскости выбранного сечения.



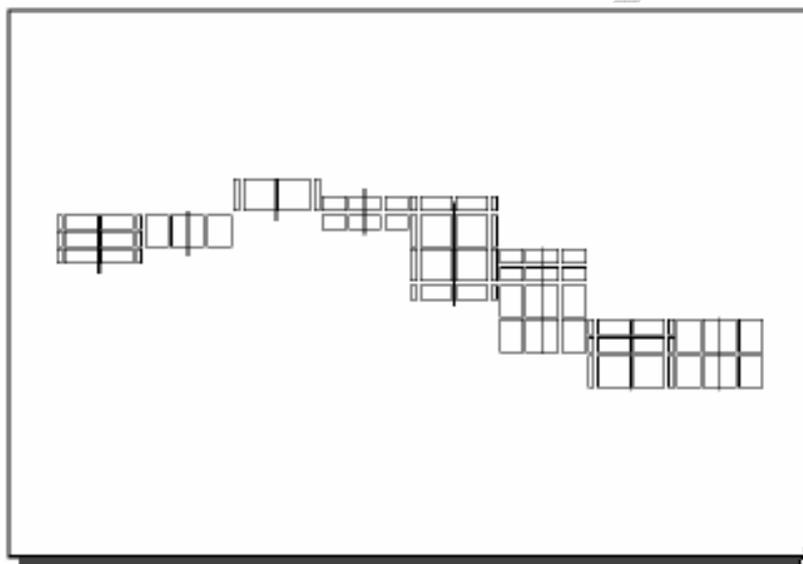
Включите нужный клиппинг, чтобы удалить пробы, которые лежат вне влияния этого разреза. Расстояния клиппинга обычно равны половине расстояния между смежными сечениями.



Используя цветовую легенду, проводят геологическую интерпретацию оцифровывая линии на экране. Если область должна быть заполнена ячейками, то контуры должны быть замкнуты. Много зон могут быть определены на одном сечении, кодируя их цветом или любым другим признаком



Как только сечение закончено; переместите положение ПИ экрана на следующее сечение и оцифруйте контуры. Продолжите эту процедуру, пока все разрезы не будут закончены.



Заполните плоские контуры ячейками, используя процесс **PERFIL**. Рассмотрите модель в плане или сечении, чтобы гарантировать, что заполнение выполнено корректно.

Моделирование с Использованием Wireframes

Самый точный способ определить геологическую границу в трех измерениях - использовать поверхность или тело wireframe. По существу это тоже самое за исключением того, что wireframe тело - определяет замкнутый объем, а поверхность открыта. Они могут также отличаться по методам, используемым, для их создания. Использование wireframes дает больше точности чем периметры, но требует полного знания того, как залежь ведет себя в 3-х мерном пространстве.

Отправная точка для моделирования тела wireframe - это обычно ряд периметров, выделяющих минерализацию. Эти периметры не должны быть плоскими и могут находиться в любой ориентации. Они не должны однако пересекаться в трех измерениях сами с собой (петли) или со смежными периметрами.

Проверка Wireframes

Как только периметры созданы, команды соединения их, доступные в Меню **Wireframes**, могут использоваться, чтобы создать wireframe. После окончания wireframe

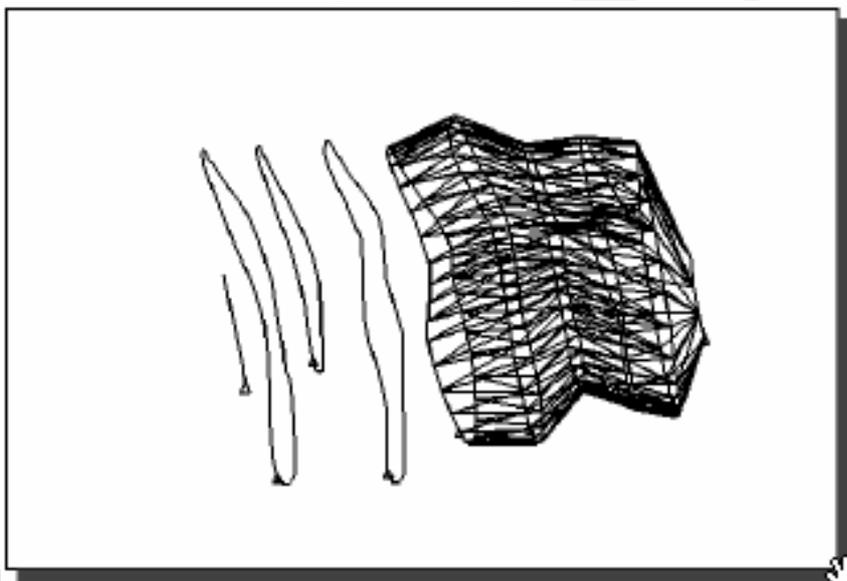
должна быть тщательно проверена, чтобы гарантировать, что все соединения являются действительными и каркас представляют требуемую поверхность.

Это может быть сделано, рассматривая сечения wireframe в различных ориентациях или полной wireframe в Окне **Visualizer**. Другой метод должен использовать пересечения wireframe, чтобы найти места наложения каркасов. Корректная wireframe не будет создавать какие-либо линии пересечения.

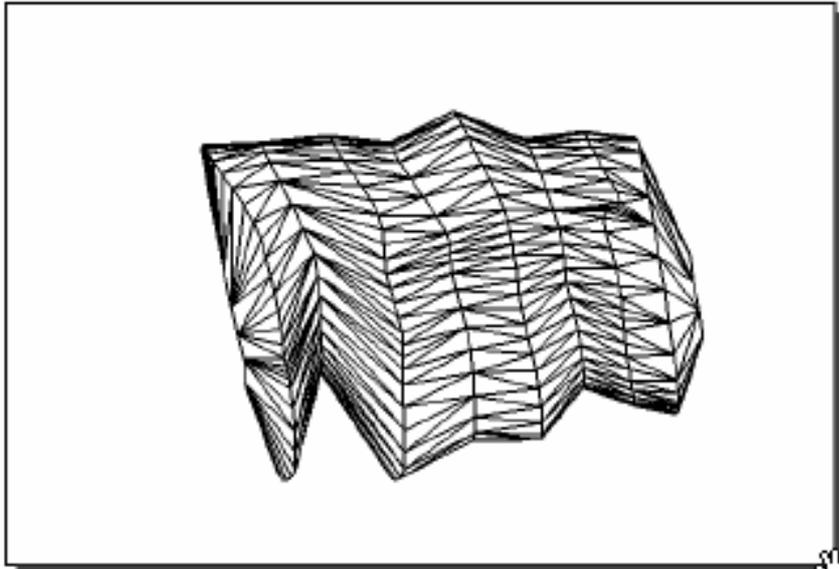
Каркас может быть заполнен ячейками, используя процессы **TRIFIL** или **WIREFILL** (в окне **Design**, выберите **Models | Create Model | Fill Wireframe with Cells**). Должна быть определена соответствующая плоскость заполнения и размер подъячейки, основанный на форме wireframe .

Главные преимущества этого метода по сравнению с методом периметров включают.

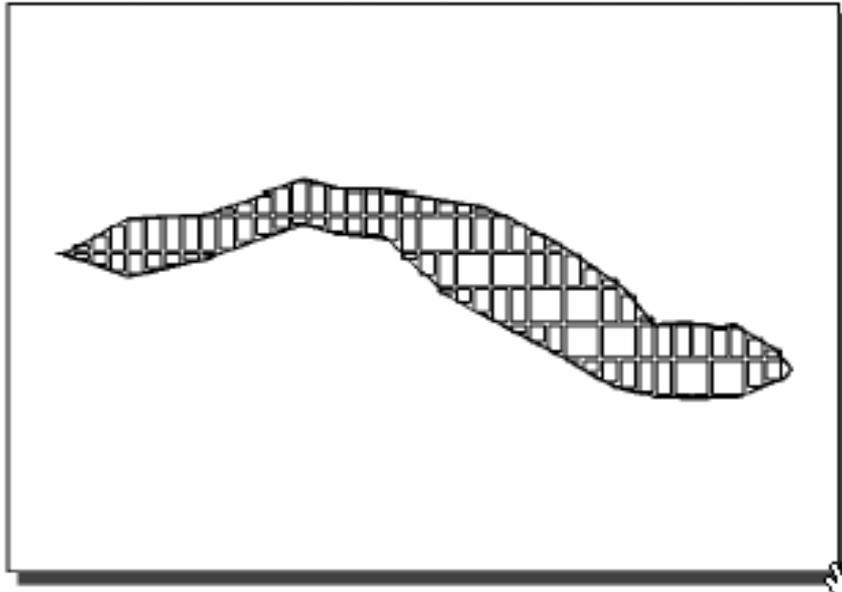
- Результирующие модели более точны, они более точно отражают геологические структуры и зоны.
- Каркас может быть разрезан в любой ориентации.
- Срезы каркаса могут быть преобразованы в контуры, позволяющие создание нового набора периметров в новой ориентации.
- Объемы Wireframe могут быть вычислены быстро и легко.
- Wireframes предлагают самый ясный и наиболее графический способ делать презентации проектов



Используйте команды соединения линий в меню Wireframes, чтобы создать каркасные связи между сечениями.



После того, как wireframe закончен, важно его проверить. Это может быть сделано, рассматривая его с нескольких направлений со скрытыми линиями или нарезая wireframe, чтобы создать различные контуры пересечений.



Заполните wireframe ячейками, используя процесс **TRIFIL**. Рассматриваемая в сечениях модель проверяется, чтобы гарантировать, что результат заполнения корректен.

Поверхности Wireframe могут быть построены и обновлены намного быстрее чем замкнутые wireframe и могут быть произведены для висячего и лежащего бока залежи.

15.3. Моделирование структур

Сложные геологические модели часто содержат отдельные структуры, типа различной литологии, интрузивов и поверхностной топографии. Управление всеми ими и встраивание их в модель одновременно может быть затруднено и отнимать много времени. Кроме того, если сделано изменение в одном компоненте, то может быть необходимо повторить весь процесс моделирование

Чтобы преодолеть эту проблему, создайте отдельную модель для каждой из отдельных структур. Например, постройте отдельные модели для дайки и массива, через который она внедрилась. Постройте заключительную модель, добавляя дайку к модели массива. Если необходимо изменить положение дайки, то постройте ее новую модель и добавьте ее снова к первоначальной модели массива.

Поверхностная Топография

Топографию поверхности строят, используя команду **Wireframes | Interactive DTM creation | Make DTM**.

Возможно создать **DTM** из контуров (изолиний) поверхности, точек, замкнутых граничных периметров или любой комбинации этих элементов. После этого используется процесс **TRIFIL**, чтобы заполнить модель ячейками ниже поверхности.

Пласты

Моделирование пластов подобно моделированию поверхностной топографии. Топографическую поверхность можно фактически рассматривать как воздушный пласт, лежащий над породой. По этой причине методы, используемые для моделирования подобны рассмотренным в предыдущей секции.

Главное различие - в том, что в случае пластов имеются две или больше рассматриваемых поверхностей.

Как и с поверхностной топографией, метод, используемый для моделирования пластов зависит прежде всего от природы доступных данных и сложности пласта. Могут быть выделены два метода и условия для их использования следующим образом;

Метод 1; Создание DTM

Постройте поверхность, используя команду **Wireframes | Interactive DTM creation | Make DTM (md)** и затем используйте процесс **TRIFIL (Models | Create Model | Fill Wireframe with Cells)**, чтобы заполнить wireframe ячейками.

Этот метод должен использоваться когда:

- Имеются Точка и/или Линии (пересечения буровых скважин, изолинии поверхности)
- Информация распространяется по всей модели
- Используются простые поверхности (без нависаний),

Метод 2; Соединение Линий

Постройте поверхность, используя команды соединения линий в меню **Wireframes (Wireframes | Linking)** и затем используйте команду **TRIFIL**, чтобы заполнить wireframe ячейками

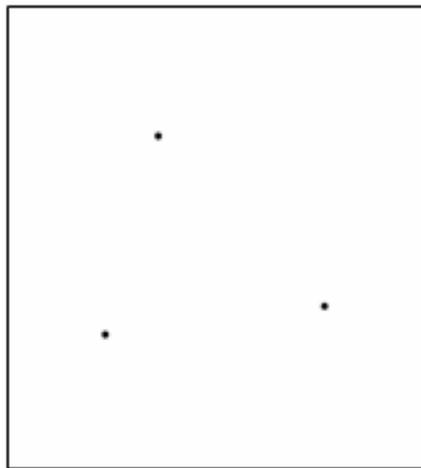
Этот метод должен использоваться когда:

- Имеются данные линий (интерполированные сечения)
- Информация распространяется по всей модели
- Используются сложные поверхности (любая ориентация, нависания),

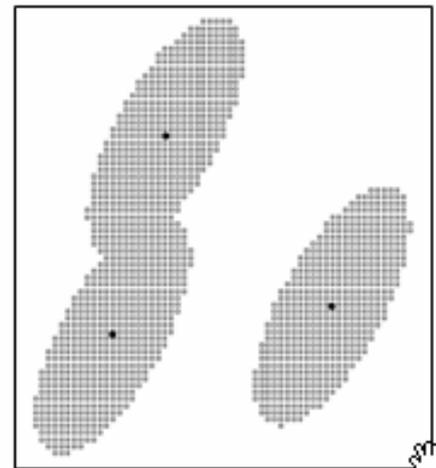
Независимо от того, какой метод используется, если имеются многократные пласты, то каждый должен быть оформлен отдельно и иметь требуемые атрибуты и содержания. Добавьте индивидуальные модели друг к другу использованием **ADDMOD (Models | Manipulate Models | Add Two Block Models)**, чтобы создать финальную модель.

Массивные Залежи

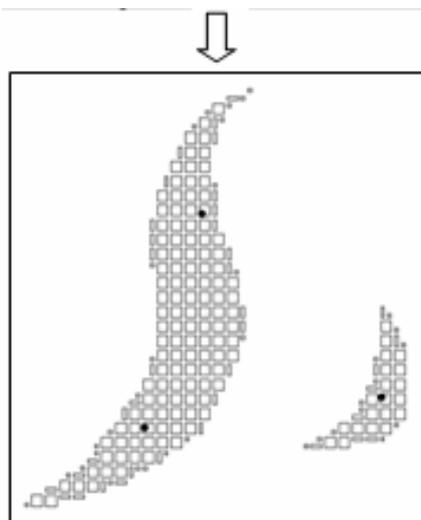
Массивные месторождения, содержащие вкрапленную минерализацию, часто имеют мало ясных контактов или границ, определяющих степень минерализации. С другой стороны, граница (например, интрузия) может лежать вне зоны интереса геолога. В таких случаях модель может быть рассмотрена, как неограниченная. Ячейки могут быть созданы, используя процесс интерполяции **ESTIMA (Models | Interpolate Grade | Interpolate Grades into Model)**. Версия процесса для Меню по имени **ESTIMATE (Models | Interpolate Grade | Interpolate Grades from Menu)** может использоваться как альтернатива предыдущей команды.



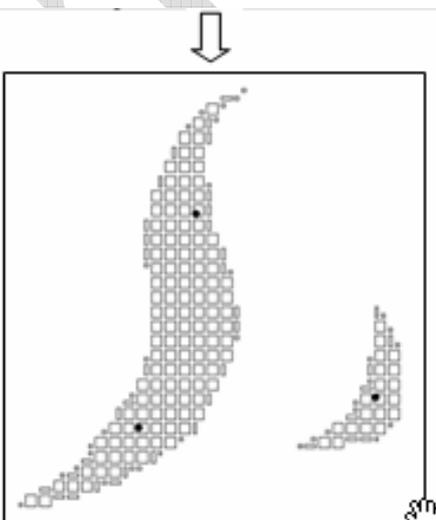
Пустой прототип



Ячейки, созданные с помощью эллипсоида поиска



Модель прототипа с ячейками



Новых ячеек не создано

Есть два подхода чтобы построить модель процессом интерполяции;

- Заполнить прототип модели полностью ячейками, используя процессы **TRIFIL** или **PERFIL**. Используйте эту модель как прототип для процесса интерполяции, чтобы рассчитать содержания в ячейках. Ячейки, которые не удовлетворяют ограничениям для интерполяции содержания, остаются с неопределенными значениями.
- Использовать процесс **ESTIMA** или **ESTIMATE**, чтобы интерполировать содержания в пустом прототипе модели, чтобы создать ячейки (неограниченная оценка).

Особенности Интрузивов (дайки, жилы..)

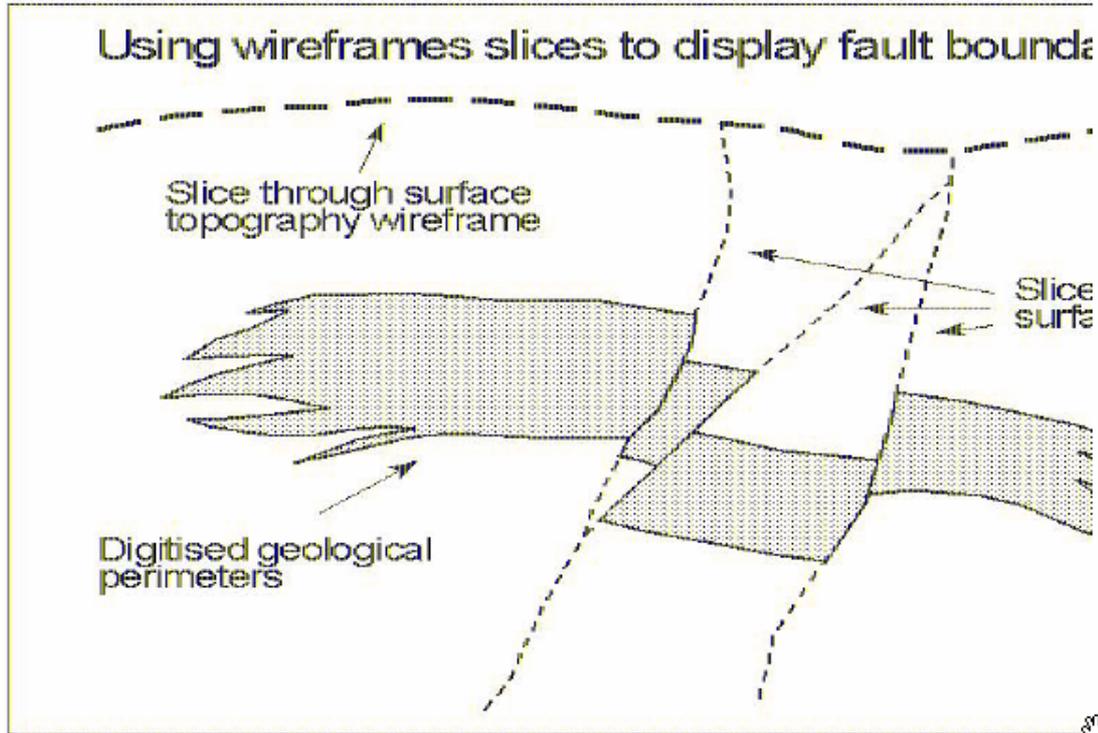
Обычно, интрузивы имеют четкие границы, которые могут быть интерполированы с помощью информации по буровым скважинам. На первом шаге надо оцифровать контуры на сечениях, затем создать wireframe и заполнить его ячейками.

Открытые Поверхности, типа Разломов и Супергенных Горизонтов.

Открытые поверхности лучше всего могут быть представлены каркасами. Т.к. это другой случай моделирования поверхностей, то используемые здесь методы очень похожи на создание топографических wireframes.

Создание wireframe плоскости разлома обычно нетрудно, а включение его в геологическую блочную модель - более сложная процедура. Вместо того, чтобы заполнять объем ячейками, они создаются с одной стороне wireframe. Используйте процесс TRIFIL и выберите направление на восток, запад, север или юг для заполнения. Назначьте уникальный код зоны для ячеек так, чтобы он мог быть идентифицирован позже.

В другом случае, каркас разлома может использоваться как поверхность, которую можно показать на геологических сечениях. Она показывает точное трехмерное положение разлома, который может использоваться в геологической интерпретации.



15.4. Объединения моделей

Способность объединять модели - мощный инструмент. Кроме обеспечения возможности создания сложных моделей простыми методами, это также позволяет обновление и расширение существующих моделей.

Требования к Модели

Чтобы объединить две модели, используя процесс, **ADDMOD (Models | Manipulate Models | Add Two Block Models)**, обе входных модели должны иметь тот же самый прототип (то есть то же самое начало, размеры родительской ячейки и число ячеек вдоль осей координат). Они должны также быть отсортированы по полю *IJK*.

Если две модели не имеют одинакового прототипа, то необходимо изменить его у одной из моделей. Самый легкий способ сделать это - с помощью процесса **SLIMOD (Models | Manipulate Model | Put Model onto a New Prototype)**.

Необходимо ввести в этот процесс модель, которая будет изменена, и файл прототипа, описывающий новый формат модели. Прототип создается, используя процесс **PROTOM** или, более удобно, использованием существующей модели как прототип.

Поля Атрибут

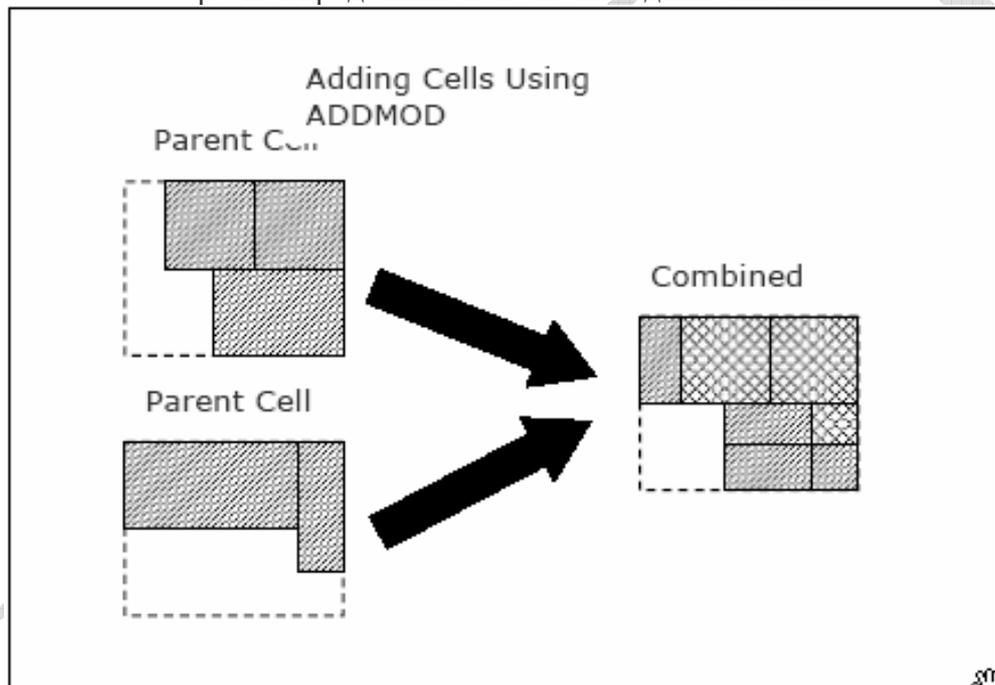
Любые поля атрибут, типа кодов литологии или содержаний обрабатываются согласно следующим правилам;

- Если поля уникальны для каждой модели, то все эти поля записываются в выходном файле. Те поля, которые не содержат значений в любой из входных моделей, получают значения отсутствия данных (-).
- Если одинаковые поля существуют в обеих входных моделях, то 2-ая модель имеет преимущество и переписывает общие поля в 1-ой модели.

Объединение Ячеек

Когда модели добавляются, то сначала ячейки сравниваются, чтобы определить, как они накладываются друг на друга.

- Если ячейки (не накладываются или??) накладываются точно, то никакого раскола ячейки не выполняется, и обновляются только атрибуты этих ячеек.
- Если ячейки частично накладываются, тогда они раскалываются по каждой имеющейся границе ячейки перед обновлением полей атрибут. Поскольку получающиеся ячейки должны быть прямоугольными, то раскол продолжится по полной длине ячейки.

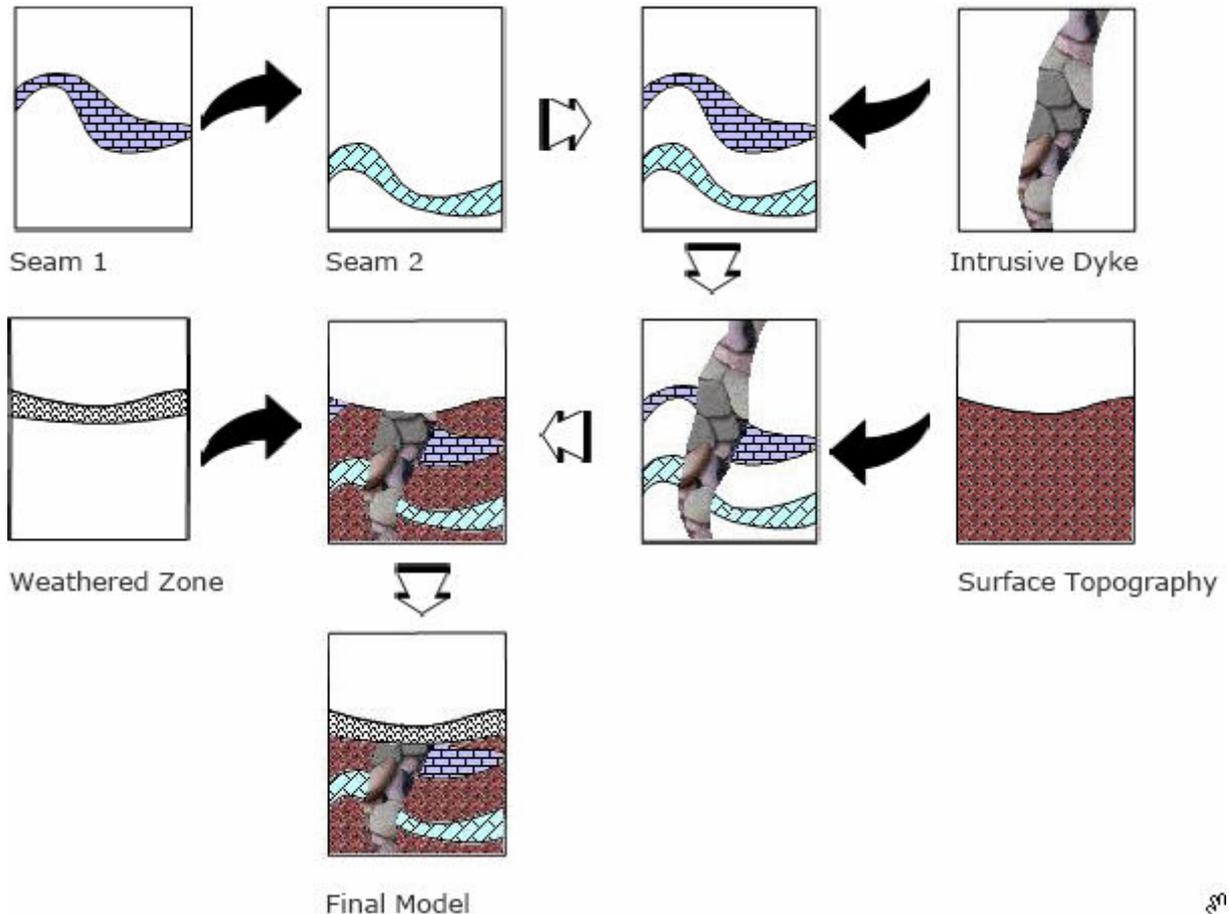


Объединение Индивидуальных Моделей

Следующая диаграмма демонстрирует процессы, используемые при создании полной геологической модели.

Отметьте, что направление черных стрелок обозначает порядок, в котором добавляются модели (например. Пласт 1 добавлен наверх Пласта 2), а белые стрелки показывают процесс создания объединенной

МОДЕЛИ:



Оптимизация Модели

При объединении двух моделей новая модель может содержать больше ячеек чем сумма ячеек входных моделей. Это - результат неизбежного раскола ячеек для сохранения информации о каждой из моделей. Если новая модель из-за этого становится слишком большой, то может использоваться процесс **PROMOD (Models | Manipulate Model | Optimise Block Model)**, чтобы объединить ячейки с учетом ряда ограничений.

Также возможно минимизировать создание маленьких ячеек в течение процессов моделирования. В процессах **PERFIL** и **TRIFIL** устанавливаются параметр **@RESOL** так, чтобы определять наименьший разрешенный размер ячейки. Это заставляет процесс разделения ячеек на подъячейки заканчиваться, когда размер подъячейки становится предельным. Как пример, для длины родительской ячейки 10 в направлении Z и **@RESOL = 10**, минимальная длина подъячейки в направлении Z будет разрешена 1/10 то есть 1 метр.

15.5. Проверка блочных моделей

Основная западня, в которую попадают создатели моделей и которую невозможно проверить, - это быстрота и легкость создания компьютерных моделей. Ошибки легко могут быть сделаны, и модели будут не соответствовать данным. Это необходимо всегда иметь в виду! Поэтому созданные блочные модели на всех этапах должны тщательно проверяться. Можно упомянуть следующие методы таких проверок:

Проверка заполнения каркасов блоками выполняется после использования процессов **TRIFIL** или **WAREFILL**. Обычно это делается визуальным просмотром регулярных (например с шагом 10 – 20 м) вертикальных или горизонтальных сечений каркасов совместно с блоками модели. При обнаружении пустот или выхода блоков за

пределы каркаса необходимо найти ошибки каркаса в этих местах, устранить их и повторить процесс создания блочной модели. Полезно также сравнить объемы внутри каркаса и блоков модели. При существенном отличии этих объемов требуется найти ошибки каркасов и устранить их. Когда тонкие части каркасов жил или выклиниваний не заполняются блоками, надо уменьшить разрешенный размер подъячейки.

Проверка моделей после объединения выполняется или визуально на планах и сечениях, или с помощью процесса оптимизации модели **PROMOD**. В первом случае Вы легко заметите «наполнение» ячеек друг на друга, которое приводит к завышению объема и тоннажа руды (породы). Для устранения такого явления следует использовать **PROMOD** с опцией ликвидации наложения ячеек.

Сравнение моделей содержаний с данными опробования на планах и разрезах. После интерполяции содержаний и других параметров очень полезным является создание чертежей регулярных планов и разрезов по месторождению, на которых изображены разведочные выработки, данные опробования и блочные модели с результатами оценки блоков. Эти чертежи выполняются для всех интерполированных показателей качества в масштабе, удобном для рассматривания и сопоставления.

Сравнение результатов интерполяции, полученных разными способами. Всегда полезно сравнить оценки ресурсов, полученных, например, Кригингом и Обратными расстояниями (рис. 15.7. и табл. 15.1) или разными видами кригинга. Если встречается существенное различие результатов, то оно должно быть объяснено. Также не вредно сравнить результаты интерполяции при использовании разных параметров вариограммных моделей и процесса ESTIMA.

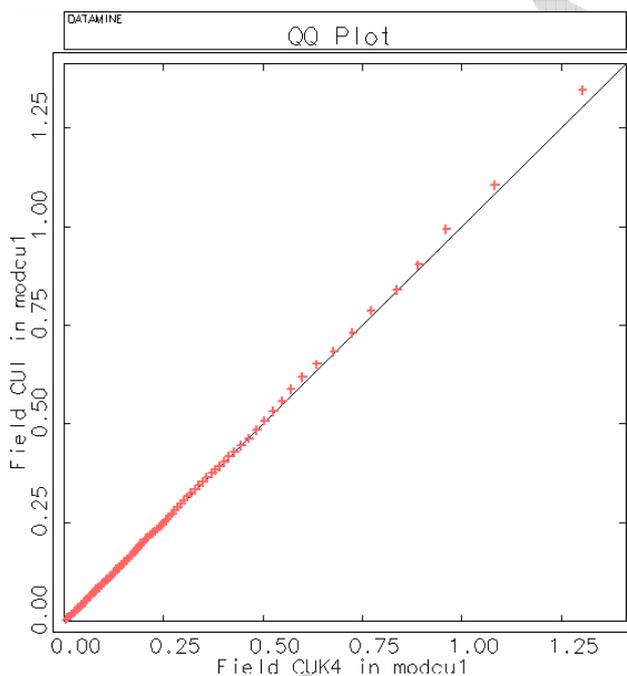


Рисунок 15.7. QQ диаграмма сравнения результатов интерполяции Cu методами ОК (K4) и IPD (I)

Таблица 15.1. Корреляционная матрица результатов интерполяции содержаний Au, Ag, Cu методами ОК (K) и IPD (I)

	AUK	AUI	AGK	AGI	CUK	CUI
AUK	1					
AUI	0.9369	1				
AGK	0.4576	0.4129	1			
AGI	0.4421	0.462	0.9305	1		
CUK	0.4713	0.4123	0.5594	0.5175	1	

CUI	0.4338	0.4551	0.5091	0.557	0.9122	1
-----	--------	--------	--------	-------	---------------	---

Сравнение оценок содержаний в блоках с реальными содержаниями проб, попадающих в эти блоки. Это одна из главных проверок, которая тем или иным способом должна выполняться. На рис. 15.8. видно, что кригинг дает сглаживание богатых содержаний и завышает бедные содержания, но оставляет несмещенной среднюю оценку по месторождению.

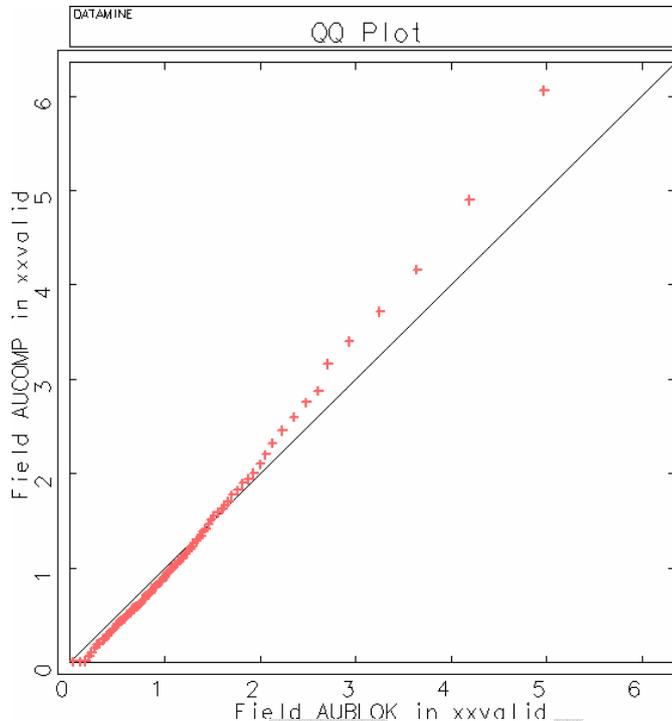


Рисунок 15.8. Сравнение оценок содержаний золота в родительских ячейках блочной модели (AUBLOCK) со средними содержаниями проб, попавших в эти блоки (AUCOMP)

16. Разворот блочных моделей и понятие о распрямлении складок

16.1. Поворот блочных моделей

Обычный метод задания блочных моделей предусматривает определение размера ячеек и задание их количества по ортогональным осям координат. Однако в Датамайн имеется возможность разворачивать ячейки в пространстве по отношению к пользовательской системе координат. Это позволяет более полно заполнять пространство зоны минерализации ячейками, т.е. более эффективно использовать имеющуюся геологическую информацию.



Рисунок 16.1. Три варианта заполнения контура ячейками.

Процессы заполнения каркасов блоками работают хорошо, когда структура моделируемого месторождения примерно соответствует стандартной системе координат или, когда зона минерализации представляет собой массивное тело, размеры которого существенно больше размеров ячейки. Если направление залегания рудных тел составляет, например, 45° по отношению к выбранной системе координат, а их мощность достаточно мала по сравнению с размером ячейки, то эффективное заполнение каркасов ячейками становится проблематичным.

На рис. 16.1. показан такой случай. Можно улучшить заполнение, уменьшив один из размеров блоков (тем самым существенно увеличивается величина файла модели), однако, наиболее разумным будет поворот осей блочной модели и совмещение их с главными структурами рудных тел. Преимущества поворота моделей:

- Уменьшается размер файла модели
- Ячейки лучше описывают конфигурацию геологических структур
- В некоторых ситуациях достигается небольшое улучшение качества оценки запасов руды.

Когда Вы делаете оценку суммированием ячеек внутри каркаса или контуров, то Датамайн будет рассчитывать 2 объема: по каркасу (контурам) и по блокам модели. Второй объем будет включать в себя углы ячеек, выходящих за пределы каркаса (контура) и имеющих некондиционные содержания. С другой стороны, из объема модели будут исключены углы «породных» ячеек, имеющих высокое качество. Таким образом, в оценку будет включено некоторое разубоживание руды, которое ухудшает ее качество. Работая с повернутой моделью, Вы уменьшаете степень такого пограничного разубоживания.

Чтобы повернуть модель, Вы должны создать локальную систему координат, которая будет развернута относительно мировой системы. Затем создается блочная модель, ориентация которой будет соответствовать локальной системе, а параметры разворота будут храниться в особых полях файла модели.

Некоторые процессы Датамайн способны непосредственно работать с повернутыми моделями, выполняя внутреннее преобразование их к мировой системе координат, а другим требуется предварительное преобразование координат с помощью процесса **CDTRAN**.

В системе имеется процесс **MDTRAN**, который непосредственно преобразует блочную модель к новым (повернутым) координатам. Поворот происходит с помощью 3-х заданных углов вокруг 3-х заданных осей координат. Ячейки модели будут развернуты для соблюдения ортогональности с новыми осями. Значения каждой подъячейки выходной модели будут равны величинам, соответствующим их центральным точкам во входной модели. Если файл прототипа модели **PROTO** имеет информацию об ячейках/подъячейках, то выходной файл будет содержать те же записи. Если этот файл пустой (имеет только характеристику пространственного параллелепипеда), то программа сама создаст множество ячеек/подъячеек в соответствии с параметрами **X/Y/ZSUBCELL**.

На входе можно также задавать файл **PROTOROT**, который определяет 12 параметров поворота модели: **ANGLE1**, **ANGLE2**, **ANGLE3**, **X0**, **Y0**, **Z0**, **XMORIG (XR0)**, **YMORIG (YR0)**, **ZMORIG (ZR0)**, **ROTAXIS1**, **ROTAXIS2** и **ROTAXIS3**. Если этот файл задан (его можно создать процессом **PROTOM**), то введенные соответствующие параметры в данный процесс будут игнорироваться.

Процессы, непосредственно работающие с повернутыми моделями:

- **PROTOM** - создает дополнительные поля, описывающие поворот модели
- **WIREFILL**, **TRIFIL** - заполняют каркасы ячейками

- CDTRAN - может вводить параметры поворота модели, используя информацию модельного файла
- PLOTMX, PLOTX - создают чертежи повернутой модели
- ESTIMA - преобразует повернутую модель к мировым координатам перед выполнением оценки запасов.

На рисунке 2. показана горизонтальная проекция крутопадающего рудного тела. Начало повернутой модели – это нижний левый угол пространственного параллелепипеда, вмещающего в себя все рудное тело. В данном случае требуется только 1 поворот мировой системы вокруг оси Z. Если для правильного позиционирования локальной системы требуется 2 или 3 поворота, то найти правильное начало локальной координатной системы бывает нелегко.

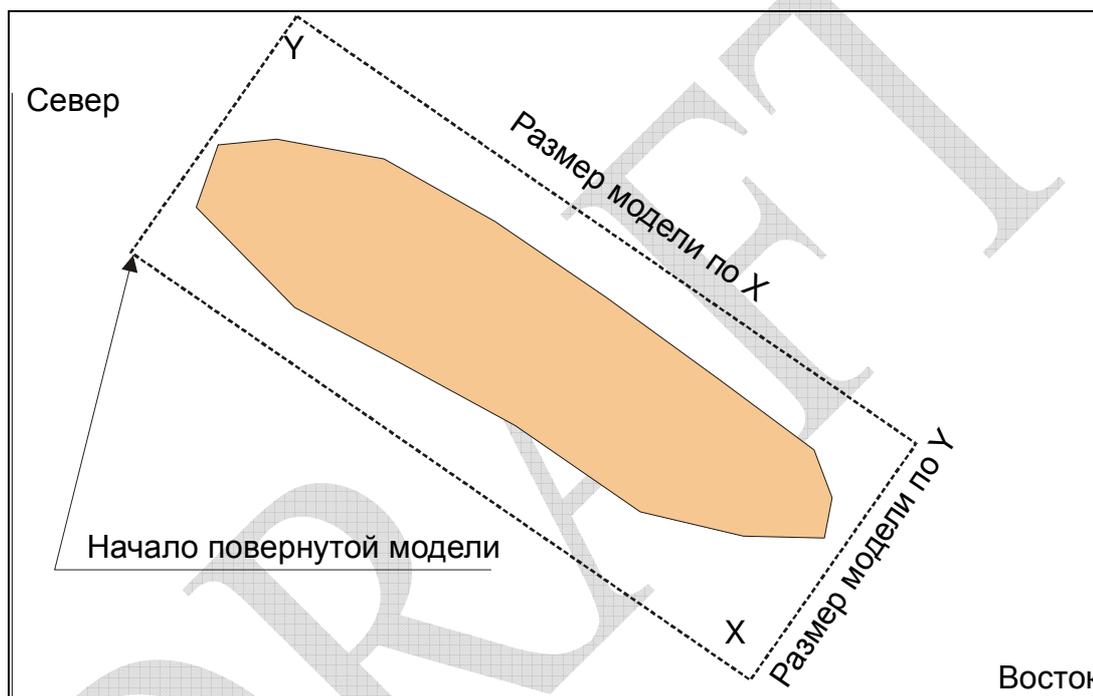


Рисунок 2. Разворот модели по отношению к мировой системе координат

Параметры, которые требуется определить, чтобы задать поворот модели:

- Мировые координаты начала модели,
- Углы поворота системы координат

В Датамайн имеется процесс **ORIGIN**, который помогает правильно рассчитать начало модели и ее протяженность по осям координат, что необходимо для создания прототипа повернутой модели. На входе процесса требуется задать множество координат точек, характеризующих граничные точки рудного тела. Это может быть файл каркаса или контуров рудного тела на горизонтальных или вертикальных сечениях.

Если пространство модели должно включать в себя не только само рудное тело, но и будущий карьер или подземный рудник, то в этом случае во входном файле должны быть линии, примерно описывающие требуемое пространство для размещения горных выработок. Эти линии могут быть легко созданы в Окне проектирования Датамайн-Студио. Вокруг границ рудных тел со всех сторон должен быть оставлен запас (параметр MARGIN). Процесс выдает на выходе протяженность модели по всем новым осям. Этот параметр равен произведению размера основной ячейки (в этом направлении) на число ячеек.

При определении прототипа повернутой модели мировые координаты начала локальной системы часто устанавливают равными 0, 0, 0, что подходит для большинства ситуаций. На выходе процесса ORIGIN создается файл прототип повернутой модели, а также (по требованию) – каркас, охватывающий весь прототип созданной модели. Он нужен только для предварительного визуального контроля пространства, внутри которого создана повернутая модель.

Углы поворота локальной системы задаются обычным порядком с помощью 3-х углов: ANGLE1, ANGLE2, ANGLE3 и соответствующих номеров осей (X=1, Y=2, Z=3), вокруг которых делается поворот: ROTAXIS1, ROTAXIS2, ROTAXIS3. Порядок задания углов и осей поворота – единый для всех процессов Датамайн. Одно из основных условий правильных действий – четко различать направления положительных и отрицательных разворотов.

Надо представить себе, что Вы смотрите в положительном направлении оси, вокруг которой предполагается поворот:

- Если Ваша систему требуется повернуть против часовой стрелки, то угол поворота положительный
- Если поворот – по часовой стрелки, то угол отрицательный.

Для создания прототипа повернутой модели используется процесс ORIGIN, как было описано выше. С этой целью надо задать имя выходного файла-прототипа и размер основной ячейки. Если Вы хотите сами задать все параметры повернутой модели, то Вы можете использовать процесс PROTOM. Для этого установите на входе в процесс параметр ROTMOD = 1. После этого Вы должны будете в интерактивном режиме ввести еще 9 параметров, описывающих процесс разворота модели: мировые координаты начала повернутой модели, 3 угла поворота и 3 оси, вокруг которых делается поворот.

Процессы Датамайн, которые не распознают повернутую модель (не учитывают дополнительных 9 параметров разворота), будут работать с ней, как с обычной моделью, т.к. они ничем не отличаются, кроме вышеназванных дополнительных полей.

Если Вы используете для создания блочной модели процессы, не поддерживающие работу с повернутой моделью (например, PERFIL, SURFIP и т.п.), то самый простой путь создать полноценную повернутую модель, это:

- Создать прототип повернутой модели процессами ORIGIN или PROTOM, как описано выше
- Заполнить контуры (или каркасы) нормальными ячейками с помощью процессов PERFIL, SURFIP и т.п.
- Объединить 2 полученных файла процессом APPEND.

Чтобы нормально работать с повернутой моделью, все входные данные должны быть предварительно развернуты и совмещены с используемой локальной системой. Например, входной каркас или периметры рудных тел для процесса TRIFIL должны быть предварительно развернуты процессом CDTRAN.

Из всех интерполяционных процессов Датамайн только ESTIMA может работать с повернутыми моделями. Поэтому в этом процессе не требуется предварительного поворота данных опробования, а также приведения к локальной системе эллипсоидов поиска, вариограммных моделей и других параметров анизотропии. Все они должны быть в мировых координатах.

Процессы ADDMOD, IJKGEN, PROMOD, REGMOD также способны копировать в выходную модель 9 дополнительных полей повернутой модели. При объединении моделей процессом ADDMOD Вы должны убедиться в полной идентичности прототипов соединяемых моделей, включая параметры их поворота.

Процессы MODRES и TRIVAL, производящие оценку запасов, при работе с повернутыми моделями требуют на входе предварительно развернутых каркасов или периметров.

В окне проектирования Вы сможете увидеть повернутую модель в сечениях, как показано на рис. 2 (справа). Для того, чтобы оценить каркас по этой модели, система будет предварительно поворачивать его в локальную систему координат. Поэтому Вы сможете использовать для оценки запасов один или 2 контура, а также замкнутые каркасы. Существует одно ограничение в этой части, Вы не сможете выполнить оценку запасов между каркасной поверхностью и горизонтальной плоскостью.

16.2. Понятие о развороте складок

Процесс **UNFOLD** позволяет задать новую координатную систему для данных опробования, чтобы с большей точностью выполнить расчет вариограмм и моделирование месторождений складчатой или пластообразной формы.

Целью преобразования системы координат является возможность учета непрерывности минерализации. Метод является идеальным там, где пласты имеют цилиндрическую складчатость, т.е. когда оси складок параллельны, а сечения – перпендикулярны к этим осям (Рис 16.3.). Профиль складок будет аналогичным во всех сечениях. Процесс UNFOLD способен точно описывать и более сложные случаи, особенно тогда, когда непрерывность содержаний хорошо моделируется вариограммой на расстояниях меньших, чем зона влияния.

Для описания складчатых структур, вводимых в виде файла линий с вертикальных сечений, к стандартным полям: PVALUE, PTN, XP, YP, ZP добавляются поля: SECTION (номер сечения), BOUNDARY (постоянная величина для каждой линии, задающая номер границы пласта), TAG (числовое поле, указывающее целевую точку внутри и между сечениями для соединения с данной точкой).

Далее определяется файл, идентифицирующий введенные на сечениях линии пластов. (рис. 5.9). В данном случае они определены как:

- Идентификатор пласта: A = TOP, B = MIDDLE, C = BOTTOM.
- Номер линии верхней границы пласта
- Номер линии нижней границы пласта

Файл проб после его стандартной обработки также содержит информацию о координатах мест входа и выхода скважин из пластов.

После загрузки этой информации в процесс UNFOLD, он «распрямляет» складки и пересчитывает все координаты линий и проб в собственную систему координат (Unfolded Coordinate System (UCS)), которая учитывает не геометрические, а стратиграфические расстояния между пробами в плоскости пласта (рис. 16.4). Это позволяет рассчитывать истинные модели вариограмм и значительно более точно оценивать содержания в пределах пластов. После проведения оценочных расчетов система снова возвращается к мировым координатам

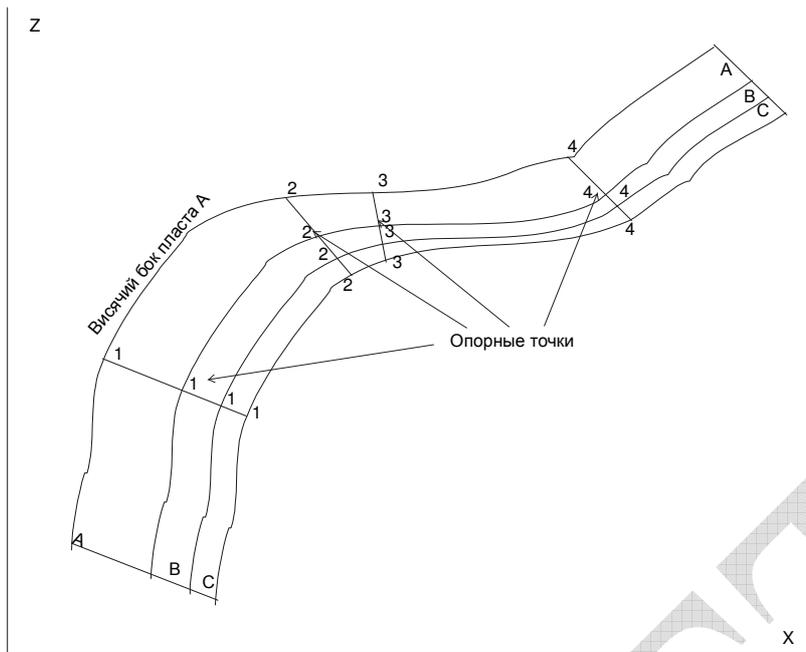


Рисунок 16.3. Вертикальное сечение пластовой залежи.

Подробное описание метода можно найти в документации системы Датамайн и в описании процесса UNFOLD.

Для использования процесса ESTIMA в оценке содержаний в складчатых структурах необходимо, прежде всего, пересчитать (процессом UNFOLD) координаты данных опробования, а все параметры анизотропии, моделей вариограмм и т.п. привести в координатной системе UCS. Единственным исключением из этого будет прототип блочной модели, который использует мировые координаты.

На входе в процесс должен также задаваться специальный файл линий, который описывает структуру складок и связь пластов между собой, и файл параметров «выпрямления» складок. Детали создания этих файлов подробно описаны в указанных выше руководствах.

Эта технология не может применяться в повернутых моделях.

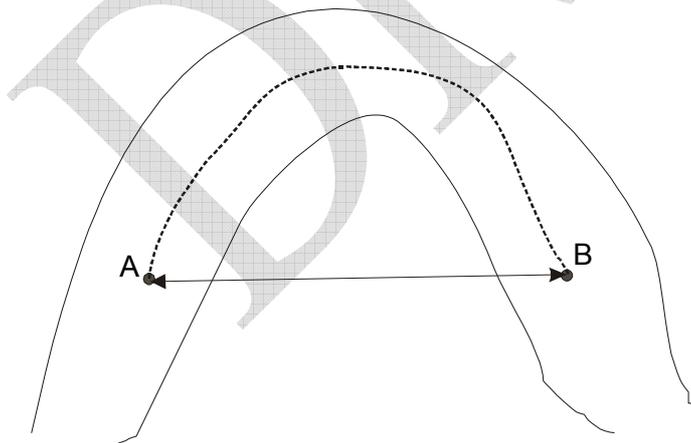


Рисунок 16.4. Геометрическое и стратиграфическое расстояние между двумя точками пласта

Последовательность операций по разворачиванию складок процессом UNFOLD приведена на рис. 16.5.

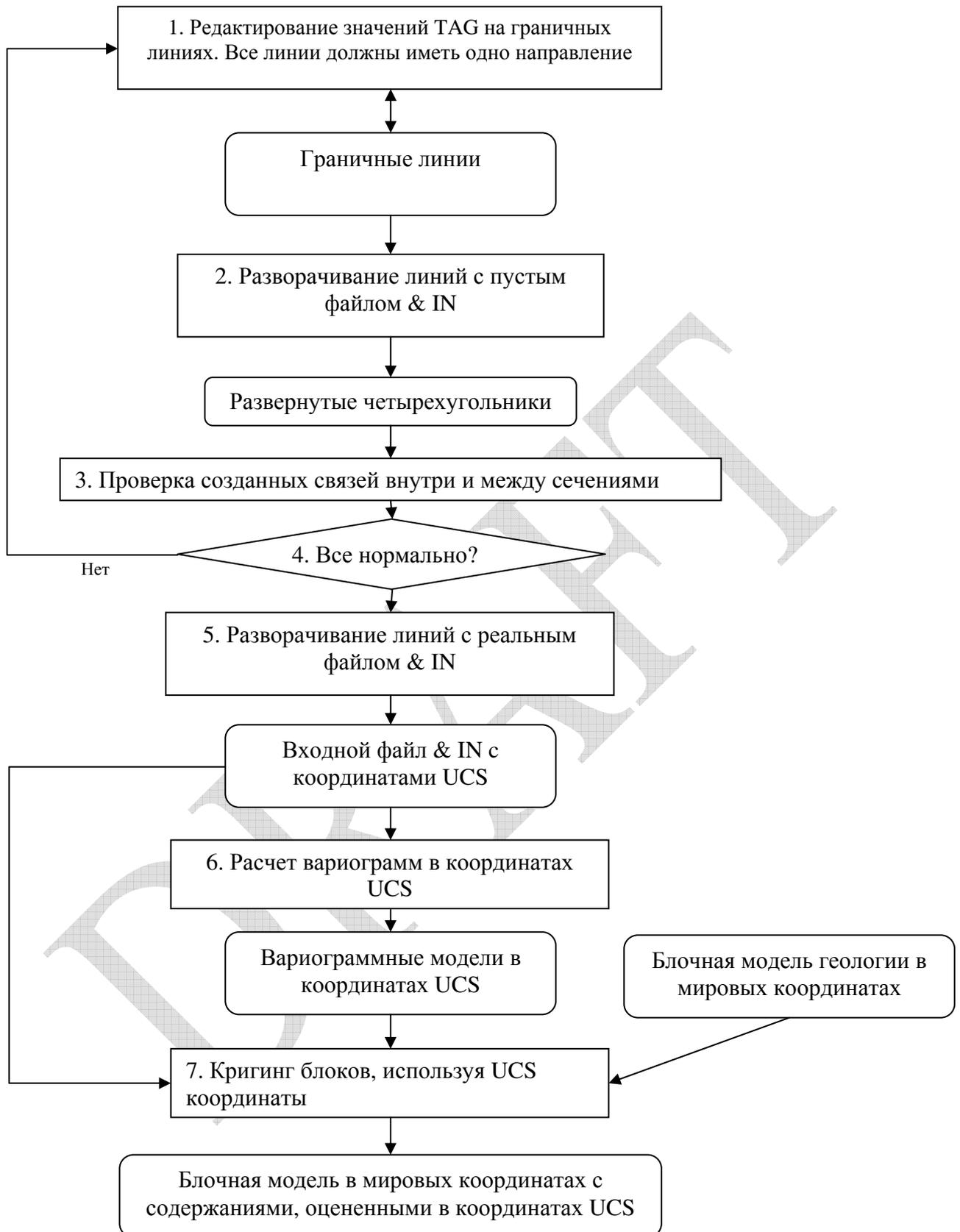


Рис. 16.5. Последовательность создания блочных моделей с разворачиванием складок.

17. Оценка ресурсов по блочной модели

17.1. Процесс MODRES

Основной процесс Датамайн для подсчета запасов руды – **MODRES**, который имеет много опций и позволяет с помощью фильтров и ограничивающих критериев оценить запасы практически для любой комбинации условий, которые Вы пожелаете использовать. После ввода в процесс файла блочной модели и необходимых ограничений Вы (если не используется специально написанный макрос) должны будете в диалоговом режиме определить все параметры оценки, которые наиболее подходят для Вас. Полученная программой информация о запасах будет размещаться в выходном файле результатов, который может быть прочитан специальным процессом **TABRES**.

Этот процесс может также использоваться для поуступной оценки запасов в карьере (карьерах), если на входе будет указан файл периметров его (их) уступов. На выходе может быть получен также файл блочной модели, в котором появится новое поле **MINED**, отражающее информацию об отработке каждого блока (значения 0 или 1).

Если на входе отсутствует файл периметров, то для поуступной оценки запасов процесс создает их самостоятельно. Когда этот стандартный файл линий Датамайн присутствует, то контуры в нем должны быть направлены «по часовой стрелке», не пересекаться и не быть замкнутыми. Имеется 2 типа таких файлов.

1. Линии по отметке **Z** соответствуют центру уступа (параметр **@PAIRS=0**). В этом случае, если параметр **@ZVALUE=0** (т.е. поле **Z** игнорируется), то номер уступа и периметра записываются в поле **PVALUE** каждого контура. Например, для уступа № 6 имеется 2 периметра. В этом случае поле **PVALUE** для них будет иметь значения 6.0 и 6.1. Номер 1 присваивается самому верхнему уступу. Когда **@ZVALUE=1**, то для идентификации периметра используется координата **ZP** его последней точки.

2. Линии для каждого уступа задаются в виде пары контуров, соответствующих его нижней и верхней бровкам (параметр **@PAIRS=1**). Отметка по вертикали для каждого периметра контролируется координатой **Z** и номером периметра в поле **PVALUE**. Например, 2 смежных (по вертикали) периметра могут иметь **PVALUE = 3.00** и **3.01**, а отметки **ZP** соответственно 275 и 282 (кровля и подошва уступа). Отметьте, что верхний и нижний периметры уступа могут отличаться друг от друга, что позволяет обрабатывать данные по карьерам с очень сложной конфигурацией.

Параметры оценки определяются пользователем интерактивно в процессе диалога, предлагаемого программой. Результаты могут быть классифицированы по типам руд/пород (по соответствующему полю в файле и по значению (коду) этого поля). Во втором случае указанное поле должно существовать в файле. Все блоки, не имеющие кодов руд/пород, будут приплюсованы к последнему типу в списке, где их легко будет обнаружить. Если запасы разделены на группы **ORE**, **WASTE** (руда, порода), то все блоки без обозначений будут отнесены во вторую группу.

Запасы могут быть также классифицированы по интервалам содержаний для выбранного поля. Эти интервалы могут быть неодинаковыми.

Полная иерархия классификации результатов оценки имеет вид:

Уступ – Периметр – Тип породы/руды – Интервал содержаний.

Все числовые поля, которые не являются стандартными полями файлов модели и линий и не выбраны, как поле типа руды/породы или поле главного содержания, будут оцениваться автоматически.

Расчет объемов производится программой автоматически с вычислением разницы между объемом внутри периметров (площадь периметра*высоту уступа) и суммарным объемом блоков модели, центры которых находятся в пределах периметра. Может быть заказана как полная (параметр **@FULLCELL=1**), так и частичная оценка объема блоков, попадающих в пределы периметров.

Если объем периметров окажется больше соответствующего объема модели, то разница будет соответствовать незаполненному ячейками объему периметров. Небольшая отрицательная разница между объемами встречается, когда заказана оценка полных ячеек. Большая отрицательная разница свидетельствует об ошибке или в модели, или в периметрах. Одна из причин этого – наличие в модели дублированных или наложенных ячеек. Для исправления таких ошибок используется процесс PROMOD. Другой причиной может быть перехлестывание периметров (они становятся похожи на цифру 8) и образование, в связи с этим, контуров с различными направлениями (по и против часовой стрелки).

Для расчетов тоннажа используется поле модели DENSITY. Если его нет, то применяется значение параметра @DENSITY. Если же и он не указан, то по умолчанию используется плотность 1.0.

Диалог этого процесса выглядит следующим образом.

>ENTER EVALUATION PARAMETERS -----

Предлагается стандартная оценка: среднее содержание и тоннаж для каждого периметра или сечения.

Ввод Yes (или <RETURN>) - выполняется стандартная оценка.

Ввод N или No – программа переходит к вводу параметров пользователя.

>ROCKTYPE CLASSIFICATION -----

Определение классификации по типу руд/пород.

Ввод Yes (или <RETURN>) – программа переходит к описанию классификации.

Далее необходимо будет ввести имя поля для классификации.

Ввод N или No – классификация не выполняется

>CLASSIFICATIONS POSSIBLE ON FIELD nnnn OF TYPE n -----

Если классификация выполняется по указанному Вами полю nnnn, то Вы можете ввести до 20 значений этого поля, для каждого из которых запасы будут подсчитаны отдельно. Вы можете также классифицировать запасы как руду, породу, воздух, склады и т.п.

Ввод Yes (или <RETURN>) - выполняется классификация по руде, породе и т.п

Ввод N или No - выполняется классификация по значениям указанного поля.

Do you wish to classify by ore etc.?

Вы хотите классифицировать запасы по руде и т.п.?

Ввод Yes (или <RETURN>) – переход к следующему вопросу:

>CLASSIFICATION BY ORE, WASTE ETC. -----

Для классификации по руде, породе и т.п. необходимо ввести пары значений указанного выше поля в виде: «значение поля, класс». Класс может быть: ORE, WASTE, AIR, S1, S2, S3...S7. Значения поля – обычно коды соответствующих пород в поле типов руд/пород (обычно – ROCK). Максимум введенных пар – 40. Конец ввода – пробел или 2 пробела. Не перечисленные типы пород будут отнесены к пустой породе WASTE.

Если в предпоследнем вопросе было введено N или No, то - переход к следующему вопросу:

>CLASSIFICATION BY VALUES OF FIELD nnnnnnnn -----Для классификации по значениям указанного поля необходимо ввести все нужные значения этого поля (по одному в строке). Максимум значений – 20. Конец ввода – пробел.

После указания условий классификации по типам пород (или при отсутствии таковой), а также когда модель содержит поля содержания:

>GRADE INTERVALS -----

Здесь надо указать будут ли в оценке запасов использоваться интервалы содержаний. Если нет, то программа будет рассчитывать только средние содержания.

Ввод Yes (или <RETURN>) – далее будут введены интервалы содержаний.

Ввод N или No – будут рассчитаны только средние содержания.

Если введен Y, Yes или <return>;

>Enter name of main grade field. Необходимо ввести поле, для которого будут введены интервалы содержаний.

>GRADE INTERVALS FOR MAIN GRADE nnnnnnnn -----Здесь надо ввести (попарно в строке) нижние и верхние пределы интервалов. Например:

0.1,2

2, 3.5

3.5,10

Максимальное число пар – 20. Конец ввода – пробел.

>Is this satisfactory?

Введено все правильно? Программа показывает все введенные условия оценки.

Ввод Yes (или <RETURN>) – программа начинает работу.

Ввод N или No – процесс возвращает Вас к началу диалога.

17.2. Процесс TRIVAL

Этот процесс аналогичен вышеописанному; он предлагает пользователю тот же диалог и создает очень похожий файл результатов. Отличие состоит в том, что здесь оценивается блочная модель, попадающая внутрь замкнутой каркасной модели или находящаяся сверху/снизу каркасной поверхности. Этим процессом Вы сможете пользоваться интерактивно в Окне проектирования, но здесь он имеет несколько урезанные возможности, не позволяя, например, двойную классификацию: по типам пород и по интервалам содержаний. Впрочем, все зависит от квалификации пользователя и знания им всех возможностей Датамайн.

17.3. Процесс TONGRAD

Новый процесс, появившийся в Датамайн - Студио, позволяет очень быстро оценить блочную модель, т.е. получить средние содержания и тоннаж руды по всем выделенным ключевым полям. К сожалению, он не дает возможности вводить критерии ограничения, а также требует, чтобы все указанные ключевые поля и поля содержаний не содержали отсутствующих данных. Если Вы хотите оценить только часть блочной модели, то необходимо сначала выбрать нужную ее часть и записать в отдельном файле, который будет затем оцениваться. На выходе Вы получаете таблицу, где для каждого ключевого поля (например, блока, зоны или типа руды) указан объем, тоннаж руды и средние содержания всех компонентов. Эта таблица может быть выведена процессом в текстовом формате 'csv', который непосредственно читается программой EXCEL. Одновременно может быть обработано до 10 полей содержаний и до 3-х уровней ключевых полей.

Команда позволяет также получать значения функции «содержание-тоннаж» для всех возможных бортовых содержаний первого в списке металла с требуемым шагом. Кроме того, Вы можете произвести оценку ресурсов по слоям блочной модели: горизонтальным или вертикальным, что очень удобно для анализа изменения содержаний и тоннажа на глубину, с сквера на юг или с запада на восток.

17.4. Процесс TABRES

Когда в результате оценки запасов процессами MODRES, TRIVAL и некоторыми другими мы получаем файлы результатов, то эти файлы для получения таблиц в требуемом виде следует обработать процессом TABRES.

На входе в процесс задается файл результатов оценки запасов.

Далее программа открывает диалог, в процессе которого пользователь задает характеристики для наиболее удобного табличного представления данных оценки запасов.

>TABULATION INFORMATION

Предлагается вывести оценочную информацию в стандартном виде, т.е.: по каждому периметру, по каждому типу породы и по каждому интервалу содержаний. Будут выведены также первые 5 показателей качества руды (содержаний).

Ввод Yes или <return> - вывод информации в стандартном виде

Ввод N или No – ввод параметров пользователя

.

>PLANE SELECTION

Предлагается выбрать основную плоскость (слой) для оценки:
1- LEVEL (горизонтальный слой), 2 – COLUMN (столбец), 3 – ROW (ряд), 4 - SECTION (сечение)

Ввод: 1-4.

>OUTPUT TABLE SELECTION

Предлагается выбрать тип таблицы:

1- Суммарные запасы для каждого слоя

2- Суммарные запасы для каждого периметра

3- Суммарные запасы для каждого слоя и периметра.

4- Полный отчет о всех интервалах содержаний в каждом типе руд и для каждого периметра.

5- Суммарные запасы руды и породы для каждого слоя.

6- Суммарные запасы руды и породы для каждого периметра.

7- Суммарные запасы руды и породы по всему месторождению

8- Полный отчет (как в п.4), объединенный только по типам руды/породы

9- Суммарные запасы руды и породы для каждого слоя (Phelps Dodge).

10- Запасы по требованию пользователя

По умолчанию используется [4]

Ввод: 1-9.

Если в файле есть поля содержаний, то:

>Grade fields selected:

Программа показывает доступные поля содержаний

Ввод: Y - все поля оцениваются и выводятся в выходную таблицу.

Ввод: N – переход к следующему вопросу:

>GRADES FOR EVALUATION

Вести поля для оценки. Необходимо выбрать до 5 полей из показанного списка. Для окончания списка введите пустую линию.

>CUTOFF FOR FIELD nnnnnnnn

Если необходимо, то здесь можно ввести поле, для которого Вы хотите установить бортовое содержание. Заметьте, что ввод любого борта может изменить установленную до этого классификацию: руда/порода (если она имеется).

CUT-OFF>

Здесь Вы можете ввести значение борта, если ранее Вы выбрали тип таблицы 5-8.

>RUN TITLE ===== Enter up to 40 characters of title: - - - - - 0 - - - - - 0 - - - - - 0 - - - - - 0
 - - - - - 0

Здесь можно ввести заголовок таблицы длиной до 40 символов

>VOLUME AND TONNAGE FACTOR

В этом месте вводится коэффициент для расчета объема или тоннажа: 1 – для тонн, 1000 – для тыс.тонн, 1000000 – для млн.тонн.

>TABLE OUTPUT TO PRINTER

Укажите, нужно ли выводить таблицу на принтер (или в принт-файл). ECHO = 1 – нужно, =0 – нет.

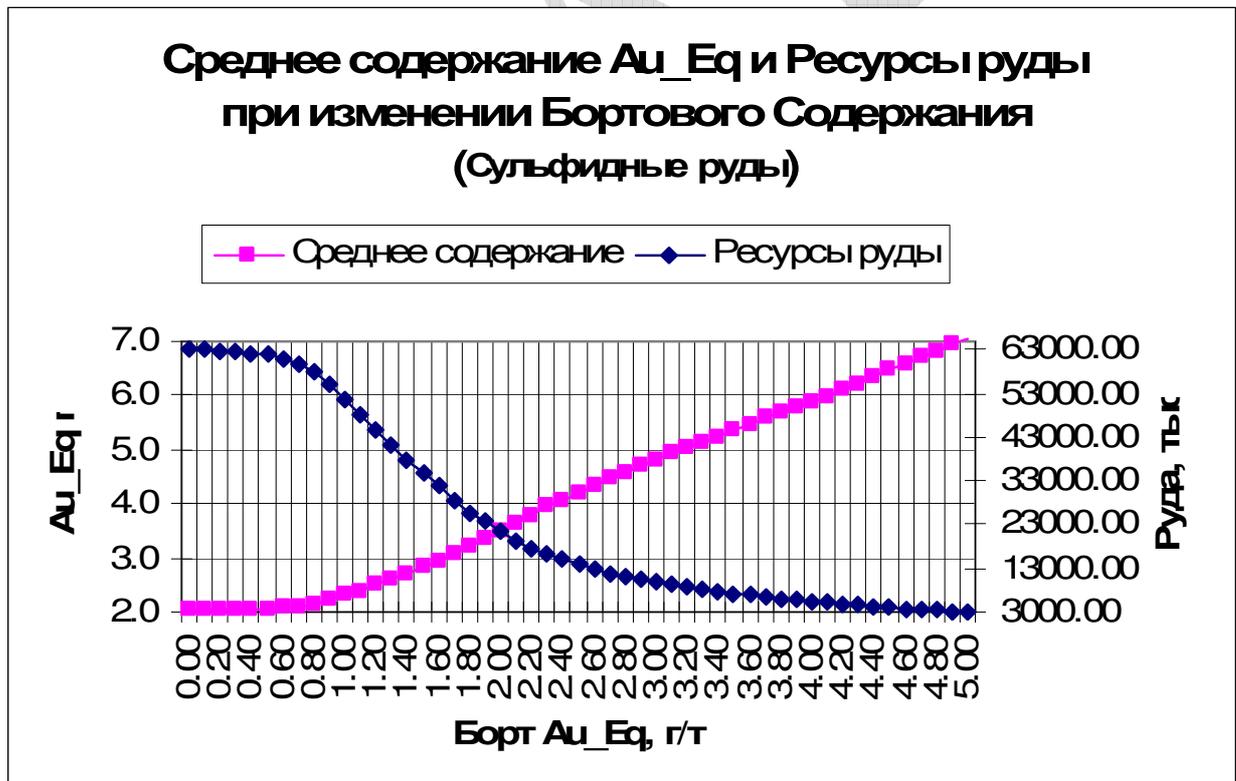
>IS THIS WHAT IS REQUIRED ?

Это все, что Вы хотели? Программа показывает все введенные параметры.

Ответ Yes или <return> - запускает процесс,

Ответ N или No – возвращает Вас к началу диалога.

В результате оценки ресурсов обычно создаются графики «Среднее содержание-Тоннаж руды» в зависимости от бортового содержания, как показано ниже для содержания Условного золота.



17.5. Интерактивная оценка запасов в Окне проектирования Датамайн – Студио

В Датамайн существует много возможностей для интерактивной оценки запасов непосредственно в Окне проектирования .

Оценку запасов можно выполнить интерактивно в Окне проектирования или по блочной модели, или по данным опробования. При этом Вы получаете на экране (или в обозначенном Вами файле) результаты такой оценки, которые соответствуют используемой Вами легенде.

Оценка по одной линии

Например, на рис. 17.1. изображен контур, который предполагается оценить по пробам, попадающим внутрь пространства, определяемого проекциями этого контура: +20 и –10 м. Таким образом, будет создан объем, оценка которого приведена ниже.

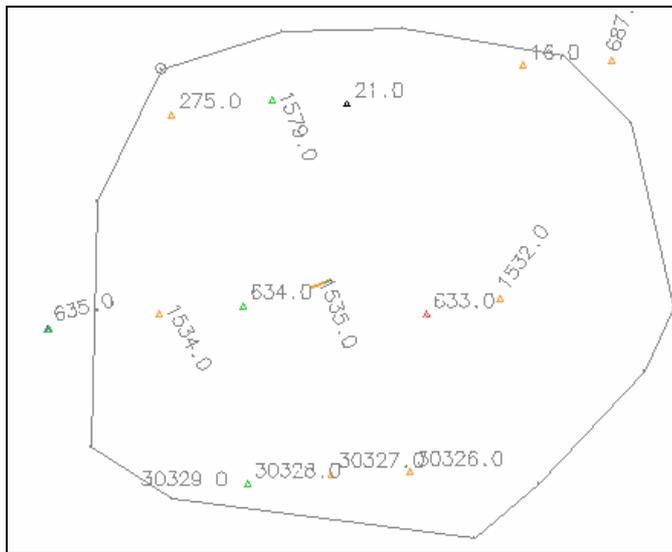


Рис. 17.1. Оценка запасов по одной линии, проецируемой на заданное расстояние от рабочей плоскости. Цифрами обозначены номера разведочных выработок (BHID).

Объем созданного каркаса	357837.4
Тоннаж	966161.0
Плотность	2.70
Общая длина проб	254.1
AU AG LS L PR BLOCK	
1.9 3.15 152.0 2.17 - 58.78	

Выше приведены оцененные программой (по результатам опробования) средние показатели качества руды, попадающей внутрь созданного пространственного объема. Заметьте, что при этом усредняются все числовые переменные, например, BLOCK, которые в принципе нельзя усреднять

Интервал: От	До	Общая длина проб	Содержание Au
0.001	1.4	132.8	0.6
1.4	2.3	26.2	1.7
2.3	5.0	31.4	3.4
5.0	1000.0	28.2	8.9

Одна из главных особенностей оценки этим способом заключается в том, что итоговая таблица содержит информацию по интервалам содержаний. Если Вы захотите получить оценку запасов по всему диапазону содержаний (или выше какого-то борта), то Вам придется суммировать цифры, приведенные в таблице.

Ту же самую операцию вы сможете провести не по пробам, а по блочной модели, если загрузите ее в Окне проектирования (показывать ее на экране не обязательно), рис. 17.2.

DRAFT

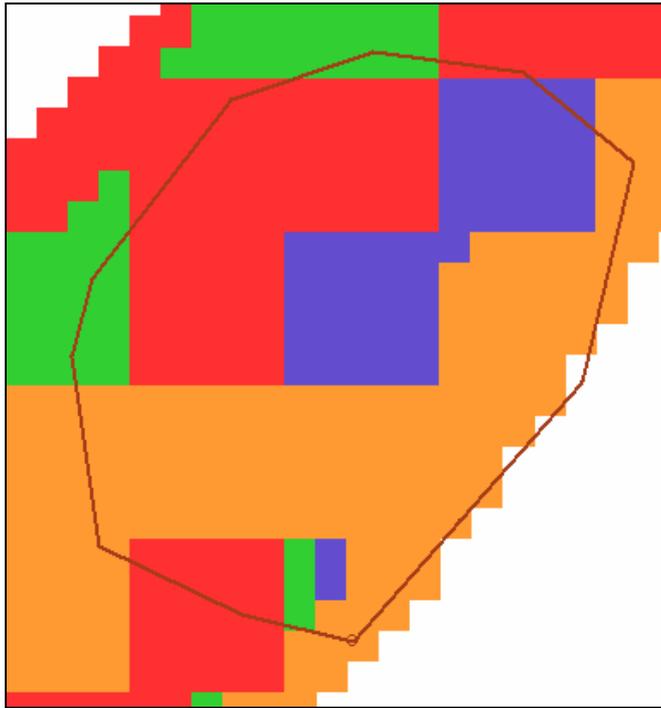


Рис.17.2. Оценка периметра по блочной модели.

Оценка вышеуказанного периметра с проекциями +10/-20 м приведена ниже.

Объем по блочной модели	.....	6371.4
Объем по созданному каркасу	.....	7254.5
Разность объемов, абсолютная	...	883.1
Разность объемов, процентная	...	13.9

Общий тоннаж блоков	.....	17202.8
Плотность	.....	2.7

Интервал:	От	До	Тоннаж	Содержание Au
	0.001	1.400	5049.8	0.626
	1.400	2.300	3858.5	1.813
	2.300	5.000	4530.7	3.373
	5.000	100.000	3761.9	6.287

Можно оценивать запасы не только по одному периметру, но также и по двум, имеющим разную форму, площадь и ориентацию (рис.17.3). В этом случае программа опять создает каркас и оценивает запасы по блокам, попадающим внутрь его.

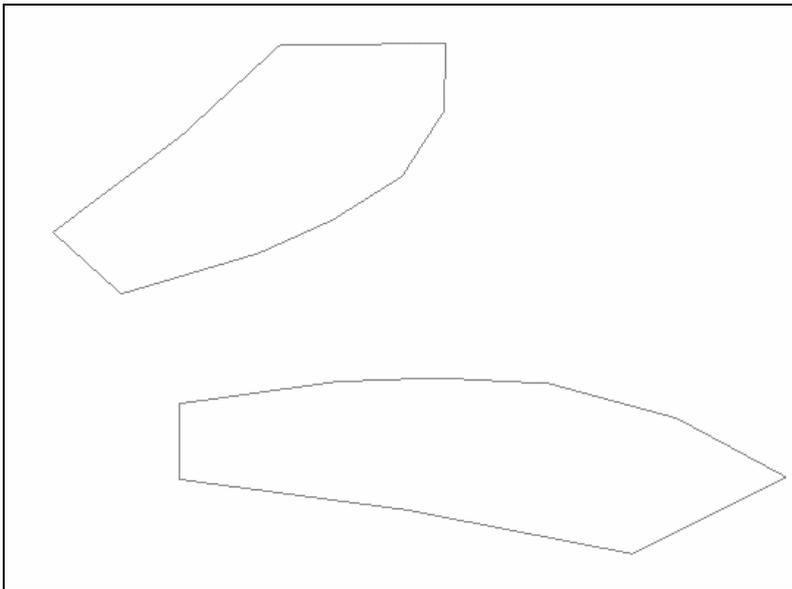


Рис. 17.3. Два периметра, ограничивающих оцениваемый объем.

Результаты оценки по блочной модели приведены ниже.

Объем по блочной модели	.....	114.509
Объем по созданному каркасу	.....	908229.9
Разность объемов, абсолютная	...	214998.4
Разность объемов, процентная	..	1024.2
Общий тоннаж блоков	.....	580495.7
Плотность	.....	2.7

ОЦЕНКА ПО БЛОКАМ Оценка выполнена по показателю, для которого не создавалась легенда. В такой ситуации программа рассчитывает только его средневзвешенное значение по всему объему.

Взвешенное среднее	2.31
Тоннаж	580495.7

Аналогичную оценку можно сделать и по пробам. Она будет выполнена по всему объему, включенному в каркас, с помощью взвешивания (по длине) всех попавших в этот замкнутый объем проб.

Совершенно аналогично делается оценка каркасов. Единственная разница заключается в том, что каркасы могут иметь, значительно более изоциренную форму, чем показано выше, рис.17.4.

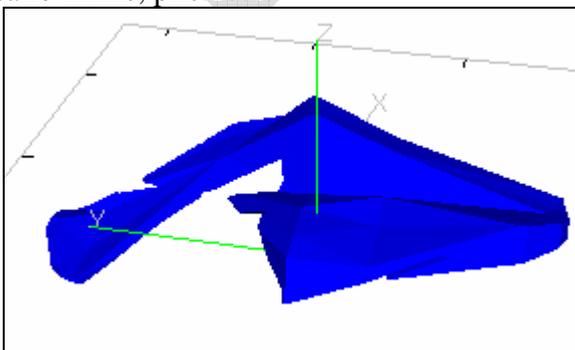


Рисунок 17.4. Вид оцениваемого каркаса.

Результаты оценки каркаса по блочной модели:

Объем по блочной модели	.....	170327.8
Объем по созданному каркасу	.....	175578.2
Разность объемов, абсолютная	...	50.352
Разность объемов, процентная	..	3.1
Общий тоннаж блоков	.....	434335.9
Плотность	.....	2.5

ОЦЕНКА ПО БЛОКАМ:

Интервал: От	До	Тоннаж	Содержание Au
0.000	1.400	319846.4	0.807
1.400	2.300	91894.1	1.685
2.300	5.000	22575.6	2.859
5.000	100.000	19.8	5.242

18. Классификация ресурсов и запасов

18.1. Общие принципы

В США, ЕЭС и Австралии разработаны и повсеместно используются специальные нормативные документы, регламентирующие порядок разработки, содержание геологических отчетов, их экспертизы, а также подробное описание классификации ресурсов и запасов руды. Ниже приводятся выдержки из этих документов.

Одной из главных составляющих указанных Кодексов является определение «Компетентного специалиста» или компании, которые несут полную ответственность за достоверность информации, изложенной в составляемых ими геологических отчетах. Это очень важная особенность рыночной экономики, поскольку от порядочности и компетентности геологов, оценивающих рудные запасы, в огромной степени зависит биржевая оценка акций горных компаний. Искажения этой информации создают условия для крупных спекуляций, наносящих ущерб экономике государства или региона.

Например, в Австралийском Кодексе записано: '**Компетентный специалист**' должен быть Членом или Сотоварищем (Fellow) Австралийского института Горного дела и Металлургии и/или Австралийского института наук о Земле с опытом работы не менее пяти лет, знающий данный тип минерализации и месторождений. Если Компетентный специалист оценивает, или контролирует оценку Минеральных Ресурсов, он должен иметь существенный опыт соответствующей оценки. Если Компетентный специалист оценивает, или контролирует оценку Рудных Запасов, он должен иметь существенный опыт соответствующей оценки, в т.ч. - знать экономические детали переработки и извлечения полезных компонентов.'

На рис. 18.1. показана принятая на Западе (США, Канада, Австралия и др.) схема преобразования геологической информации в ресурсы и запасы руды.

Геологическая информация - это информация, полученная в результате поисковых геологоразведочных работ по обнаружению месторождений, определению их размера, состава, формы и качества рудных тел. Геологические методы включают геологические, геохимические, геофизические исследования, скважинное бурение, опытные горные работы и т.п.

Ресурсы - это природная концентрация твердых, жидких или газообразных материалов в Земной коре в такой форме и количествах, которые обеспечивают текущее или экономичное (потенциальное) извлечение их в товарный продукт. Размещение, качество и количество руды при этом известно или оценено из достаточно достоверной геологической информации. Для отражения степени геологической определенности ресурсы могут быть подразделены на измеренные (measured), установленные (indicated) и предполагаемые (inferred).

Измеренными (Measured) ресурсы становятся, когда объем руды рассчитан по контурам рудного тела, установленным по обнажениям, траншеям, выработкам, скважинам; содержания полезных компонентов и качество руды рассчитывается по данным детального опробования. Плотность опробования и изучения залежи настолько большая, что размеры, форма, глубина и содержание минералов в руде установлены достоверно.

Установленные (Indicated) ресурсы являются как правило менее разведанными чем в предыдущей категории, но степень их изученность такова, что позволяет судить о непрерывности оруденения между точками опробования.

Предполагаемые (прогнозные, перспективные) (Inferred) ресурсы характеризуются еще меньшей степенью изученности.

Геологические оценки непрерывности оруденения могут опираться как на реальные пробы, так и на геологические, геохимические, геофизические и т.п. исследования.

Запасы - это часть ресурсов, соответствующая определенным ограничениям по качеству, мощности, глубине залегания и т.п., которая может быть извлечена и переработана с установленной экономической целесообразностью и соблюдением Законодательства на момент оценки. Возможность добычи и переработки этих запасов должна быть реальной или может быть предположена на основе соответствующих испытаний и измерений.

Термин "экономическая целесообразность" означает, что прибыльная отработка или переработка этих запасов с разумными инвестициями установлена или может быть достоверно предположена на основе соответствующих испытаний. Эти данные должны быть подтверждены ценами и затратами, действительными в течении жизни проекта.

Термин "соблюдение Законодательства" не означает, что все необходимые разрешения и согласования для добычи и переработки руды уже получены или что другие юридические вопросы полностью решены. Однако, для оцениваемых запасов не должно быть какой-либо серьезной неопределенности по поводу возможности получения этих разрешений.

Запасы связаны с ресурсами следующим образом:

Достоверные (Proven) запасы. Это часть измеренных ресурсов, которые удовлетворяют условиям, классифицирующим руду, как запасы.

Вероятные (Probable) запасы. Это часть измеренных и установленных ресурсов, которые удовлетворяют условиям, классифицирующим руду, как запасы. Впрочем, иногда измеренные ресурсы могут быть переведены только в группу вероятных запасов (см. рис. 18.1.)

При классификации запасов должно быть установлено, какой материал оценен: залегающий в недрах или извлекаемый. При оценке руды в недрах должен быть учтен уровень ее потерь и разубоживания при добыче и переработке.

Существуют особенности применения геологической терминологии в отчетах о ресурсах и запасах руды. Так термин "ресурсы" рекомендуется употреблять в словосочетаниях:

- минеральное сырье, mineral resource,
- идентифицированные ресурсы, identified resource,
- ресурсы в массиве, in situ resource.

Термин «запасы» рекомендуется использовать в сочетаниях: рудные запасы, 'ore reserve', отработываемые запасы, 'minable reserve' и извлекаемые запасы, 'recoverable reserve.'

Термины возможные запасы 'possible reserve' и предполагаемые запасы 'inferred reserve' не используются в данной квалификации. Материал, названный этими терминами не обладает необходимым уровнем достоверности, чтобы быть квалифицированным, как запасы.

Термин "руда" должен быть использован только для материала, который соответствует требованиям для запасов.

Рекомендуется, чтобы достоверные и вероятные запасы в отчете были описаны отдельно. Там, где употребляется только термин "запасы", следует понимать сумму достоверных и вероятных запасов.

В Российской классификации запасов тоже существуют 2 группы сырья, в общем соответствующих ресурсам и запасам. Для этого введено понятие балансовых и забалансовых запасов. В отличие от западных систем, однако, здесь до сих пор чувствуется влияние концепции жесткого государственного контроля над балансом минерального сырья. Первая группа соответствует запасам, которые могут быть отработаны с экономическим эффектом. Границей между этими группами служит заранее определенное значение бортового содержания и способность выгодно переработать эту руду с помощью существующей технологии.

Ресурсы классифицированы по категориям А, В, С1, С2, Р1, Р2 и Р3. Первые 4 группы ресурсов могут быть балансовыми и забалансовыми, а классификация здесь опирается больше на степень изученности геологии, а не на экономические расчеты. Первая группа запасов (А) обычно представлена уже оконтуренными зонами на действующих рудниках. Это же относится и ко второй группе (В), которая редко достигается в процессе обычных геологоразведочных работ. Последние 3 категории по аналогии с западными классификациями относятся к 'inferred resources' и не могут быть включены в любую категорию извлекаемых запасов (reserves).

Сопоставляя классификации России и стран Запада, можно с уверенностью говорить лишь о приблизительном их соответствии. Наша классификация слишком регламентирует многие "мелочи" процесса оценки запасов и критерии, в то время как на Западе большинство этих моментов находится в компетенции Специалиста, которому доверена оценка. Здесь же надо учитывать иногда совершенно несопоставимые критерии оценки минеральных запасов, стратегии их освоения в СССР и на Западе, а также весьма специфические многолетние традиции и технологии разведки и разработки месторождений полезных ископаемых в России.

Таким образом, однозначно произвести переоценку запасов какого-то месторождения СНГ по западной классификации без тщательной ревизии всей имеющейся геологической информации, сопоставления результатов опробования и пересмотра границ геологических подсчетных блоков, на наш взгляд, невозможно.

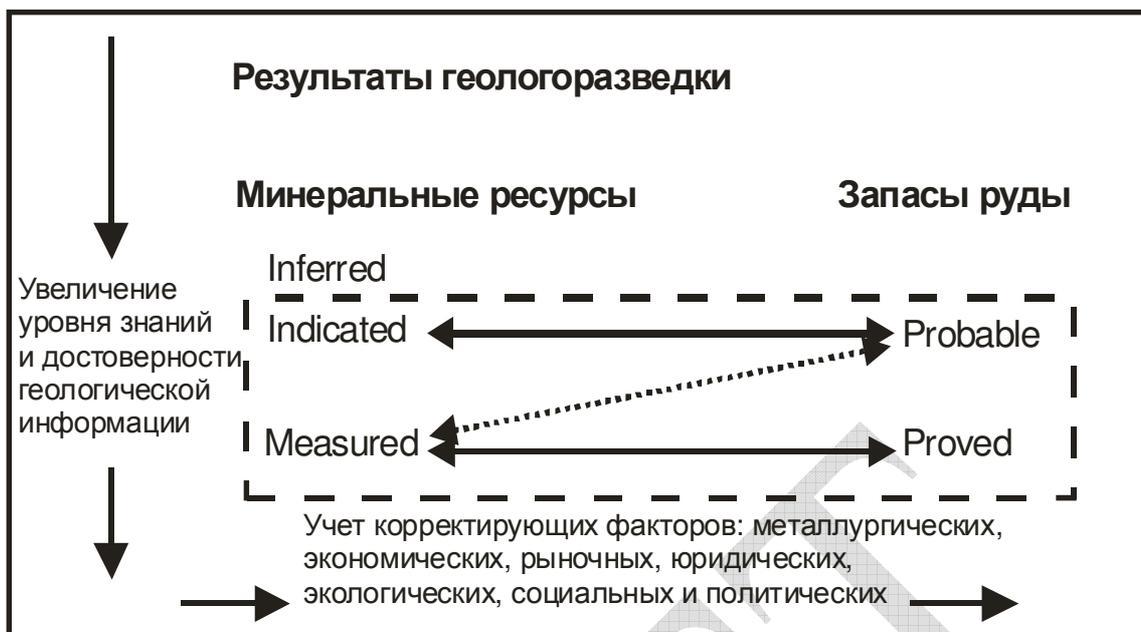


Рисунок 18.1. Связь между ресурсами и запасами

Теперь, когда классификация ресурсов/запасов постепенно становится международной, и практически везде используются упомянутые выше категории, возникает вопрос, по каким критериям относить ресурсы по разным категориям?

В готовящемся международном стандарте подготовки геологических отчетов о ресурсах об этом упоминается очень мало. На практике обычно используется 3 основных подхода:

1. В геологических нормативных документах СССР и СНГ достаточно жестко определены критерии отнесения запасов различных типов руды к той или иной категории в зависимости от плотности разведочной сети и типа месторождения. Геолог, используя эти инструкции, оконтуривал на планах и разрезах зоны минерализации с различной плотностью разведки и относил их к той или иной категории.

2. С появлением блочного моделирования и широкого использования геостатистики появилась возможность автоматического отнесения ресурсов к разным категориям в процессе интерполяции содержаний по установленным геологом критериям расстояний от пробы до оцениваемого блока или по величине допустимой ошибки оценки кригингом содержания в блоке. Недостатком этой методологии является пятнистая структура распределений категорий по месторождению (высокие категории появляются везде, где есть какие-то пробы), что усложняет планирование будущих горных работ.

3. Геолог, выполняющий моделирование и оценку ресурсов (компетентная персона), используя свои представления о характере минерализации и надежности геологической информации, оконтуривает однородные зоны залежи и относит их к соответствующим категориям на свое усмотрение. В этом случае он полностью несет ответственность за свои выводы и готов нести ответственность за возможные ошибки.

В последнее время специалисты все больше склоняются к 3-му методу экспертной оценки, принимая во внимание и геостатистические параметры, и особенности структуры месторождения, и плотность его опробования.

18.2. Геостатистические методы

Известны 2 основных метода классификации минеральных ресурсов и запасов с использованием геостатистической теории:

- на основе анализа вариограмм
- на основе дисперсии кригинга и вероятной ошибки в оценке ресурсов

Рисунок 18.2. показывает вариограммы для двух гипотетических месторождений руды с тем же самым диапазоном влияния, но значительно разными эффектами самородка. На них значение гамма (h) выражено как процент от значения порога (C₀+C) так, чтобы порог равнялся 100 %. Такие вариограммы называются стандартизированными или нормализованными. Мы, таким образом, имеем потенциальный, но несколько грубый метод для того, чтобы классифицировать рудные ресурсы и запасы по описанным выше категориям для различных рудных тел/месторождений.

Метод требует предварительного **обоснования** доверительного уровня, основанного на значении (h). В этом случае произвольно была установлена граница в 66 %, чтобы отличать Proven (Measured) от Probable (Indicated) запасов/ресурсов. Таким образом, интервал между скважинами/пробами в месторождении, по определению, должен быть такой, чтобы он включал две трети изменчивости данных ("правило двух третей"), если ресурс должен быть помещен в категорию Measured. Если эффект самородка будет выше 66 %, то достижение этого доверительного уровня не будет возможно, и будут установлены только Indicated ресурсы. Как показано на рисунке 18.2., Measured/Proven категории намного более ограничены во втором рудном теле, так как его большой эффект самородка требует, чтобы плотность опробования была намного выше, чтобы классифицировать минерализацию для этих категорий. Граница между Indicated и Inferred ресурсами равна величине зоны влияния "a" так, что, если средний интервал опробования месторождения больше чем зона влияния, то он должен быть уменьшен до величины, меньшей чем зона влияния, чтобы соответствовать категории Indicated. На рис. 18.2. видно, что более длинный диапазон влияния в одной залежи по сравнению с другой увеличивает интервал бурения или опробования, который можно допустить в категории Indicated для этой залежи.

Вышеупомянутое, таким образом, указывает на то, что плотность бурения, необходимого для достижения категорий Proven/Measured может изменяться от рудника к руднику и зависит от характера минерализации. Там где есть слабая непрерывность содержаний (малые зоны влияния вариограмм) и высокий эффект самородка, плотность бурения должна быть намного выше.

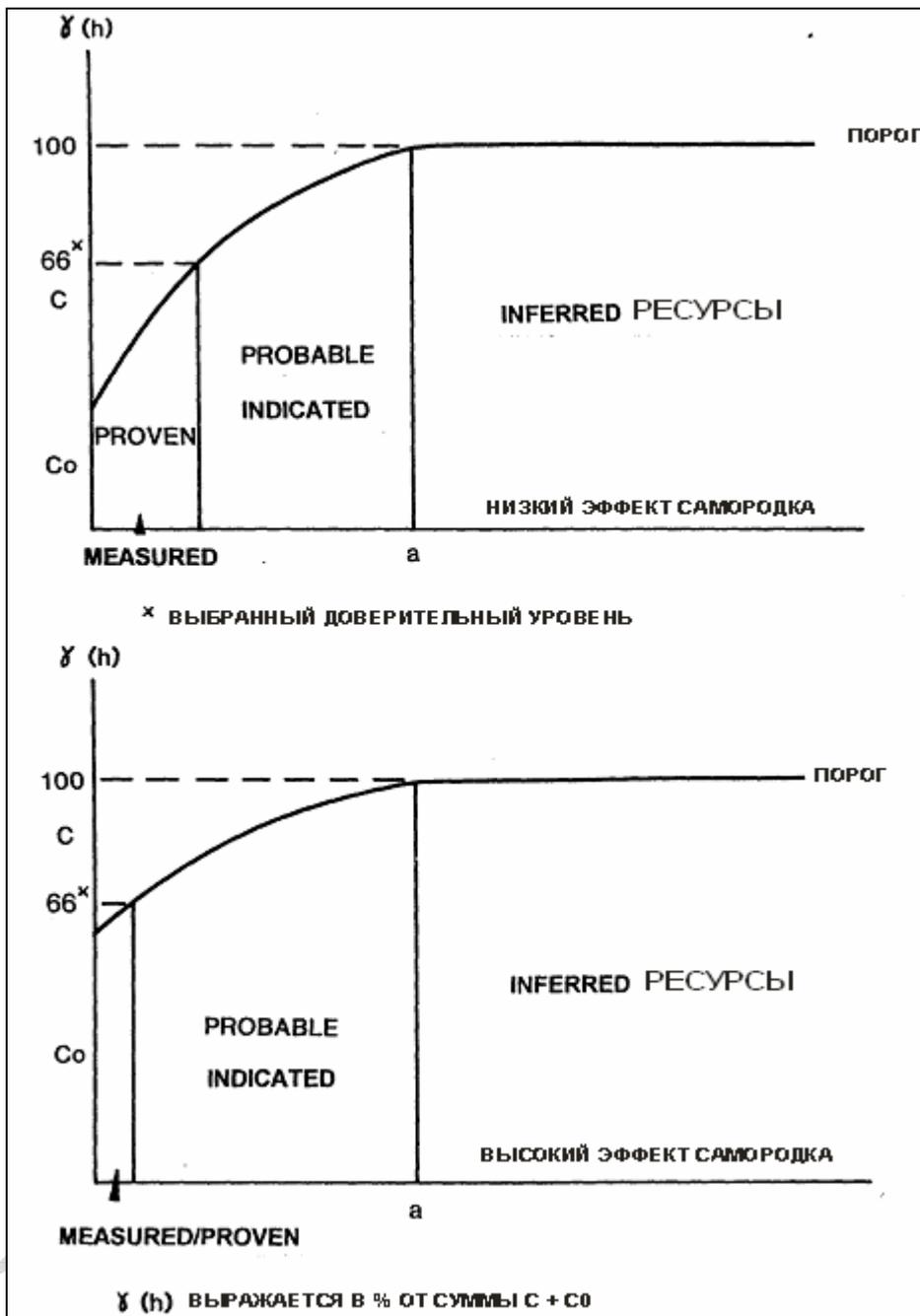


Рисунок 18.2. Определение плотности разведочной сети для классификации ресурсов/запасов 2-х месторождений с разным эффектом самородка.

Второй способ использует дисперсию кригинга, которая оценивается для каждого блока модели при интерполяции. Здесь читатель должен вспомнить основы теории, которые приводятся в любом учебнике по геостатистике. Указанный выше параметр зависит от количества данных (проб), доступных в пределах эллипсоида поиска, эквивалентного геостатистическому диапазону влияния каждой оцениваемой точки в пределах рудного блока. Он также отражает распределение этих точек в пределах области поиска и характер или непрерывность минерализации. Этот параметр может использоваться, чтобы оценить точность оценки каждого блока. Чтобы установить универсальную систему классификации, необходимо выразить ее (дисперсию) как относительную дисперсию кригинга или относительное стандартное отклонение кригинга так, чтобы ошибка была непосредственно связана со средним содержанием, которое изменяется от блока к блоку, или от месторождения к месторождению. Необходимо понять, однако, что точность, базирующаяся на кригинге, не может быть

использована, чтобы полностью отражать доверительный уровень оценки блока, поскольку полностью не приняты во внимание аспекты качества используемых исходных данных, в частности не рассматривается выход керна или пробы.

Royle в 1977 г предложил, чтобы рациональная система классификации рудных запасов была основана на кригинговой оценке блока и на связанной с ней дисперсии кригинга. Он заявляет, что для каждого блока в пределах рудного тела может быть оценена вероятность того, что его 'истинная' величина находится выше бортового содержания (break-even cut-off grade - BCOG). Первый шаг в этом процессе - расположить оценки содержаний блоков в порядке увеличения дисперсии кригинга. Для каждого блока вычисляется величина:

$$D = (Z_K^* - \text{BCOG}) / \sigma_K \quad (18.1)$$

, где: Z_K^* – кригинговая оценка блока,
 σ_K – стандартное отклонение кригинга.

Если BCOG = 3 г/т, оценка содержания блока - 3.125 г/т, и его дисперсия кригинга - 0.04 (г/т)², то:

$$D = (3.125 - 3) / \sqrt{0.04} = 0.125 / 0.2 = 0.625$$

По стандартным статистическим таблицам можно найти область под графиком стандартного нормального распределения между значениями 3.125 и 3.0 г/т - 0.234, следовательно вероятность того, что фактическое содержание блока больше, чем BCOG равна 0.5 + 0.234, то есть - 0.734 (или 73.4 %).

Proven запасы можно таким образом определить на том основании, что все блоки этой категории будут иметь вероятности превышения борта истинными содержаниями выше установленного процентного уровня. Большинство из них, вероятно, будет находиться в наиболее плотно разведанных внутренних областях месторождения. Блоки с очень высокими дисперсиями кригинга и с вероятностью превышения BCOG их истинными содержаниями, меньшей чем установленный второй уровень, будут помещены в категорию Indicated ресурсов. Они находятся в редко опробованных областях и, как правило, близко к краям залежи, где присутствует краевой эффект. Запасы, лежащие между этими двумя уровнями вероятности будут рассматриваться как Probable Запасы. Royle предлагает также, что вычисления должны быть сделаны для диапазона бортов (BCOG), поскольку BCOG может изменяться для разных областей месторождения.

Diehl и David в 1982 г предложили более жесткое основание для классификации запасов (Таблица 18.1) чем используемое другими классификациями (например, USBM/USGS). Они определяют уровни неопределенности (достоверности) и точности (допустимой ошибки) в каждом случае. Последний уровень основан на относительном стандартном отклонении кригинга - σ_K / Z_K^* . Следовательно, если граница между Proven и Probable запасами взята как точность 10 % с 80%-ой доверительностью, тогда, мы имеем:

$$\text{Точность} = 10 = (\sigma_K * 100 * \mu_{0.8}) / Z_K^* \quad (18.2)$$

где $\mu_{0.8} = 1.282$ для стандартного нормального распределения (вероятность, P = 0.80). Следовательно:

$$\sigma_K / Z_K^* = 10 / (100 * 1.282) = 0.078$$

Если бы требовалась гарантия 95 %, то относительное стандартное отклонение кригинга, должно было бы быть 0.051 для руды, которая будет классифицирована как Proved запасы.

В настоящее время, нет никакого международного соглашения относительно того, какой доверительный уровень и точность соответствуют различным категориям ресурсов

и запасов и, таким образом, геостатистические определения еще редко используются на практике.

Далее рассматривается развитие рассмотренных выше методов **добавлением информации о выходе керна** при опробовании блока. Это дает возможность получить более полную оценку достоверности.

Предполагается, что во многих случаях потеря керна связана не только со случайными явлениями, местными непредсказуемыми геологическими условиями и с техническими проблемами бурения, но также и с пространственно управляемыми факторами. Они могут включать неравномерное развитие карста с глубиной или небольшое расстояние от тектонических нарушений, зон дробления, разную степень выветривания или окисления пород, а также другие причины. Таким образом, будет оправданным применить метод взвешивания обратными расстояниями к каждой пробе, чтобы получить взвешенный выход керна по блоку точно тем же самым способом, как это делается для содержаний компонентов. Может оказаться возможным даже рассчитать вариограмму этой переменной так, чтобы можно было использовать для ее оценки блочный кригинг.

Потенциально извлекаемые запасы содержатся в блоках, которые имеют содержания выше борта. Если потерянный керн будет иметь более высокие содержания, то истинные содержания блока будут все еще выше ВСОГ, и таким образом, будут оставаться потенциально экономическими. Неопределенность относится к тем блокам, где потерянный керн может иметь низкие содержания и где также низка точность оценки. Эта неопределенность увеличивается по мере снижения выхода керна.

Таким образом, предлагается, чтобы моделирование содержания, запасов металла и мощности рудных тел сопровождалось бы моделированием выхода керна, чтобы для каждого блока, мы имели средневзвешенный выход керна. Он будет хорошим индикатором оценки ресурсов/запасов.

Рисунок 18.3. представляет предлагаемую классификацию ресурсов, основанную на 80%-ом доверительном уровне оценки и при условии, что было выполнено технико-экономическое обоснование, в котором были идентифицированы подходящие методы добычи и переработки руды и определены связанные с ними экономические и технические параметры. Эта классификация объединяет метод Diehl и David (Табл. 18.1.) и оценку выхода керна в блоке (BCR), определяемую с помощью кригинга или метода обратных расстояний. В настоящее время, принятые границы выхода керна несколько произвольны, но они основаны на предположении, что, если средневзвешенный выход керна для блока меньше 80 %, то недопустимо назначать для этого блока категорию Proven. Точно так же, минерализация не должна быть помещена в любую категорию запасов, если выход керна меньше 60 %. Она должна быть помещена только в ресурсы. В этой системе бедный выход керна может быть возмещен высокой точностью или наоборот, хорошая точность может быть испорчена бедным выходом керна так, что блок, который был оценен с точностью 8 %, но чей BCR - только 85 %, будет перемещен из категории Proven в Probable.

Предложен еще один метод введения параметра выхода керна в систему классификации запасов. Он использует вычисление (с помощью кригинга) индикаторной переменной (граница - 90 %) выхода керна для каждого блока, а также относительного стандартного отклонения кригинга. Классификация, показанная на рисунке 18.4. объединяет эти два параметра. Диаграмма показывает, что блок с точностью определения содержания больше чем 10 % и меньше чем 20 %, оцененный по скважинам с выходом керна меньше чем 90%, должен быть помещен в категорию Proven. Эквивалентные границы для Probable запасов должны быть 20 % и 40 % (индикаторная переменная - 0.4).

Таблица 18.1. Классификация Ресурсов и Запасов Diehl и David (1982)

УСТАНОВЛЕННЫЕ	НЕИССЛЕДОВАННЫЕ
---------------	-----------------

ДОКАЗАННЫЕ					
<i>MEASURED</i>		<i>INDICATED (POSSIBLE)</i>			
<u>PROVED</u>	<u>PROBABLE</u>		<i>INFERRED</i>	ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ	СПЕКУЛЯТИВНЫ Е
±10% ⁽¹⁾	±20% ⁽¹⁾	±40% ⁽¹⁾	±80% ⁽¹⁾		
>80% ⁽²⁾	60-80% ⁽²⁾	40-60% ⁽²⁾	20-40% ⁽²⁾	10-20% ⁽²⁾	<10% ⁽²⁾
ЭКОНОМИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫЕ РЕСУРСЫ					

(1) Точность

(2) Доверительная вероятность

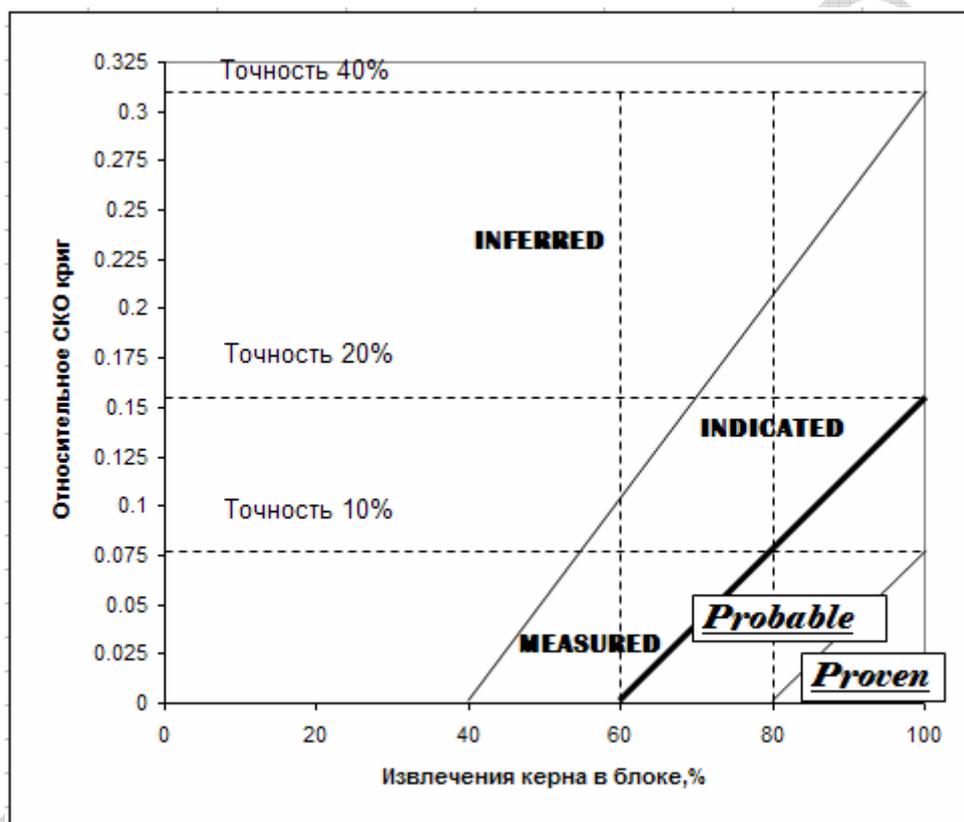


Рисунок 18.3. Классификация извлекаемых запасов, которая объединяет оценки выхода керна с относительным стандартным отклонением кригинга (σ_k / Z_k). Жирная линия – граница между ресурсами и запасами руды.

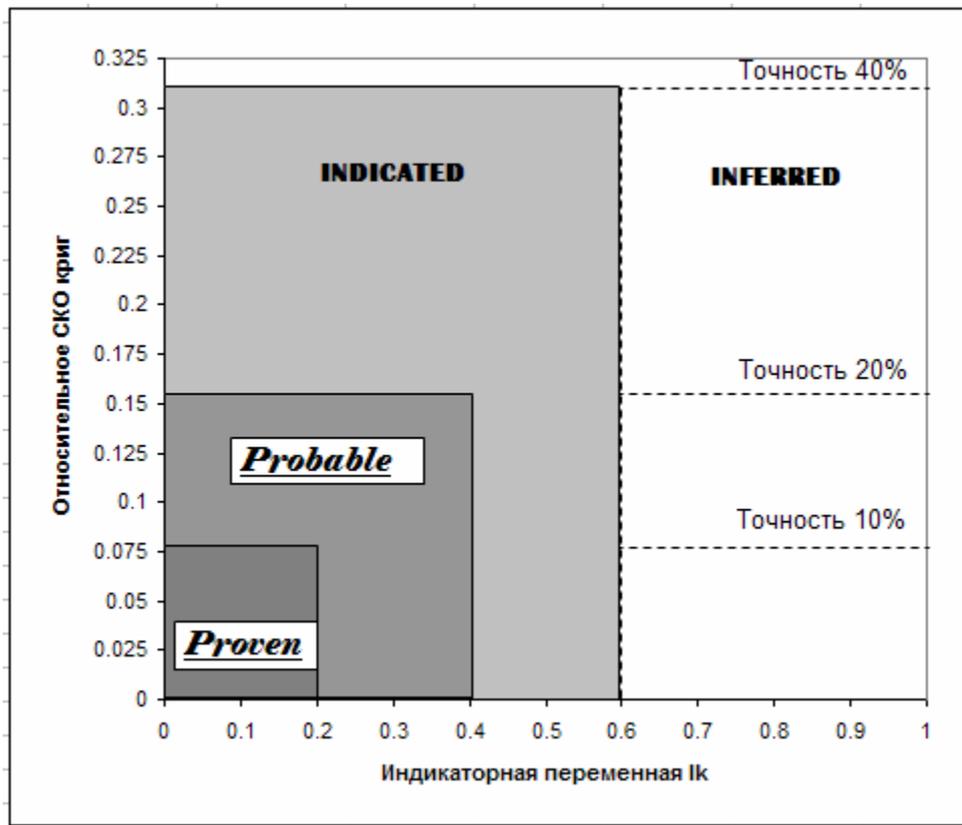


Рисунок 18.4.. Возможная классификация, использующая индикаторную переменную кригинга для выхода ядра и относительное стандартное отклонение кригинга (σ_k / Z_k)

18.3. Развитие мировых стандартов сообщений о ресурсах/запасах

Есть различные методы для того, чтобы превратить минеральные проекты в капитал, включая денежные средства акционеров, кредиты, правительственные гранты и т.д. Получение финансирования с помощью выпуска акций компании основано на документации, которая включает сообщения (отчеты) относительно минеральных запасов и ресурсов. Если такое сообщение не прозрачно и не последовательно, составлено туманно, тогда есть возможности для искажений и мошенничества. Скандал Bre-X и подобные искажения на фондовой бирже в 1997 являются все еще свежими в памяти корпоративных финансистов. Это особенно больно сказалось на развивающемся секторе геологоразведки в то время, когда он начал играть существенную роль в формировании ресурсов полезных ископаемых для крупнейших компаний горной промышленности.

Часть проблемы связана с чрезмерно запутанной терминологией, которая была и все еще применяется во многих сообщениях о минеральных запасах и ресурсах, а так же с отсутствием специальной международной структуры для того, чтобы получать минеральные пробы для проверки и подтверждения. Глобализация горнодобывающей промышленности требует общего языка для коммуникации и принятия решений, и все это вместе привело к потребности улучшить прозрачность и последовательность инвестиционной информации. Такая потребность требует создать ряд международных стандартов определений для геологических сообщений, которые должны стать минимальным стандартом для создания отчетов. И хотя такие определения никогда не будут панацеей, но они помогут сократить риск для инвестиционного сообщества.

История

Горнодобывающая промышленность давно признает потребность в международных стандартах, как способ улучшить коммуникации в пределах отрасли и с внешними заинтересованными сторонами. Первый национальный кодекс был создан в Австралии в 1971 г (JORC). В 1991, Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME) в США издало свой справочник для геологических сообщений и в том же году Institute of Mining and Metallurgy (IMM) в Великобритании также пересмотрел свои стандарты, в значительной степени основанные на Кодексе JORC. Однако, систематические усилия по развитию международных стандартов сообщений о геологической информации по полезным ископаемым и минеральным запасам начаты только в середине 1990-ых.

В 1994, на 15-ом Конгрессе СММИ в Южной Африке, был сформирован международный совет (Council of Mining and Metallurgical Institutes International Mineral Reserves Committee - СММИ IMRC), составленный из представителей Австралии (Australasian Institute of Mining and Metallurgy - AusIMM), Канады (Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum - CIM), Южной Африки (South African Institute of Mining and Metallurgy - SAIMM), Великобритании (IMM) и Соединенных Штатов (SME). Первичная цель Совета СММИ IMRC состояла в том, чтобы разработать ряд международных определений для того, чтобы делать сообщения о полезных ископаемых и минеральных запасах.

В марте 1997 после скандала с Bre-X потребность в международном стандарте для геологических сообщений стала безотлагательной. Главное крупное достижение СММИ IMRC произошло в октябре 1997, когда пять участников СММИ (Австралия, ЮАР, Великобритания, Канада и США) встретились в Денвере (США) и достигли временного соглашения для определений двух главных категорий: минеральных ресурсах (resources) и минеральных запасах (reserves) и их соответствующих подкатегорий: measured, indicated и inferred для ресурсов и proved, probable для запасов (Рис. 18.5).

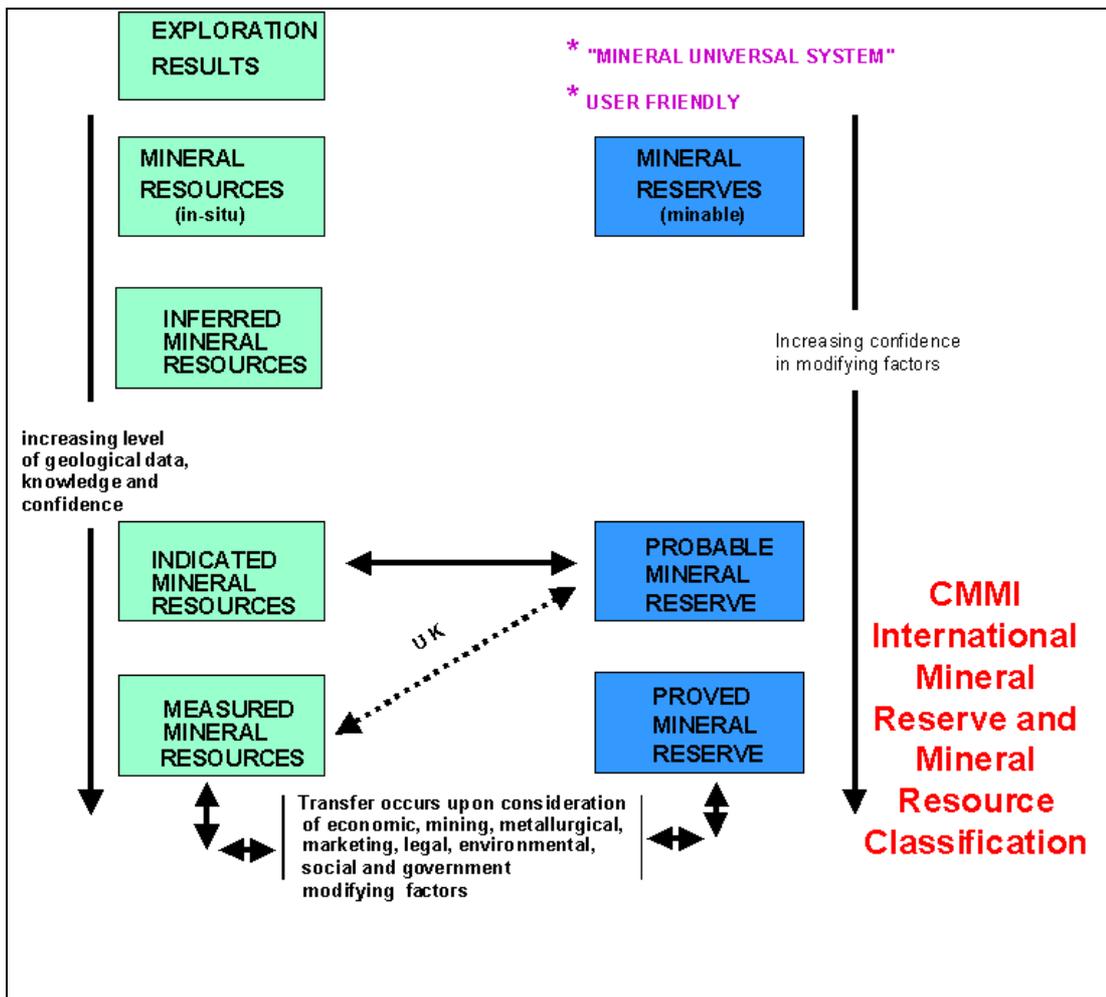


Рисунок 18.5. Первая международная классификация минеральных ресурсов, запасов (Денвер – 1997 г).

Одновременно, начиная с 1992, United Nations Commission for Europe (UN-ECE) разработала International Framework Classification for Mineral Reserves and Resources (Твердое Топливо и Минеральные Предметы потребления), [UNFC]. После ряда симпозиумов и встреч рабочей группы, была согласована и подготовлена заключительная версия UNFC (UN-ECE Energy/WP.1/R.70, Женева, 1997), с временно согласованными и приложенными к ним определениями, переведенная на шесть основных языков, которая была распространена во всем мире для испытания и комментариев. К 1998 году из 43 стран и международных организаций, которые прислали свои отклики, 37 стран уже использовали UNFC или были в процессе подготовки к их применению, а некоторые страны адаптировали их для инвентаризации национальных минеральных запасов и ресурсов.

В Женеве в октябре 1998 между СММИ IMRC и Рабочей группой UN-ECE было достигнуто соглашение о принятии определений стандарта СММИ IMRC для сообщений о ресурсах и запасах, с незначительными модификациями UNFC для категорий, которые были общими в обеих системах. Рабочая группа UN-ECE предложила для простоты понимания и облегчения перевода на неанглийские языки уменьшить тогдашние временные определения СММИ до более коротких предложений. Это соглашение дало истинный международный статус определениям СММИ. В период между октябрем 1998 и ноябрем 1999, Целевая группа UN-ECE продолжала постоянные консультации с ее членами - участниками. Были проведены также специальные конференции в Бангкоке, (Таиланд) и Джакарте (Индонезия), чтобы позволить большему количеству стран понять и

оценить систему UN-ECE Framework Classification. В конце ноября 1999 очередная конференция UNFC была проведена в Бразилии.

В январе 1999, в Канаде был издан заключительный отчет Mining Standards Task Force "Setting New Standards, Recommendations for Public Exploration and Mining Companies" Этот отчет включает набор основных стандартов и рекомендует, среди прочего, что СИМ работают в этом направлении в контакте с другими международными учреждениями, связанными с горной промышленностью.

В ноябре 1999, СММИ IMRC снова организовал встречу с Целевой группой UN-ECE, чтобы продолжить процесс развития международных определений и руководящих принципов. Были согласованы и приняты следующие термины в определениях:

- *mineral reserve,*
- *proved mineral reserve,*
- *probable mineral reserve,*
- *mineral resource,*
- *measured mineral resource,*
- *indicated mineral resource и*
- *inferred mineral resource.*

Полные определения могут быть найдены на британском вебсайте Institution of Mining and Metallurgy. Они были включены, с незначительными модификациями в 1999 в Кодекс JORC в Австралии. UN-ECE также выражал интерес во включении раздела «Критерии Оценки» Кодекса JORC в состав UNFC. В то время как UNFC продолжает включать дополнительные определения для Reconnaissance (Разведанных) Mineral Resource, Pre-feasibility Mineral Resource, and Feasibility Mineral Resource, тем не менее, определения, предложенные СММИ IMRC, также будут использоваться во всем мире теми странами, которые подтвердили и используют систему Framework Classification UN-ECE.

В ноябре 1999 на встрече СММИ IMRC в Женеве, было признано, что появляющиеся в странах СММИ кодексы сообщений и руководящих принципов практически идентичны, поэтому было решено перейти к разработке Мирового Кодекса.

Это потребовало формулировки:

- международного определения Competent Person (Компетентного Специалиста), где ключевым фактором будет взаимосвязь его квалификации и опыта,
- списка минимальных требований (профессиональных Кодексов Этики) для учреждений, готовящих Компетентных Специалистов,
- устава новой международной организации для оценки уровня профессиональных учреждений, подготавливающих Международных Компетентных Специалистов и наконец,
- самого Мирового кодекса сообщений и руководящих принципов.

Кодекс JORC сыграл решающую роль в развитии международных стандартов. С 1994, когда международная одиссея только начиналась, СММИ IMRC смог разработать международный стандарт сообщений о минеральных запасах и ресурсах, признаваемый во многих странах мира. Таким образом, к 2000 г была закончена первая часть этой трудной работы.

Создание единого Мирового Кодекса продолжается.

Современное состояние процесса

Комитет CRIRSCO, который был сформирован в 1994 под покровительством СММИ (Совет по Горной промышленности и Металлургии, расформированный в 2002), был до настоящего времени свободной группировкой восьми организаций-представителей,

которые являются ответственными за создание кодексов и руководящих принципов сообщений о минеральных ресурсах в:

- Австралии (JORC),
- Чили (Национальный комитет),
- Канаде (CIM),
- ЮАР (SAMREC),
- США (SME),
- Великобритании (Национальный комитет) и
- Западной Европе (IGI & EFG).

Комитет CRIRSCO состоит из группы чрезвычайно опытных и бескорыстных добровольцев, которые до сих пор были способны управлять его делами ограниченным числом членов комитета при небольшой финансовой помощи от организаций-спонсоров.

Комитет CRIRSCO был учрежден, чтобы продвинуть на международный уровень лучшие образцы сообщений о результатах геологоразведки минеральных ресурсов и запасов, гарантируя при этом международную совместимость национальных кодексов и не ставя под угрозу местные законодательные требования. Эта деятельность оказалась успешной, и стандарты сообщений стран, представленных в CRIRSCO, на 90-95 % совместимы друг с другом.

Горнодобывающая промышленность становится в последние годы все более и более интернациональной, и потребность в надежном международном подходе ко многим проблемам сообщений о минеральных ресурсах и запасах никогда не была такой большой. В последние годы действия Комитета были очень активными, особенно в части обсуждений деталей взаимосвязи Кодекса и других международных стандартов с инспекторами и другими органами за пределами горнодобывающей промышленности, типа Организации Объединенных Наций и Международного Совета по Бухгалтерским Стандартам (IASB). В результате рабочая нагрузка Комитета существенно возросла, и в настоящее время осуществляется реорганизация CRIRSCO, чтобы гарантировать, что он правильно структурирован, имеет средства и необходимые мандаты, чтобы решать уже появившиеся и возможные будущие проблемы.

Международный шаблон Кодекса CRIRSCO, который представлен на сайте Комитета в середине 2006 года, предназначен, чтобы стать директивой для стран, которые только недавно начали разрабатывать их собственные стандарты. Он является также и отправной точкой для сравнения с другим системами международным сообщений, включая Классификацию Структуры Организации Объединенных Наций (UNFC) и Руководящие принципы Общества Нефтяных Инженеров (SPE). Понятно, что он не предназначен для замены существующих национальных стандартов сообщений.

По мере разработки или обновления каждый новый национальный стандарт рассматривается другими членами CRIRSCO в сотрудничестве с национальным комитетом, чтобы гарантировать, что он совместим с другими стандартами. Также важно, что усовершенствования, имеющиеся в новом национальном стандарте, могут быть встроены в Шаблон CRIRSCO. Этот круговой процесс сравнения с предыдущими стандартами и модернизацией Шаблона в соответствии с международным соглашением очень эффективен и гарантирует, что изменения будут сводиться к разумному минимуму и что самый последний вариант стандарта должен рассматриваться как 'лучший'.

UNFC был разработан UN Economic Commission for Europe (UNECE) в 1997 с целью создать единую глобальную систему для того, чтобы согласовать все существующие национальные и международные системы сообщения о ресурсах и запасах углеводородных и твердых полезных ископаемых, отвечающую полному спектру правительственных и коммерческих требований. В 1999 CRIRSCO достиг соглашения с UNECE, что определения CRIRSCO будут включены в UNFC для тех категорий ресурсов и запасов, которые связаны с рыночными сообщениями.

В 2003 был создан новый UNFC только для промышленности углеводородов, т.к. существуют серьезные различия в способах и терминологии сообщений о ресурсах и запасах между углеводородными и твердыми полезными ископаемыми. В этой связи CRIRSCO повторно встречался с UNECE и договорился, чтобы отредактировать определения и руководящие принципы, имеющиеся в Шаблоне CRIRSCO, чтобы они были совместимы с потребностями пользователей UNFC. Главная часть этой работы должна быть закончена в 2006 г.

Сейчас только немногие частные компании сообщают об их ресурсах и запасах, используя UNFC, однако эта система принята и проходит испытания (как основа для национальных сообщений) некоторыми правительствами, включая Россию, Китай и Индию (см. Приложение 3.1). Причастность этих стран к будущему развитию горной промышленности и международных рынков не вызывает сомнений, поэтому CRIRSCO работает, чтобы последовательно продвигать использование и понимание определений и руководящих принципов Мирового Кодекса и в эти страны.

С 2005 года CRIRSCO начал обсуждения о взаимодействии с IASB, который разрабатывает новый Стандарт Бухгалтерского учета для Добывающих Отраслей промышленности, как часть международного Стандарта Финансового Сообщения (IFRS). В настоящее время IASB рассматривает существующие определения ресурсов и запасов для углеводородов и твердых полезных ископаемых. При этом приоритет пока имеет углеводородная промышленность.

Комитет IASB попросил CRIRSCO исследовать возможность конвергенции своих определений с терминами, принятыми в промышленности углеводорода, чтобы создать единые определения ресурсов и запасов для не технического (финансового) руководства.

'Правила', с помощью которых учитываются главные активы геологических и добывающих компаний, их ресурсы и запасы, например, в расчетах амортизации и истощения недр, очень важны для этих компаний. CRIRSCO полагает, что до общего принятия стандарта IFRS важно гарантировать, что он не принесет горной компании неудобств или не сделает неэффективными текущие национальные стандарты сообщений.

В результате обсуждений с UNECE и IASB, стало ясно, что сектора углеводородных и твердых полезных ископаемых - по существу то же самое, и поэтому определения ресурсов и запасов должны быть совместимыми.

CRIRSCO привлекал к таким обсуждениям все заинтересованные организации, чтобы продемонстрировать подобию и существенные различия между системами сообщений в этих двух отраслях промышленности. В результате был установлен контакт с SPE Oil and Gas Reserves Committee с целью исследования степени, до которой могла бы быть возможна конвергенция определений. Эта деятельность, которая началась с сопоставления руководящих принципов SPE и Шаблона CRIRSCO, должна быть закончена к октябрю 2006 г., хотя полной гарантии ее успеха пока никто дать не может.