

Ю.Е.Капутин

Горные компьютерные технологии и геостатистика



Капутин Ю.Е.
ГОРНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ и
ГЕОСТАТИСТИКА

СПб, Недра, 424 стр. 2002 г.

Введение.....	5
ЧАСТЬ 1. Компьютерное развитие горных проектов.....	6
1 Современныe горные компьютерные технологии.....	6
1.1 Общие сведения	6
1.2 Краткий обзор современного состояния программного обеспечения для горных предприятий.....	8
1.3 Недорогие программы	10
1.4 Интегрированные системы.....	12
1.5 Другие системы и программы.....	18
1.6 Особенности современного развития горных информационных технологий и компьютерного обеспечения	21
2 Основные понятия, показатели и этапы освоения месторождений твердых полезных ископаемых[1].....	23
2.1 Основные понятия.....	23
2.2 Стадии развития горного проекта.....	24
2.3 Классификация и оценка запасов полезных ископаемых.....	26
2.4 Основные экономические термины и понятия, используемые в планировании и оценке горных проектов	32
3 Моделирование месторождений и оценка запасов.....	38
3.1 Подготовка геологической информации и ввод ее в компьютер.....	38
3.1.1 Требуемая информация	38
3.1.2 Необходимый персонал и оборудование.....	39
3.1.3 Ввод числовой/текстовой информации	39
3.1.4 Ввод графической информации	43
3.1.5 Ошибки во введенной информации.....	45
3.1.6 Проверка, корректировка и первичная обработка введенной информации.	46
3.1.7 Первичная статистическая обработка данных; композирование	54
3.1.8 Корректировка «ураганных» проб	57
3.1.9 Декластеризация данных	59
3.1.10 Внесение исправлений и дополнений в существующие файлы опробования	60
3.2 Геостатистическое исследование месторождения.	61
3.2.1 Понятие о геостатистике и вариограмме	61
3.2.2 Расчет экспериментальных вариограмм.....	63
3.2.3 Подбор моделей вариограмм.....	71
3.2.4 Проверка надежности вариограммных моделей.....	77
3.3 Создание каркасных моделей месторождений.....	78
3.3.1 Оконтуривание рудных тел и зон минерализации.....	78
3.3.1 Создание каркасных моделей пространственных объектов	81
3.3.2 Каркасные модели поверхностей.	85
3.3.3 Манипуляции с каркасами.	86
3.4 Блочное моделирование месторождений.....	88
3.4.1 Структура блочных моделей	88
3.4.2 Прототип блочной модели.....	90
3.4.3 Заполнение каркасов ячейками	91
3.4.4 Интерполяция содержаний и других показателей качества руды.....	100
3.4.5 Оптимизация и обновление блочных моделей при поступлении новой информации	112
3.5 Оценка рудных запасов	115
3.5.1 Процессы Датамайн для оценки запасов.....	115
3.5.2 Интерактивная оценка запасов в Окне проектирования Датамайн – Студио	117
3.5.3 Оценка извлекаемых запасов.....	119
Литература	127
4. Оптимизация и проектирование карьеров и подземных рудников.....	128

4.1	Основные принципы компьютерного проектирования горных работ	128
4.2	Оптимизация предельных границ карьеров.....	130
4.2.1	Программа Four-D(X).....	131
4.2.2	Программа Maxipit	132
4.3	Этапы развития карьера.....	141
4.4	Проектирование карьеров на компьютерах	142
4.4.1	Основные операции.....	142
4.4.2	Маленькие хитрости.....	147
4.4.3	Совмещение каркасной модели карьера с топографией	149
4.4.4	Оценивание запасов руды в карьере	150
4.5	Компьютерное проектирование подземных рудников	150
4.5.1	Оценка запасов месторождения и оптимизация размещения выемочных блоков.....	150
4.5.2	Программа Orefinder.....	151
4.5.3	Проектирование вскрытия и подготовки.....	154
4.5.4	Проектирование очистных работ	159
5.	Планирование горных работ на компьютерах	162
5.1	Основные принципы планирования горного производства	162
5.1.1	Введение	162
5.1.2	Планирование направления использования извлекаемого материала.....	163
5.1.3	Календарное планирование	166
5.1.4	Итоговые замечания	169
5.2	Планирование работы карьеров с помощью пакета NPV Scheduler.....	170
5.2.1	Календарное планирование	170
5.2.2	Оптимизация работы с рудными складами	174
5.2.3	Оптимизация бортовых содержаний и производительности рудника.....	176
5.2.4	Несколько замечаний	178
5.3	Планирование в Датамайн.....	178
5.3.1	Календарное планирование	179
5.3.2	Автоматическое перемещение добычных забоев	186
5.4	Понятие о стратегическом горном планировании	189
5.4.1	Стратегия бизнеса горной компании	189
5.4.2	Стратегическое планирование горных работ	191
5.4.3	Программное обеспечение для стратегического планирования.....	193
	Литература	195
	Приложение 1. <i>Характеристика системы Датамайн - Студио и основные приемы работы с ней.</i>	195
1.1	Общие сведения	195
1.2	Главные новые возможности Датамайн-Студио (ДС):	197
1.3	Новые команды Датамайн-Студио (ДС):	201
1.4	Начало работы с системой Датамайн-Студио	204
1.4.1	Старт системы.....	205
1.4.2	Изучение интерфейса системы.....	205
1.4.3	Выбор файлов для работы	206
1.4.4	Выбор и запуск команд	206
1.4.5	Использование файлов помощи	207
1.4.6	Выход из системы.....	207
1.5	Работа с информацией в Окне проектирования Датамайн-Студио и создание графики 208	
1.5.1	Основные приемы работы с информацией в Окне проектирования.....	208
1.5.2	Создание и вывод графики в Окне проектирования.....	212
1.5.3	Графические процессы Датамайн	213
2	Введение.....	218
3	Место геостатистики в горном производстве	219
	Несколько слов о геостатистике	219
3.3	Место геостатистики в компьютерных технологиях	222
3.4	Основной вопрос: работает ли геостатистика?.....	223
3.5	И все же некоторые комментарии	225
4	Подготовка и предварительная обработка исходной геологической информации	226
	Введение.....	226
4.3	Сбор исходной информации и ввод ее в компьютер	226

4.4	Описание одной переменной	227
3.3.2	Характеристики положения распределения	230
3.3.3	Характеристики отклонений (статистической изменчивости)	231
3.3.4	Характеристики формы распределения	231
4.5	Описание двух переменных	231
3.3.5	Регрессионный анализ	233
4.6	Описание пространственного положения	233
3.3.6	Пропорциональный эффект	234
4.7	Пространственные переменные [4]	235
3.3.7	Моделирование пространственных переменных	235
3.3.8	Случайные функции	236
3.3.9	Гипотезы стационарности и внутренняя (intrinsic) гипотеза	237
3.3.10	Как определить, стационарна ли переменная	238
3.3.11	Функция пространственной ковариации	238
4.8	Минимум математических знаний для успешной работы	239
3.3.12	Среднее и дисперсия линейной комбинации	240
3.3.13	Одинарное и двойное суммирование	241
5	Построение и моделирование вариограмм	241
	Введение	241
5.3	Вариограмма [4]	242
3.3.14	Определение вариограммы	242
3.3.15	Непрерывность и зона влияния	242
3.3.16	Поведение около начала	243
3.3.17	Анизотропия	244
3.3.18	Присутствие тренда	246
3.3.19	Вложенные структуры	246
5.4	Анализ исходной информации	247
3.3.20	Ураганные содержания и их корректировка	249
3.3.21	Композирование проб	249
5.5	Построение экспериментальных вариограмм	250
3.3.22	Общие сведения	250
3.3.23	Рекомендации по расчету экспериментальных вариограмм	251
3.3.24	Исследование экспериментальных вариограмм	253
5.6	Подбор моделей вариограмм	256
3.3.25	Введение	256
3.3.26	Основные типы моделей вариограмм	257
3.3.27	Подбор моделей к экспериментальным вариограммам	259
3.3.28	Приведение моделей к точечному виду (регуляризация)	261
3.3.29	Пространственная модель вариограммы	261
3.3.30	Надежность моделей вариограмм (робастные методы оценивания)	263
3.3.31	Проверка выбранных моделей вариограмм	264
6	Кригинг	266
	Введение	266
6.3	Общая характеристика кригинга	266
6.4	Уравнение кригинга [4]	266
3.3.32	Обычный кригинг	267
3.3.33	Уравнения ОК для внутренних пространственных переменных	270
3.3.34	Кригинг значения среднего	271
3.3.35	Простой кригинг	272
3.3.36	Проверка точности кригинговых оценок	274
3.3.37	Основные свойства кригинга	274
6.5	Практические рекомендации по использованию кригинга	275
3.3.38	Отрицательные веса кригинга [4]	275
3.3.39	Влияние параметров вариограммной модели на результаты кригинга	275
3.3.40	Эффект экранирования	278
3.3.41	Перекрестная проверка	279
3.3.42	Сведения о других видах кригинга	280
6.6	Примеры оценки месторождений с помощью кригинга	281
3.3.43	Общие сведения	282
3.3.44	Примеры использования кригинга	283

6.7	Оценивание общих запасов [4]	289
3.3.45	Общие сведения	289
3.3.46	Дисперсия распространения	289
3.3.47	Зона минерализации	291
3.3.48	Оптимальная сеть опробования.....	298
7	Оценка извлекаемых запасов.....	299
	Общие сведения.....	299
7.3	Влияние геометрической базы геологической информации на извлекаемые запасы – Эффект основания.	301
7.4	Дисперсия точечной пробы внутри объема.....	303
7.5	Дисперсия блоков v внутри блока V	304
7.6	Изменение основания: регуляризация.....	306
7.7	Информационный эффект оценки извлекаемых запасов.	308
7.8	Применение дизъюнктивного кригинга для оценки извлекаемых запасов.	310
7.9	Геостатистическое условное моделирование	311
3.3.49	Условные модели.....	312
3.3.50	Условное моделирование (УМ).....	313
3.3.51	Экспериментальная оценка изменчивости рудопотока на обогатительную фабрику. 314	
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	315
	Литература	316
	Приложение 1. Англо-русский словарь основных геостатистических терминов	317
	Приложение 2. Описание основных функций компьютерной системы ИСАТИС, разработанной компанией Геовариансес (Geovariances)	319

Введение

ЕДИНСТВЕННЫМ БОГАТСТВОМ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ЯВЛЯЮТСЯ ЕГО МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ. Поэтому строжайший контроль над их разумным и экономным расходованием, непрерывное и гибкое планирование горных работ, имеющее конечной целью – доходы акционеров, - это основа прибыльной работы производства в условиях жесткой конкуренции и меняющейся конъюнктуры рынка.

Сегодня жизнь требует от горных предприятий скачка на мировой уровень технологии. Это прежде всего означает переход к информационным технологиям, позволяющим получить максимально возможный эффект от использования минерального сырья.

К сожалению, вся имеющаяся литература по информационным технологиям в горном деле написана не на русском языке. В Вузах по-прежнему практически не готовят специалистов в этой области.

Эта книга написана для того, чтобы закрыть создавшуюся «брешь» и помочь специалистам, осваивающим сложные компьютерные системы, не знающим английского языка, быстрее пройти начальный этап этого непростого пути. Автор постарался отразить в ней свой более чем 15-летний опыт использования современных горных информационных технологий на многих реальных месторождениях СНГ.

У книги, я уверен, будет очень короткая жизнь, поскольку она написана «на скорую руку» и достаточно жестко привязана к конкретной версии системы Датамайн-Студио, которая только что выпущена на рынок. Все ускоряющийся технический прогресс очень быстро сделает рассматриваемые в книге технологии устаревшими.

К сожалению, автор знает системы Датамайн и NPV Scheduler больше других систем. Поэтому именно они выбраны в качестве базовых программ при изложении материала. Это в некоторой степени справедливо, т.к. именно Датамайн первой появилась в СССР (Якуталмаз, Костомукшский ГОК, Гипроникель и т.д.) и сегодня она является самой распространенной системой в России и в наибольшей степени освоена нашими специалистами. Тем не менее, в главе 1 приводятся основные сведения о большинстве других горных программах и даются адреса их Вебсайтов. Кроме того, независимо от используемой компьютерной системы, методы обработки информации остаются в основе своей одинаковыми. Существуют стандартные интерфейсы импорта/экспорта информации из одной системы в другую. Поэтому

Автор основное внимание уделил рассмотрению понятий и стандартов, используемых в главных горнодобывающих странах мира, не останавливаясь надолго на традиционных Российских представлениях и традициях. На наш взгляд, это оправдано, т.к. существующие у нас в стране стандарты и законодательные акты с достаточно большой скоростью приводятся к мировым, а рассматривать подробно какие-то промежуточные стадии их развития – неблагодарное дело.

Книга состоит из 2-частей. Первая часть, состоящая из 6 глав, содержит подробное описание процессов компьютерной оценки запасов минерального сырья, проектирования и планирования горных работ. Вторая часть посвящена основам линейной геостатистики, которая давно повсеместно используется во всем мире.

В книге не так много формул. Они находятся только там, где без них дотошный читатель не поймет, «что происходит?». Главный упор делается на описание практических шагов по использованию компьютеров в решении реальных задач горного производства.

Книга, прежде всего, адресована специалистам горных предприятий, геологических и проектных организаций СНГ, которые осваивают новые информационные технологии. Автор надеется также, что книгой заинтересуются и преподаватели Вузов.

ЧАСТЬ 1. Компьютерное развитие горных проектов

1 Современные горные компьютерные технологии

1.1 Общие сведения

Серьезные изменения, происходящие в экономике России и стран СНГ, вносят много нового в работу геологических и горнодобывающих предприятий. Изменяются формы собственности, иногда сокращаются объемы производства и услуг, повышаются требования к их качеству, увеличиваются производственные издержки в т.ч. - заработная плата персонала, особенно квалифицированных специалистов и т.п. При выходе горных предприятий на внешний рынок оказывается, что качество их продукции (по мировым стандартам) весьма низкое, и получаемые за нее доходы значительно меньше тех, которые получают аналогичные западные компании.

В этих условиях единственным выходом практически для каждой организации горно-геологического профиля является увеличение эффективности производства, т.е. всемерное снижение издержек производства при одновременном повышении качества выпускаемой продукции.

Одним из мощных инструментов для этого является компьютеризация, позволяющая значительно увеличить оперативность и полноту использования всей имеющейся (геологической, экономической, экологической и т.д.) на предприятии информации, а также обеспечить качественно новый уровень принятия оптимальных и гибких управленческих, проектных и плановых решений.

На каждом предприятии имеется широкий круг задач, связанных с обработкой громадного количества информации, многократным повторением однообразных расчетов, требующих вывода большого числа графических материалов. Ниже приведен примерный перечень таких задач, которые можно эффективно выполнять на компьютере.

Большинство предприятий самостоятельно ведет эксплуатационную разведку своих месторождений, а иногда и доразведку, в процессе которых можно полностью автоматизировать следующие расчеты:

- обработка данных любого опробования и составление геологических карт и разрезов;
- создание трехмерных (каркасных или блочных) моделей рудных тел, топографии, поверхностей тектонических нарушений и т.д.;
- исследование ковариационной геостатистической пространственной структуры анизотропных массивов;

- подсчет и погашение запасов с любыми заданными условиями и ограничениями ;
- быстрый пересчет ранее полученных результатов при появлении новой информации о месторождении;
- автоматизированный съем данных каротажа с датчиков в поле, перенос их в базу данных по месторождению и расчет по ним необходимых параметров;
- расчет количества и качества руды в блоках и на участках месторождения, намеченных к отработке в процессе планирования;
- оптимизация рудопотоков предприятия по количеству и качеству (включая перегрузочные и усреднительные склады) для обеспечения заданного качества руды, поступающей на переработку.

Среди горных задач, наиболее подходящими для автоматизации являются:

- оптимизация конечных контуров и календарного плана развития карьера по выбранному критерию;
- детальное 3-х мерное проектирование развития открытых и подземных горных работ с полуавтоматическим построением карьерных дорог и оценкой запасов месторождения, попадающих в контур отработки;
- многовариантное 3-х мерное планирование развития горных работ на любой период времени;
- проектирование буровзрывных работ на карьерах и шахтах;
- составление календарных графиков добычи руды на период от смены до всего срока отработки залежи;
- геомеханические , вентиляционные, инженерно-строительные и др. сопутствующие расчеты;
- изготовление всех видов чертежей, сопровождающих указанные выше расчеты.

Практически все регулярно проводимые маркшейдерские работы могут быть сегодня выполнены на компьютерной технике, начиная от использования оптических приборов с автоматизированным съемом информации и кончая выдачей готовых маркшейдерских чертежей и планшетов.

В приведенный перечень можно также включить экономические, инженерно-технические, гидрогеологические и другие задачи, для решения которых имеется соответствующее программное обеспечение и достаточный мировой опыт.

Можно отметить, что многие указанные выше работы ранее выполнялись (и в ряде случаев выполняются до сих пор) специализированными проектными, геологическими и научно-исследовательскими организациями. Теперь в этом нет необходимости, и предприятие, освоив компьютерную технологию, может выполнять большинство расчетов самостоятельно, привлекая посторонних специалистов - экспертов (обычно из небольших консультационных компаний) только для решения самых сложных проблем, требующих высокого уровня узкоспециальных знаний.

Говоря о горных компьютерных технологиях, можно выделить 4 главных их преимущества:

ПОЛНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ВО ВСЕХ РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧАХ, МАКСИМАЛЬНО ТОЧНЫЙ УЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ЗАПАСОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ;

ВОЗМОЖНОСТЬ МНОГОВАРИАНТНЫХ РАСЧЕТОВ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ И ПОЛУЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, ДАЮЩИХ БОЛЬШОЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ;

ВОЗМОЖНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РУДЫ;

АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ ЛЮБЫХ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ.

При этом надо обязательно иметь в виду, что первоначальный ввод информации, создание точных моделей месторождений и сети существующих выработок требуют иногда больших затрат труда и времени, сопоставимого с обычными ручными расчетами. Однако, эти затраты сторицей окупаются на последующих этапах работы.

Сегодня для решения специфических горных задач на рынке предлагается более 1000 разнообразных компьютерных программ, пакетов и систем. Естественно, что в этих условиях выбрать то, что наиболее подходит предприятию, очень трудно. Поэтому полезно прежде всего внимательно разобраться со своими потребностями, а также с предложениями различных продавцов.

Каждое предприятие уникально и имеет целый ряд специфических задач, учесть которые не может ни одна даже самая универсальная система. Таким образом, надеяться, что какая-то программа полностью решит все поставленные задачи - нереально.

В то же время практически все предприятия выполняют целый ряд стандартных расчетов, которые хорошо автоматизированы в коммерческих программных продуктах и могут быть эффективно использованы на большинстве карьеров и шахт.

1.2 Краткий обзор современного состояния программного обеспечения для горных предприятий

Уровень горных программ за последние тридцать лет серьезно повысился. Это привело к изменению самого характера деятельности горных компаний, а также к закономерному росту их производительности. Первая волна новых технологий была связана с созданием простых моделей месторождений для оценки тоннажа и содержаний. Автоматизация ручных операций позволила компаниям быстрее оценивать требуемые инвестиции. Эти технологии появились в начале 1960-х годов и привели к последующему скачку производительности [1]. После спада этой волны появилась вторая.

В начале 1970-х годов горная промышленность получила 3-х мерное цифровое блочное моделирование и геостатистический анализ ресурсов. Геологи научились использовать эти преимущества для прогнозирования запасов месторождений. Результатом стало улучшение качества и достоверности оценки ресурсов. Эта волна была довольно продолжительной, но ее действие закончилось в конце 1980-х.

Третья волна характеризовалась появлением 3-х мерного геометрического моделирования и визуализации. Эти инструменты дали геологам возможность рассматривать геологические структуры как 3-х мерные пространственные объекты и обеспечивать лучший контроль над созданием цифровых блочных моделей. Как и во второй волне, эта технология добавила новое измерение в методологию конструирования и анализа моделей. Несмотря на то, что эта волна начала спадать, долговременный эффект от появления визуализации не может быть переоценен.

В конце 80-х появились полностью компьютеризованные процессы: горное проектирование, оптимизация, календарное планирование. Эти преимущества снова увеличили производительность, но как и в предыдущей волне эта волна прошла свой пик и начала спадать в середине 90-х. Программное обеспечение для горного моделирования и проектирования сегодня превратилось в системы, которые отличаются интерактивной графикой, высокого качества визуализацией поверхностей и моделей объектов, а также дружественными интерфейсами пользователя. Недорогие «персоналки» теперь могут обеспечить сложное графическое и интерактивное автоматизированное проектирование. Самые современные компьютеры и программные средства помогают инженерам и геологам выполнять горное проектирование быстро и эффективно.

Однако, сегодня скачки производительности в горной промышленности существенно замедлились, т.к. горные предприятия применяют информационные технологии (ИТ) для улучшения отдельных процессов, а не в целом производства. Они тратят много усилий для автоматизации старых методов вместо того, чтобы изменить их. Следующая волна технологии, которая сейчас формируется, должна обеспечить динамическое улучшение производительности.

На рудниках обычно используются пакеты программ для геологии, горного планирования, маркшейдерии и различных производственных нужд. Эти программы

обычно или покупаются у специализированных компаний, или разрабатываются на самом предприятии. В любом случае эти программы автоматизируют решение отдельных задач и оцениваются в соответствии с тем, насколько они подходят для нужд конкретного производства. Грубо говоря, все эти продукты могут быть классифицированы следующим образом:

Горные системы общего назначения. Эти системы стандартно включают в себя такие разделы, как: геологическое моделирование, оценка запасов, проектирование и планирование горных работ, календарное планирование и маркшейдерия. Имеется 5 лидирующих в мире компаний (Gemcom, Maptek, Mintec, Surpac and Datamine), которые предлагают на рынке такие системы.

Специализированные горные программы. Сюда относятся специализированные программы для областей технологии, которые пока (полностью или частично) не обеспечиваются универсальными горными системами. Обычная тематика таких пакетов: оптимизация карьеров, календарное планирование, буровзрывные работы, вентиляция, геомеханика, экология и т.д. Существует большое количество таких пакетов, которые создаются специализированными компаниями, самими горными предприятиями или исследовательскими учреждениями.

Системы управления производством. Эта категория объединяет программы и оборудование, используемое для управления производством в реальном времени. Обычные направления использования: управление горным транспортом, экскаваторами, буровыми станками, и т.п. Эти системы предлагаются небольшим количеством компаний, среди которых (в области открытых работ) имеется 4 лидера: Modular Mining Systems, Wenco, Tritronics и Aquila. Все большее значение приобретает связь этих компаний с производителями горного оборудования, такими как Komatsu и Caterpillar.

Системы регистрации производства. Существует большое разнообразие таких систем, которые ведут производственный учет в реальном времени и формируют разнообразные отчеты. За редким исключением горные компании сами разрабатывают (и иногда продают) такие системы. В них очень мало общего, и часто они представляют собой смесь электронных таблиц и баз данных, разработанных местными программистами для нужд предприятия.

Сегодня на мировом рынке коммерческих компьютерных программ для горных предприятий работают десятки фирм, предлагающих более 1000 программных продуктов различного класса, предназначенных для автоматизации самых различных функций управления горным производством.

Основные компании представлены в следующем списке (по алфавиту):

BRGM
CARLSON SOFTWARE, INC
CMC LIMITED
DATAMINE - MINERAL INDUSTRIES COMPUTING LTD
ECS MINING SOFTWARE
EXPLORATION COMPUTER SERVICES, INC
FORSMAN CONSULTING ENGINEERS
FRACTAL GRAPHICS FOR MINING
GALENA
GEMCOM SERVICES, INC
GEOMEM
GEOSOFT
GEOSOLUTION RESOURCES, INC.
GEOSTAT SYSTEMS INTERNATIONAL, INC
GEOVARIANCES
KRJA SYSTEMS/MAPTEK
LTC PTY
LYNX GEOSYSTEMS, INC.
MASTER MINE
MICROMINE PTY. LTD.
MINCOM PTY LTD
MINECAD Systems

MINEMAP PTY LTD.
MINEMAX
MINESOFT LTD.
MINTEC INC
RAMCO INDUSTRIES LIMITED;
ROCKWARE
RUNGE MINING, INC.
SNOWDEN ASS.
SURPAC SOFTWARE INTERNATIONAL;
SURQUIK SOFTWARE
UNIVERSITY OF IDAHO;
VENTSIM
WHITTLE PROGRAMMING PTY. LTD (Сейчас принадлежит компании GEMCOM)

Геологоразведка и горная промышленность использует информационные технологии, чтобы объединять и эффективно использовать данные, получаемые из большого количества источников. Диапазон применения компьютеров в этих отраслях быстро расширяется, поскольку сейчас " традиционные " области применения компьютеров покрывают лишь маленькую часть реальных потребностей производства.

Вообще говоря, продавцы комплексных систем программного обеспечения для добывающих отраслей промышленности сегодня предлагают инструменты только для оценки запасов, отдельных операций проектирования и планирования горных работ. В то же время такие области, как геомеханика или расчет систем вентиляции, крепления электроснабжения и водоотлива для подземного рудника пока редко обеспечиваются эффективными компьютерными программами. Но ситуация очень быстро изменяется. Число предлагаемых новых горных компьютерных инструментов растет очень быстро.

Ниже главным образом будут рассматриваться коммерческие программные продукты западного производства, ориентированные на решение специфических горных, геологических и маркшейдерских задач. К сожалению многие отечественные программы этого направления пока трудно назвать коммерческими, хотя и здесь уже есть приятные исключения. Дальше всех в этом направлении продвинулись Фирма «ИНТЕГРА», Институты «Виогем», Гипроруда, Горный институт КНЦ РАН и некоторые другие коллективы, продукцию которых, я надеюсь, мы сможем скоро увидеть на рынке.

Все компьютерные программы можно также условно разделить на 3 больших класса по стоимости и доступности:

общедоступные программы (SHAREWARE), которые можно получить бесплатно, например по сетям Интернета.

недорогие и средней стоимости коммерческие программы, предлагаемые небольшими специализированными компаниями, например RockWare, Golden Software и т.п., и, наконец,

интегрированные системы, которые позволяют, не выходя за пределы данного программного продукта, выполнить целый спектр операций, начиная от обработки первичной геологической информации и кончая выдачей готовых чертежей спроектированного карьера или шахты.

1.3 Недорогие программы

Наиболее крупным поставщиком недорогих компьютерных программ в области наук о Земле является компания RockWare (<http://www.rockware.com/>), которая регулярно выпускает иллюстрированный бюллетень с перечнем и краткой характеристикой предлагаемых продуктов, количество которых более 500. Одни программы предлагаются бесплатно, другие имеют цену от десятков до нескольких тысяч долларов. Вы можете скачать на сайте компании демо-версии предлагаемых продуктов и даже рабочие версии, которые будут у Вас работать в течение определенного времени.



Компания развивает также свою систему для автоматизации геологических расчетов и создания чертежей «RockWorks2002», стоимость которой составляет \$1000.

Обычный тематический перечень программ включает в себя разделы:

- Системы автоматизированного проектирования
- Топография
- Климатология и погода
- Химия, кристаллография, минералогия и т.п.
- Обработка данных
- Оцифрование графической информации
- Горная и нефтяная Экономика
- Образование
- Геофизика
- Геомеханические расчеты
- Гидрогеология
- Теория распознавания образов
- Обработка каротажных данных
- Картирование и ГИС
- Математика
- Разные приложения
- Нефтяная геофизика
- Каркасное моделирование и расчеты объемов
- Статистика, геостатистика, графический анализ
- Структурная геология, стратиграфия и тектоника плит
- Моделирование поверхностей и построение изолиний

Если Вы небольшая компания или консультант, то перспектива потратить \$15,000 или намного больше, чтобы купить интегрированную систему, которая выполняет моделирование месторождений и горное планирование, трудна и, иногда, невыполнима для Вас. В свою очередь многие месторождения могут быть смоделированы и оценены небольшой системой или набором программ (Например - Rockworks 2002 и Surfer).

Мощные интегрированные горные системы (ИС) уже известны более 30 лет. В большинстве случаев они работают хорошо и продолжают предоставлять горным инженерам большой набор полезных инструментов для моделирования месторождений и горного планирования. Они способны обеспечить все (или некоторые) перечисленные ниже возможности: управление базой данных, всесторонняя обработка исходной информации, моделирование, горное проектирование и календарное планирование.

Однако, существуют причины, по которым пользователи стараются найти альтернативное программное обеспечение:

Интегрированные Системы не способны решить все их проблемы. Кроме оплаты за саму систему необходимо потратить много средств на начальное обучение персонала и освоение всех возможностей ИС.

С некоторыми программами ИС способны работать только эксперты, которые тратят много времени на изучение и использование системы.

Специфические задачи, такие как построение изолиний, могут быть легко и быстро выполнены с помощью недорогих программ. Эти же задачи в ИС часто требуют много времени и трудозатрат.

Стоимость ИС обычно слишком велика для небольших компаний и консультантов.

ИС часто используют собственный формат данных. Импорт/экспорт информации иногда затруднен и связан с потерей времени. Если даже существуют необходимые интерфейсы, то обычно требуется дополнительное редактирование введенных данных.

В некоторых ситуациях использование недорогих специализированных программ является оправданным. Эти программы обычно выполняют только часть функций, присущих ИС. Однако, почти 80% работ по моделированию, например, могут быть сделаны быстро и качественно (при минимальном обучении) с помощью недорогих программ. Эти системы требуют значительно меньшего времени на установку, меньше усилий на управление базой данных, ввод исходной информации и подготовку для вывода графики.

Легкие в использовании недорогие системы могут выполнять широкий круг задач, дополняющих возможности ИС, или могут использоваться самостоятельно для работ по моделированию (в простых условиях) и созданию различных карт. Их применение оправдано в следующих случаях:

- Результаты надо получить очень быстро.
- Требуется оперативная проверка новой информации и соответствия этой информации уже существующим данным. Многие ИС требуют нескольких предварительных операций даже перед тем, как рассчитать основные статистики или построить карту изолиний.
- Специалисты, знающие ИС, отсутствуют в офисе.
- Вам хочется, чтобы как можно больше персонала умело работать с компьютерами и быстро строить карты.
- Требуется быстро (вчерне) смоделировать простой объект, оценить запасы руды и начертить карты

Недорогие системы не выдают результатов с «изяществом», присущим большим ИС. Однако, Вы можете выполнить Вашу работу быстро и с достаточной точностью, а результаты могут выглядеть иногда не хуже, чем у ИС. Такие программы не созданы для моделирования и планирования работы больших и сложных объектов. Их масштаб – малые и средние месторождения, а также крупные, но очень простые залежи. Крупные предприятия могут использовать недорогие системы как инструмент для решения частных задач, например – создания планов изолиний, геологических сечений в отдельных частях месторождения, а также для некоторых экологических задач.

Недорогие системы являются альтернативой более сложным и дорогим ИС для моделирования и горного планирования. Любая новая программа должна хорошо стыковаться с уже имеющимися на предприятии системами. Если компания уже использует сеть и другие системы, то обычно существуют ограничения для использования полученных результатов в этих программах.

1.4 Интегрированные системы

Кроме недорогих программ на компьютерном рынке в настоящее время предлагается свыше 10 интегрированных систем. Обычный набор функций интегрированной системы включает в себя:

- Управление Базами Данных;
- Интерактивная 3-х мерная графика и картирование;
- Статистическая и геостатистическая обработка информации;
- Трехмерное моделирование геологических объектов и поверхностей;
- Проектирование открытых и подземных горных работ;
- Планирование развития рудников и календарное планирование;
- Маркшейдерские расчеты.

В системах разных компаний обычно предлагаются дополнения к стандартному набору, которые заметно расширяют возможности программного продукта. Большинство ИС работают с различными операционными системами (Windows, Unix и т.д.), на любых платформах, а также имеют интерфейсы для работы с практически любой периферией (плоттерами, дигитайзерами, сканерами, стримерами и т.д. и т.п.).

Они предоставляют пользователю колоссальный набор инструментов и стоят достаточно дорого (10-70 тыс. долларов и более в зависимости от количества модулей и числа пользователей). Большинство серьезных систем рассчитано на работу в многопользовательском режиме в сетях. Такая конфигурация позволяет очень быстро обрабатывать громадные объемы информации, одновременно запускать несколько программ, а также в полной мере использовать все возможности 3-х мерной динамической графики.

Ниже приведена краткая характеристика наиболее распространенных в мире интегрированных горных систем.



Vulcan

Австралийская компания KJRA Systems, являющаяся членом известной группы компаний MAPTEK « <http://www.maptek.com/> », разработала и продает мощную и достаточно дорогую интегрированную систему «**Vulkan**», имеющую большой набор модулей для решения самых разных задач в области геологии, горного дела, маркшейдерии, экологии:

- Набор программ для детальной обработки геологоразведочной информации
- Инструменты для моделирования геологических объектов, в т.ч. - месторождений нефти и газа
- Геостатистическое исследование месторождений и различные виды кригинга
- Моделирование и расчет гидрогеологических характеристик объектов
- Проектирование карьеров и подземных рудников на рудных и пластовых месторождениях
- Моделирование устойчивых бортов карьеров геомеханические расчеты
- Контроль качества добываемой руды
- Проектирование массовых взрывов на подземных рудниках
- Оптимизация календарного плана горного предприятия
- Проектирование генпланов предприятий
- Моделирование экологических ситуаций
- Детальные маркшейдерские расчеты, графика. Использование возможностей систем точного географического позиционирования (GPS)
- Возможности высокоточного лазерного моделирования объектов (I-Site)
- Интерфейсы для импорта/экспорта информации для большинства горных систем и общераспространенных пакетов программ
- Мощные средства для получения изображений и вывода графики

Система имеет более 250 установок по всему миру.



Mincom
The People. The Experience. The Vision.

MineScape

Австралийская компания Mincom Pty Ltd « <http://www.mincom.com/> » разработала и предлагает на рынке систему **Minescape** (а также программы Ellipse, MineStar и MineMarket), которая изначально была предназначена для угольных предприятий. Сейчас система может с успехом использоваться на горных предприятиях, разрабатывающих любые типы твердых полезных ископаемых. Компания предлагает не только компьютерные программы, но и готовые технические решения, разработанные на их основе.

Пакет **MineStar** включает в себя:

- Оптимизацию рудопотоков предприятия в реальном времени
- Контроль и управление работой рудничного оборудования

Пакет **Ellipse** позволяет:

- Управление и учет работы рудничного транспорта, ведение базы данных по всем потокам - от капитальной вскрыши до получения металлов на заводе.
- Ведение учета тоннажа и работы оборудования в одной системе, формирование отчетов о процессах в реальном времени с указанием производственных затрат
- Контроль за работой, простоями и ремонтами горного оборудования.

Пакет **MineScape** включает в себя:

- Возможности моделирования и оценки месторождений
- Инструменты для планирования работы карьеров и шахт

- Возможность управлять этими процессами с учетом разных критериев и ограничений.

Пакет **Mine Market** позволяет:

- Получать информацию о содержании, местонахождении и качестве всех видов продукции предприятия в течение прохождения ими производственного цикла
- Следить за продажей выпущенной продукции в соответствии с заключенными контрактами, уровнем цен и получаемой выручкой.



Datamine

Компания Mineral Industry Computing Ltd « <http://www.datamine.co.uk/> » разработала и постоянно совершенствует интегрированную систему ДАТАМАЙН. Не так давно была выпущена принципиально новая версия – Датамайн-Студио.


Это одна из наиболее распространенных в мире систем (более 300 пользователей, в т.ч : МНПО «Полиметалл», АК «Алмазы России-САХА», Институт Гипроникель, АО «Карельский Окамыш»), позволяющая специалистам эффективно решать широкий спектр геологических, горных и маркшейдерских задач. Она работает на всех стандартных платформах со всеми главными операционными системами. Система состоит из Ядра и Модулей Расширения, которые выбираются пользователем применительно к своим потребностям.

Основные модули Датамайн-Студио:

- Моделирование месторождений.
- Каркасное моделирование пространственных тел и поверхностей.
- Моделирование складчатых структур
- Многомерная статистика
- Геостатистический анализ месторождений
- Маркшейдерские построения и расчеты.
- Проектирование и планирование открытых горных работ
- Календарное планирование горных работ
- Оптимизация процесса усреднения руды.
- Краткосрочное планирование горных работ.
- Система управления запасами руды на складах
- Проектирование и планирование подземных горных работ.
- Проектирование массовых взрывов на подземных рудниках.
- Оптимизация размещения и выемочных блоков на карьерах и подземных рудниках методом плавающего конуса
- Трехмерный Стереонет,

Появившаяся недавно система Датамайн-Студио имеет много возможностей и усовершенствований, которые подробно описаны в главе 3.

Кроме самой системы Датамайн компания продает пакет программ (систему)

NPV Scheduler. 

Этот пакет состоит из 4-х частей, выполняющих:

- построение конечного оптимального карьера (алгоритм Lerchs-Grossman) и фаз его развития (MAXIPIT)
- создание этапов отработки месторождения (PUSHBACKS)
- создание оптимального календарного плана отработки карьера (PRODUCTION SCHEDULE).
- оптимизацию системы рудопотоков горного предприятия

Первая программа – MAXIPIT использует блочную модель месторождения, импортируемую из Датамайн (или любых других горных пакетов) без предварительного

создания регулярной модели. Далее она создает собственную экономическую модель месторождения с учетом разработки и переработки даже очень сложных многокомпонентных руд с различными ценами, затратами и параметрами извлечения.

Затем создается модель безопасных бортов будущего карьера, которые могут иметь очень сложную форму и углы наклона. Задаются коэффициенты дисконтирования и производительность карьера, а также максимальное количество промежуточных оптимальных карьеров (зон), из которых в будущем может быть выбран действительно оптимальный карьер.

Оптимизация может быть произведена по различным критериям, в т.ч. – по критерию, созданному пользователем.

Наиболее часто используемый критерий – максимального значения приведенного дохода за весь срок существования предприятия – max NPV (Net Present Value).

На выходе из программы для каждого карьера рассчитывается:

- Рекомендуемое экономическое бортовое содержание для всех полезных ископаемых
- Поток денежных средств (CashFlow), \$
- Количество горной массы в контуре карьера, тонн
- Количество руды разных видов с учетом разубоживания, потерь и бортового содержания, тонн
- Количество всех извлекаемых металлов **после переработки руды** (золото и серебро в слитках), кг
- Оценка NPV, \$
- Время работы карьера, лет

Программа рассчитывает также оптимальную последовательность извлечения запасов месторождения.

Вторая программа пакета позволяет разбить карьер на наиболее выгодные этапы (pushbacks) с соблюдением всех горных ограничений и сохранением максимально возможного выбранного экономического критерия.

Третья программа создает оптимальный календарный план на любой требуемый отрезок времени. При этом пользователь может использовать практически любой из требуемых спецификой производства экономических или технических критериев оптимизации. Можно очень быстро рассчитать несколько программ для различных критериев и выбрать наилучший из них.

Четвертая программа оптимизирует производительность предприятия и бортовое содержание в поставляемой на переработку руде. Она позволяет включать в процесс оптимизации все имеющиеся на карьере рудные склады, а также потоки руды, поставляемые с других горных предприятий.

Все программы имеют современный дружелюбный интерфейс пользователя и позволяют использовать импорт и экспорт практически любых данных. В конце работы каждой программы инженер получает подробный отчет о результатах расчетов.

Программы позволяют также выполнять разнообразную графику для последующего использования ее в анализе результатов и в различных отчетах:

- Планы, разрезы и изометрические проекции моделей месторождения и карьеров
- Графики изменения всех используемых и полученных параметров во времени и кумулятивные графики.



Lynx

Южноафриканская (бывшая канадская) компания Lynx Geosystems S.A. (Pty) Ltd «<http://www.lynxgeo.com/>» предлагает на рынке свою систему, которая включает в себя стандартный набор функций с развитым геостатистическим модулем и ориентацией на решение экологических проблем. Она включает в себя следующие основные модули:

- 3-х мерное геологическое моделирование объектов и поверхностей

- Геостатистика и оценка запасов месторождений
- Проектирование и планирование подземных горных работ
- Проектирование и планирование карьеров с их оптимизацией
- Инженерно-геологические расчеты, проектирование рудных складов и отвалов
- Программа «Геолог» для сбора и обработки полевой геологической информации
- Планирование горных работ, управление работой оборудования и рабочей силой
- Создание рабочих чертежей для горного производства
- Маркшейдерские расчеты



Medssystem (Сейчас – MineSight)

Американская компания Mintec Inc. «<http://www.mintec.com/>» сравнительно давно (с 60-х годов) одна из первых вышла на рынок со своей интегрированной системой **Medssystem**. Фирма насчитывает более 300 пользователей и в последнее время стремится дать системе второе дыхание. Новое название главного компьютерного продукта - MineSight

Система особенно широко распространена на горных предприятиях США и Канады. Она имеет кроме Ядра 5 основных модулей, каждый из которых – набор нескольких или многих специализированных программ:

- Геологический модуль:
 - Обработка данных по скважинам, статистика и композирование
 - Блочное моделирование
 - Геостатистика
 - Оценка запасов руды
- Горно-инженерный модуль (карьеры):
 - Оптимизация карьеров (Лерч-Гроссман, плавающий конус)
 - Оценка извлекаемых запасов
 - Проектирование карьеров
 - Календарное планирование
- Планирование горных работ:
 - Система контроля качества руды
 - Краткосрочное планирование горных работ
 - Блочное моделирование на основе скважин БВР
 - Проектирование размещения скважин в блоке
 - Маркшейдерские расчеты
- Проектирование подземных рудников:
 - Системы горных выработок
 - Потери и разубоживание
 - Оценка извлекаемых запасов
- Моделирование пластовых месторождений:
 - Трехмерные модели пластов
 - Проектирование отработки пластовых месторождений.

Кроме названной системы в перечень продуктов компании входят:
Visualizer – программа для 3-х мерного изображения данных на экране
Acquire – оптимальное управление данными геологоразведки и горного производства
DSS – система кодирования и охраны информации



Gemcom

Система GEMCOM разработана канадской компанией Gemcom Software International Inc. «<http://www.gemcom.bc.ca/>» и включает в себя все требуемые функции, начиная от ввода первичных данных и заканчивая блочным моделированием месторождений, проектированием и планированием открытых и подземных горных работ.

Система является одной из самых распространенных в мире и включает в себя следующие основные модули:

- Управление данными геологоразведки
- Геологическое опробование
- Моделирование месторождений
- Геомеханические расчеты
- Проектирование карьеров и шахт
- Планирование горных работ
- Календарное планирование и производственная программа
- Контроль производства
- Управление работой горного оборудования
- Экологическое моделирование
- Управление документооборотом предприятия
- Маркшейдерские расчеты

Программы системы построены таким образом, чтобы работать в отдаленных местах, главным образом – на горных предприятиях, *при минимуме технической поддержки и обучения*. В последнее время Джемком разработал на основе своей системы специальный продукт, который они назвали IRAMS (**The Integrated Resource Asset Management System**). Это интегрированная компьютерная система управления минеральными ресурсами, которая может использоваться на большинстве горных производств и выполнять различные операции, характерные для горных предприятий. Она способна управлять запасами руды и оптимизировать оценку минерального сырья, планировать горные работы и погашение запасов, что является стержнем любого горного производства.

В настоящее время система появилась и в России. В 2000 году ее приобрел ПАО «Норильский никель», а также некоторые другие горные предприятия.



Surpac

Австралийская компания Surpac Software International «<http://www.surpac.com/>» является автором широко распространенной в мире (около 1000 пользователей), достаточно развитой и мощной системы **Surpac Vision**, а также других продуктов:

Quarry	Современный пакет для горных предприятий химической, неметаллорудной и строительной промышленности. В него включены функции проектирования карьеров и планирования производства.
Scheduling	Пакет создан для всестороннего календарного планирования любого горного производства.
Xplorpac	Набор современных программ для геологоразведочных организаций, который автоматизирует практически все расчеты, связанные с этими работами, в т.ч. и в полевых условиях.

DrillKing	Обработка данных по разведочным скважинам.
------------------	--

Система **Surpac Vision** – состоит из следующих модулей:

- Моделирование и оценка запасов месторождений, включая геостатистику
- Проектирование картеров
- Проектирование подземных рудников
- Маркшейдерские расчеты
- Контроль качества рудопотоков
- Календарное планирование
- Обработка геологоразведочной информации
- Обработка данных по скважинам, включая каротаж

1.5 Другие системы и программы

Techbase

Американская компания Minsoft Ltd. «<http://www.techbase.co.nz/>» предлагает на рынке пакет программ Techbase, который развит преимущественно в своей геологической части и может быть с успехом применен для 3-х мерного моделирования месторождений, геологических представлений и оценки запасов руд. В пакете есть отдельные модули, с помощью которых можно выполнять некоторые функции проектирования и планирования открытых и подземных горных работ, а также экологические, гидрогеологические и геомеханические программы. Пакет может работать на любых современных типах компьютеров, включая Macintosh.

В России этот пакет эксплуатируется в Институте Гипроцветмет и на Михайловском ГОКе.



Geostat

Канадская компания Geostat Systems International Inc. «<http://www.geostat.com/>» разработала и продает несколько пакетов программ для моделирования месторождений, оценки запасов и планирования горного производства. Кроме того, клиентам предлагается свободный выбор из более чем 50 модулей для составления любой конфигурации пакета.

Сейчас система состоит из следующих пакетов:

SectCad - Интерактивное моделирование месторождений с помощью геологических сечений.

BlkCad - Интерактивное блочное моделирование месторождений

Geostat - Статистика и геостатистика (моделирование вариограмм, кригинг и т.д.)

GeoBase – хранение и обработка информации по скважинам.



GDM

Французская геологическая служба BRGM «<http://www.brgm.fr/logiciels.htm>» создала Интегрированную систему GDM, которая получила сравнительно небольшое распространение в мире – более 100 пользователей, в том числе компании, разрабатывающие нефтяные и газовые месторождения.

Она также имеет модульную структуру и состоит из более, чем 80 подсистем, из которых каждый пользователь может составить подходящую для своих нужд конфигурацию.

Система имеет очень развитую геостатистическую часть и гибкие картографические функции. Учитывая тесную связь с геологическим ведомством, в составе программного продукта имеются мощные средства для обработки и анализа геофизических, геохимических данных. Кроме оценки запасов руд и горного планирования система позволяет оценивать ресурсы подземных вод и последствия различных экологических загрязнений: а также производить проектирование туннелей, дамб, подземных хранилищ и т.п.

MICROMINE

Пакет Майкромайн (**Micromine**) разрабатывался австралийской фирмой Micromine Pty «<http://www.micromine.com.au/>» с 1984 г. главным образом для геологической индустрии. Он имеет много процессов и инструментов для решения задач, возникающих при разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых. Одна из основных задач пакета - это моделирование месторождений и оценка запасов. Программа разработана под Windows/NT и совместима с любыми базами данных.

Пакет имеет полный набор инструментов для решения следующих задач:

1. Создание баз данных и работа с ними.

Базы данных геологоразведочных организаций создаются и поддерживаются в пакете в табличном формате. Данные могут импортироваться в пакет из любых стандартных продуктов Windows или текстовых форматов, вводиться дигитайзером или импортироваться из систем GPS.

2. Проверка данных опробования и геологической документации на предмет возможных ошибок при их вводе.

3. Создание графики: разрезов, планов, трехмерных изображений с выводом любых данных (результаты опробования, геологические коды, гистограммы, заливки и пр.).

4. Классический статистический анализ геологоразведочной информации (опробование, геохимия, геофизика) с выводом на печать графиков, гистограмм, таблиц и результатов их анализа.

5. Интерактивная трехмерная интерпретация геологических разрезов и планов (геология, минерализация и пр.) с кодировкой каждого периметра.

6. Интерактивное трехмерное каркасное моделирование рудных тел, геологических формаций и поверхностей.

7. Полный геостатистический анализ любых трехмерных данных, включая расчет и моделирование вариограмм, карт вариаций изменчивости и оценки пространственной анизотропии минерализации.

8. Построение блочных моделей с заданным размером элементарных блоков.

9. Интерполяция содержаний в элементарных блоках моделей, используя известные алгоритмы и кригинг.

10. Возможность оценки запасов методом разрезов, в пределах каркасных моделей или с использованием блочных моделей.

11. Трехмерная визуализация любых данных, поддерживаемых Micromine с выводом их на печать.

Кроме того, пакет имеет модули и процессы для ввода и обработки:

- Геохимических и геофизических данных;
- Геодезических данных с возможностью трансформации географических сетей;
- Горных данных с возможностью проектирования карьеров и буровзрывных работ.

При обработке информации в пакете предусмотрены макросы, которые значительно облегчают эту работу.

В настоящее время пакет русифицируется.

WHITTLE (сейчас – часть компании Gemcom)

Австралийская компания Whittle Programming «<http://www.whittle.com.au/>» заслужила всеобщее признание в мире своими пакетами программ для оптимизации карьеров Three-D и Four-D. В них эффективно используется алгоритм Лерча-Гроссмана, и они включены практически во все программные продукты, перечисленные всит. Кроме этих программ у фирмы есть пакет Opti-Cut, предназначенный для перспективной оптимизации бортового содержания при отработке месторождений открытым способом.

Не так давно компания выпустила на рынок еще 2 новых продукта: Four-X и FXMW.

Пакет Four-X может анализировать сложные многоэлементные месторождения с X полезными элементами или видами продукции горного предприятия. Все функции программы Four-D при этом сохраняются, включая обработку данных по многим типам пород и вывод информации в формате электронных таблиц. Кроме того, Вы можете задать извлечения для каждого процесса и элемента (товара), а также производственные затраты для каждого извлекаемого элемента. Каждый элемент рассчитывается отдельно, поэтому нет надобности вводить категорию условного металла, как это практиковалось в программе Four-D. Вы можете также задавать цены и прочие условия для каждого элемента.

Второй продукт - FXMW. Используя его, пользователь задает множество оптимальных оболочек карьера и множество правил, определяющих необходимые размеры элементов горных работ в карьере. После этого модуль FXMW будет проверять оптимальные карьеры на соответствие горным ограничениям. Результатом будет множество практических оболочек оптимальных карьеров, созданных автоматически.

GALENA

Компания BHP Engineering «<http://www.slope-analysis.com/>» из Австралии разработала и продает пакет программ GALENA для геомеханического расчета устойчивых углов откоса бортов карьеров. В программе используются несколько альтернативных методов расчетов, которые позволяют быстро получить безопасные параметры бортов сложной конструкции в самых неблагоприятных природных условиях. Многие производители горных компьютерных систем включили этот пакет в состав своих продуктов.

ПРОГРАММЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

На рынке сегодня предлагается 2 работающие в среде Windows программы для моделирования систем вентиляции подземных рудников.

Австралийский пакет VENTSIM

«<http://dialspace.dial.pipex.com/town/place/vy12/OldGeoMEM/products/ventsim.html>» позволяет 3-х мерное моделирование сети подземных выработок с расчетом всех параметров воздушного потока и загрязнений. Быстрые перерасчеты позволяют многовариантные эксперименты с различными характеристиками вентиляторов и других устройств, что обеспечивает высокую достоверность получаемой информации.

Американский пакет **VnetPC** «<http://www.mvsengineering.com/>», используемый на многих рудниках мира, наиболее близок к Российским условиям и правилам безопасности и позволяет решить практически все перечисленные выше задачи, правда с несколько худшими чем у пакета Ventsim возможностями графического представления вентиляционных сетей.



Runge Mining Pty Ltd.

Эта австралийская фирма «<http://www.runge.com/>» разработала и продает набор мощных программ для использования в горной промышленности. В частности предлагаются следующие основные пакеты:

ХРАС - База Данных по руднику и автоматическое многовариантное календарное планирование открытых и подземных горных работ. При этом производится отбор выемочных блоков и расчет доли каждого из них в рудопотоке для получения требуемого качества и тоннажа руды, поставляемой на переработку. Система может учитывать много видов продукции с разнообразными контролируемыми показателями качества для каждого. Одна из функций системы – оценка бортовых содержаний в руде на основе анализа ситуации на мировых рынках.

XERAS - Финансовое моделирование, расчет калькуляции себестоимости, экономические расчеты. Программа работает в среде Windows и легка в освоении. Она в отличие от распространенных аналогичных программ для Электронных Таблиц

позволяет более дружелюбный интерфейс и легкую передачу данных между пользователями. В программу включены множественные функции анализа риска и чувствительности финансовых моделей.

1.6 Особенности современного развития горных информационных технологий и компьютерного обеспечения

Все вышеперечисленные и некоторые другие компьютерные системы работают в разных службах предприятия, как правило, с одними и теми же данными. Количество перерабатываемой информации обычно очень велико и часто превышает сотни мегабайт. Тем не менее, эти программы обычно работают независимо, хотя должен в принципе возникать вопрос, почему они не взаимодействуют более тесно. Информационные потоки на предприятиях достаточно беспорядочны и хаотичны и обслуживают только непосредственные сиюминутные потребности каждого индивидуального пакета программ. Информация, которая может оказаться критической для рудника, оказывается скрытой в этом множестве связей и разных форматов, представляющих часто собственность фирм, поставляющих программы. Такой тип обмена информацией неэффективен, т.к. он не дает доступа к действительно важным для жизни производства данным. Это одна из главных причин низкой производительности и необоснованного принятия решений.

Главными проблемами являются:

Обособленные технологии. Существующая практика создания компьютерных программ и систем ведет к появлению множества независимых и неэффективных «островков технологии», когда разные продукты от разных продавцов используются для решения разнообразных, но, часто, взаимосвязанных проблем. Все эти продукты имеют несовместимый формат данных и методологию их обработки. С течением времени много внимания уделяется развитию этих систем, но мало действий делается для подгонки их к реальным системам управления горными предприятиями. Поэтому эти продукты становятся «островками технологии».

Множество форматов данных. Так как данные последовательно проходят через каждую используемую на предприятии систему, они дополняются, модифицируются и развиваются. Каждое применение сохраняет данные в разной форме, обычно – в особом формате, который непосредственно может быть использован только этой же программой. Когда эта информация должна использоваться другой программой, она требует операций экспорта/импорта обычно через ASCII формат. В некоторых случаях эти переходы настолько затруднены, что легче бывает ввести данные заново.

Дублирование и избыточность данных. Данные, передаваемые из программы в программу, обычно переформатируются и модифицируются, чтобы лучше соответствовать каждой операции. В большинстве случаев эти процессы создают множество копий аналогичных данных на многих компьютерах рудника. Даже, если нет проблем с дисковым пространством, хранение тех же данных на нескольких компьютерах приводит к ситуации, когда невозможно определить, какая информация более свежая. В некоторых случаях это может привести к серьезным нарушениям работы предприятия. Отсутствие взаимодействия данных часто – путь к потере целевой критической информации на многих стадиях горного производства.

Недостатки централизованной отчетности и доступа к информации. Наличие множества копий данных в разных форматах и на разных компьютерах делает невозможным свободный доступ к ним и централизованную отчетность.

Взаимодействия между службами предприятия являются очень важным аспектом любого производства. Как процесс, добыча руды опирается на получаемую информацию. Эффективное взаимодействие подразумевает, что службы получают и передают верную информацию в нужное время. Однако, многие горные процессы испытывают задержку во взаимодействиях, т.к. деловые отношения не построены так, чтобы обеспечить эффективные потоки информации. Операторы одной службы могут необоснованно ожидать информацию от другой службы, даже когда она доступна в другом месте. Это потерянное время измеряется в единицах производительности, и если оборудование стоимостью миллионы долларов простаивает, то проблема становится критической в смысле возрастания себестоимости руды.

Важнейшие решения принимаются на основе неполной и/или некорректной информации. Ежедневно принятие решений руководителями затрудняется тем, что инженеры и техники тратят значительное время на поиск, извлечение и переформатирование нужных данных, произведенных разными программами, вместо того, чтобы анализировать эти данные и эффективно их использовать. Реакция на изменения в процессах бывает очень медленной, т.к. руководители не имеют своевременной соответствующей информации. Конечным результатом этих проблем является избыток данных, но вместе с тем – потеря нужной информации.

Трудность выполнения технического аудита. Различные процессы, используемые для создания моделей месторождений, проектирования и планирования горных работ, являются достаточно сложными, требующими задания множества исходных параметров и методик расчетов. Часто они запускаются многократно с разным набором данных. Восстановление информации о параметрах каждого процесса является трудным, а использование многих систем и несовместимых стандартов, мешает восстановить информацию о деталях, сопровождающих любые автоматизированные процессы.

Обучение и поддержание квалификации персонала. Горные предприятия часто размещаются в отдаленных районах, где создание постоянного штата часто является проблемой. Вахтовый метод работы затрудняет проблему, поэтому часто делается лишь поверхностное обучение, и неопытные работники выполняют подчас важные операции, с которыми они почти не знакомы.

Недостаточное понимание значения информационных технологий (ИТ). Горная промышленность печально известна своим недопониманием значения ИТ. Эта отрасль традиционно тратит намного меньше средств на ИТ, чем другие отрасли тяжелой промышленности (доля годового бюджета на эти цели составляет менее 1% по сравнению с 3-6%). Львиная доля этих денег идет на покупку коммерческих программ, а не на технические программы, которые могут принести больше прибыли. Кроме того, решения о выборе и приобретении ИТ делаются пользователями технологии, в результате чего интересы корпорации и высших структур часто игнорируются.

Результатом этих проблем очень часто является потеря производительности, эффективности и неполное использование возможностей горного производства.

Чтобы принять правильное концептуальное решение проблемы ИТ, необходимо сделать шаг назад от детальных требований каждой службы горного предприятия, рассмотреть работу производства в целом, понять систему информационных потоков и как они влияют на важнейшие характеристики процессов. Анализ процесса производства в целом позволяет принять правильное решение с помощью современной методологии ИТ. Этот подход позволяет понять, что ключевым аспектом деятельности любой горной компании является месторождение (ресурсы) и, что правильное планирование и управление запасами руды является ключом к достижению высокой доходности производства. Также следует понимать, какая информация является самой важной, и какие результаты будут показывать насколько хорошо в компании налажен процесс планирования и управления.

Современный подход к горному планированию – «стратегический» подход. Он предполагает значительно большую роль планирования, чем было раньше, и принимает во внимание высокую степень риска, свойственную всем горным процессам. Некоторые ключевые элементы стратегического планирования перечислены ниже:

- Управление бизнесом и техническим риском за счет улучшения качества минеральной продукции
- Увеличение технической достоверности информации
- Использование более совершенной системы планирования, которая строится не только на календарном плане горных работ и производственной программе, но и на бизнес-плане предприятия.

Процесс планирования должен быть настроен на значительно большее число аргументов, чем только горные ограничения и программу извлечения запасов руды. Он должен учитывать громадное количество непредсказуемых и неопределенных факторов, связанных с ценами на рынке, не подтверждением геологических запасов, изменением производительности отдельных процессов, учетом интересов акционеров и т.д. Все это необходимо согласовать с интересами широкого круга заинтересованных лиц, которые участвуют на каждом этапе горного производства,

начиная от операторов оборудования, технического и управленческого персонала и кончая Советом Директоров компании.

Эффективное доведение (доступность) этой важной информации (не только данных) до всех заинтересованных лиц является ключевым моментом успешной работы предприятия.

2 Основные понятия, показатели и этапы освоения месторождений твердых полезных ископаемых[1].

2.1 Основные понятия

Одно из первых понятий, с которым сталкиваются специалисты горной промышленности, и которое они должны твердо усвоить, - это определение "руды". Одно из наиболее ранних определений в западной литературе дано ниже:

«РУДА - это металлосодержащий минерал или смесь металлосодержащих минералов, перемешанные с породой, которые с точки зрения горняка могут быть отработаны с прибылью или с точки зрения металлурга могут быть переработаны с прибылью.»

Это определение еще соответствует ранней традиции делить месторождения на 2 группы: металлические (руда) и неметаллические. Сейчас применение слова "руда" распространено и на неметаллические полезные ископаемые, поэтому изменилось и определение термина «руда», которое сейчас используется в более упрощенном виде.

«РУДА - это природная смесь одного или более твердых минералов, которые могут быть отработаны, переработаны и проданы с прибылью.»

Здесь полезно вспомнить, что означают термины, составляющие данное определение.

Ключевая концепция - прибыль. В обычном упрощенном понимании Прибыль (P) равна разности между размерами Дохода (D) от продажи продукции и Себестоимости (C) этой продукции, т.е.:

$$P = D - C \quad (2.1)$$

В свою очередь Доход равен произведению количества проданной продукции (Q) на среднюю цену единицы (De). Затраты равны произведению количества проданной продукции на себестоимость единицы (Ce).

Тогда:

$$P = Q(De - Ce) \quad (2.2)$$

Добываемые при разработке месторождений полезные ископаемые поступают на мировой рынок от горных предприятий, разбросанных по всему миру. Цена, получаемая за эти минералы, определяется мировым соотношением "предложение-спрос".

Следовательно, компонент цены в последнем уравнении в основном определяется независимо от той или иной горной компании. Таким образом, горный инженер может реально повлиять лишь на вторую составляющую уравнения - затраты.

Вместе с тем все время появляются новые технологии, за счет которых можно уменьшить затраты, но они очень быстро распространяются и появляются повсеместно. Следовательно, чтобы обеспечивать гарантированную прибыль в течение длительного времени горный инженер должен постоянно проверять и оценивать все возможные для своего предприятия пути сокращения затрат. Это достигается за счет лучшего знания месторождения, а также - используемой (и потенциальной) технологии и механизации добычи руды. Сокращение производственных затрат за счет повышения эффективности работы предприятия и безопасности (в т.ч. - экологической) горных работ является серьезной проблемой, и будет еще важнее в будущем - с возрастанием глубины горных работ и ужесточением законодательных и нормативных ограничений.

Если предприятие перестает давать прибыль, то это оборачивается катастрофой для многих людей, связанных с данным производством, большинство которых при этом теряет работу.

2.2 Стадии развития горного проекта.

В мировой практике различают 3 основные стадии освоения месторождения:

- геологоразведка (exploration),
- развитие (development)
- разработка (production stages).

Геологоразведка включает в себя процессы поиска месторождения и последующего его изучения до получения достоверной информации о строении и залегании рудных тел.

Стадия Развития включает в себя комплекс работ, выполняемых на месторождении (после окончания геологоразведки), с целью обеспечения достаточного количества и качества запасов для эффективной добычи и переработки руды.

Стадия Разработки месторождения обеспечивает превращение добываемого на месторождении полезного ископаемого в товар, возможный к продаже на мировом рынке.

Эта классификация, несколько отличаясь от принятой в России, в основном включает в себя все стадии, которые необходимо «пройти» в любой стране для подготовки минеральных ресурсов к эксплуатации.

На рис. 2.1 показан в виде диаграммы обычный процесс освоения месторождения. Как можно увидеть, положительные изменения в ситуации на рынке создают условия для возрастания спроса на минеральные ресурсы и возобновления процесса инвестирования финансовых ресурсов в разработку новых месторождений.

Изменение мировых цен и развитие технологии приводят к появлению интереса к забалансовым месторождениям. Эти месторождения должны быть, прежде всего, тщательно изучены для определения их экономической эффективности. Такой процесс оценки и является стадией планирования ("planning phase") проекта. Результатом этого исследования является Технико - экономическое обоснование или «feasibility report». После его завершения принимается решение: продолжать развитие проекта или нет. Если принято положительное решение, то предпринимается детальное исследование возможностей рудника и Обоганительной Фабрики. Это называется стадией планирования (рис. 2.2), за которой следуют стадии инвестиций или проектирования и стадия строительства предприятия (planning, implementation, investment, design and construction phase).

Конечным этапом процесса является разработка месторождения (production или operational phase), в процессе которой руда извлекается и перерабатывается. В конечном итоге продукция горного предприятия продается на рынке.

Участие горного инженера в этом процессе начинается на стадии планирования и продолжается во всех последующих этапах.

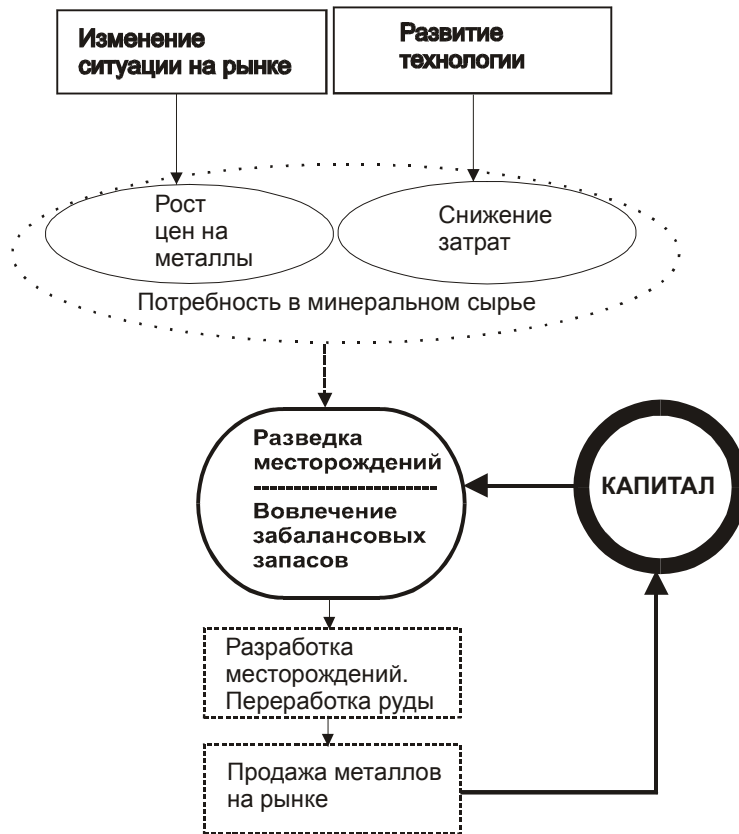


Рисунок 2.1. Диаграмма процесса освоения ресурсов минерального сырья

На рис.2.2 показана связь различных фаз развития проекта во времени. Фаза реализации проекта (implementation phase) состоит из 2-х периодов:

- проектирования и строительства объектов,
- обкатки оборудования и настройки процессов.

Стадия проектирования и строительства включает деятельность по проектированию предприятия, обеспечению стройки всем необходимым и непосредственно строительству. Это период наибольших значений капиталовложений в проект, а экономия средств здесь достигается за счет соблюдения и минимизации сроков строительства.

Вторая стадия - обкатка (настройка) технологии (the commissioning period). В это время производится опробование всех компонентов технологии и подготовка их к началу работы предприятия. Обычно это делается без использования какого-либо сырья и руды. В практике часто недооценивают степень важности этой стадии.

Стадия производства также имеет 2 периода. Начальный период обычно стартует с поступления первых руды на переработку и заканчивается, когда качество и количество продукции выходит на проектный уровень. Вторая стадия - нормальная эксплуатация предприятия.

Как можно увидеть из рис. 2.2, стадия планирования дает громадную возможность минимизировать капитал и производственные затраты проекта и в то же время - максимизировать производительность и прибыльность предприятия. С другой стороны, ни одна из фаз проекта не содержит гарантии технического или финансового краха проекта, что является свойственным этой фазе планирования.

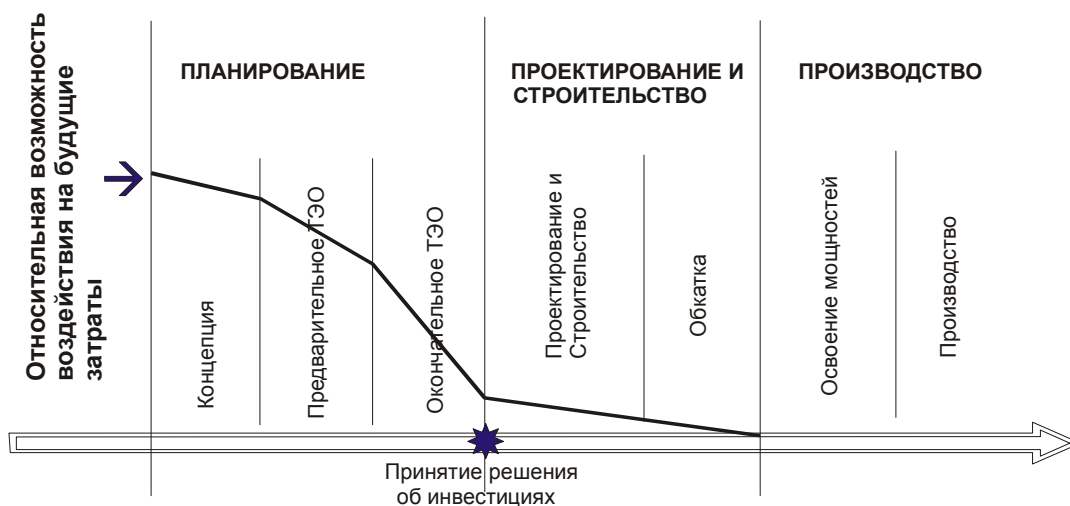


Рисунок 2.2. Стадии развития горного проекта

В начале концептуального изучения проекта имеются неограниченные возможности влияния на предстоящие затраты горного предприятия. После того, как принимаются те или иные решения (вне зависимости правильные или нет), возможности их влияния на уровень предстоящих затрат сильно уменьшаются.

Потенциальное влияние проекта на затраты уменьшается тем больше, чем больше решений принято на стадии проектирования. В конце строительства предприятия этих возможностей уже не бывает.

2.3 Классификация и оценка запасов полезных ископаемых

На рис. 2.3 показана принятая на Западе 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 ресурсами 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 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) 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 установленных ресурсов, которые удовлетворяют условиям, классифицирующим руду, как запасы.

При классификации запасов должно быть установлено, какой материал оценен: в недрах или извлекаемый. При оценке руды в недрах должен быть определен уровень потерь руды при ее 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', обрабатываемые 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. Введено понятие балансовых и забалансовых запасов. В отличие от западных систем, однако, здесь до сих пор чувствуется влияние концепции государственного контроля за 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).

Методы компьютерной оценки запасов еще не нашли свое отражение в Российском законодательстве о недрах. Здесь по-прежнему используется и

рекомендуется традиционный метод – по ближайшей пробе. Геостатистическая оценка месторождений также пока не нашла в России широкого применения.

Кроме описанной в начале раздела классификации, на Западе распространены еще, по крайней мере, 2 других (но в принципе – похожих) классификации. Каждая из них создавалась, чтобы оценить доступность запасов разного уровня в различных юридических и технико-экономических обстоятельствах, а также - с различной степенью определенности геологической информации.

Среди упомянутых систем наиболее универсальна система “US Bureau of Mines/US geological Survey system (USBM)”, которая описана выше и хорошо стыкуется с менее специфичной Британской “Proved, Probable, Possible” классификацией и системой ЕЭС, разработанной во Франции (BRGM) (см. таблицу 1).

Обычно считается, что **Proved** запасы Британской классификации соответствуют **Measured** ресурсам классификации USBM и категории “А” Европейской классификации. Как правило подразумевается, что тоннаж и качество таких запасов известны с точностью +/- 20% (с доверительной вероятностью 95%).

Аналогично - категория **Indicated** (USBM) соответствует Британской **Probable** и категории “В и С1” Европейской системы. При этом USBM система подразделяется на 2 класса по точности определения запасов:

- **Probable - 1** соответствует Европейской категории “В” и точности +/-30%;
- **Probable - 2** соответствует Европейской категории “С1” и точности +/-50%.

Ресурсы категории **Inferred** в классификации USBM соответствуют **Possible** запасам Британской классификации и “С2” - Европейской. Для них степень неопределенности не установлена, но она выше +/-50%.

Таблица 2.1 Сопоставление категорий ресурсов и запасов руды

Ресурсы	Measured	Indicated	Inferred
Запасы	Proved	Probable	Possible
ЕЭС	А	В+С1	С2
Точность,%	20	50	>50

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.

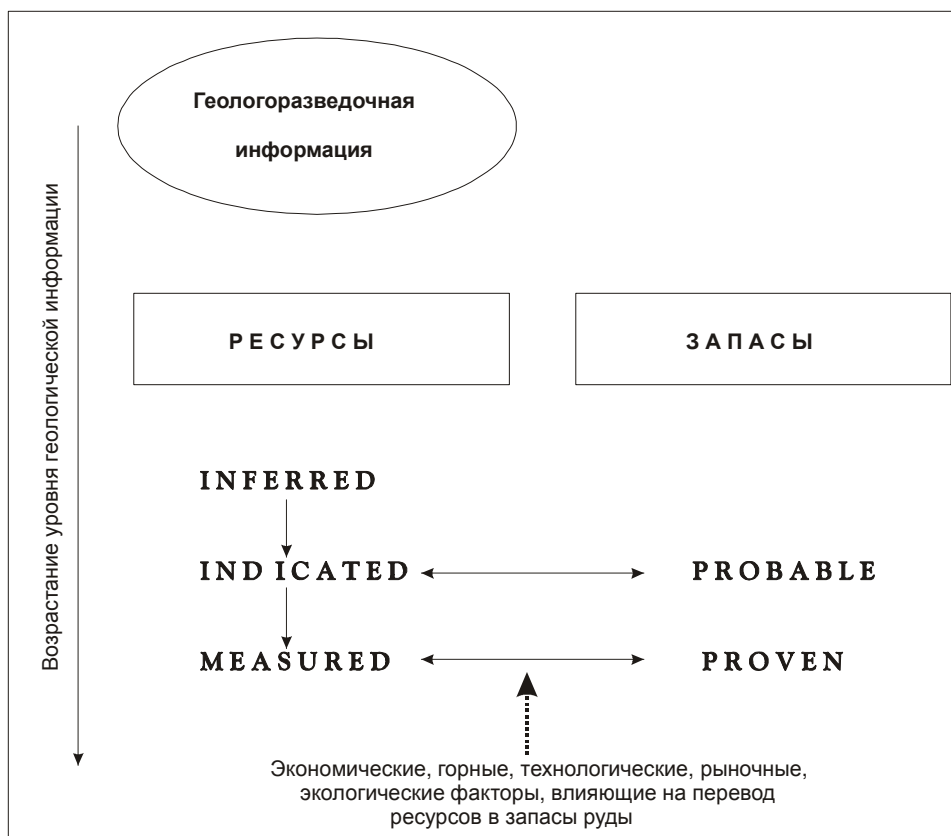


Рисунок 2.3. Связь между ресурсами и запасами

В начале стадии планирования любого нового проекта имеется большое число различных факторов и проблем, которые требуют внимательного рассмотрения. Некоторые из них могут быть легко разрешены, в то время как другие требуют глубокого анализа. Чтобы не забыть какой-то раздел плана используются различные справочные перечни необходимой исходной информации. Один из таких перечней приведен ниже. Он может очень пригодиться горному инженеру при подготовке к проектированию (планированию) объекта.

Основные требуемые исходные материалы:

1. Топография поверхности и ее состояние
2. Климатические условия района
3. Водные ресурсы
4. Геологическая информация
5. Гидрогеология
6. Инженерная геология
7. Площадь для размещения Обоганительной Фабрики
8. Площадь для размещения хвостохранилищ и отвалов
9. Дороги
10. Снабжение энергией
11. Возможность металлургической переработки
12. Собственность на землю
13. Законодательные акты
14. Экономические условия
15. Связь с населенными пунктами
16. Методы получения информации

Стадия планирования обычно включает в себя 3 этапа исследования.

Этап 1: Концептуальная оценка

Концептуальная (или предварительная) оценка представляет собой преобразование некоторой проектной идеи в реальное предложение для инвестиций с

использованием относительных методов оценки возможностей проекта и предстоящих затрат для рассмотрения вероятности реальных инвестиций. Капитальные и производственные затраты на этой стадии обычно приближенно оцениваются методом аналогии. Для подготовки такой информации требуется работа 1-2-х инженеров. В заключении исследования составляется Отчет о Концептуальной оценке.

Этап 2: Предварительное (или pre-feasibility study - PFS) технико-экономическое исследование.

Эта стадия является промежуточной и обычно еще не сопровождается решением об инвестировании проекта. Она имеет цель определить, стоит ли тратить деньги и время на следующую стадию (feasibility study) и являются ли все аспекты проекта с критической точки зрения жизнеспособными и нуждающимися в глубоком анализе на последующих стадиях.

Предварительная стадия должна рассматриваться как промежуточная стадия между относительно недорогой концептуальной и относительно дорогой - стадией ТЭО (feasibility study). Некоторые выполняют эту работу силами 2-3-х специалистов, имеющих доступ к соответствующим экспертам, другие предпочитают создавать с этой целью большие коллективы.

Этап 3: ТЭО (feasibility study - FS)

Эта стадия обеспечивает определение технических, экологических и экономических условий для принятия решения об инвестициях. Она использует интерактивные процессы для оптимизации всех ключевых элементов проекта. В течение этой стадии определяются: производительность производственных объектов, технология, капитальные и производственные затраты, доходы от продажи товара, и скорость возврата капитальных затрат. Обычно здесь достаточно точно определяются масштабы работ, а ТЭО является базовым документом для продвижения проекта по следующим стадиям.

Ниже последние 2 стадии описываются более детально.

Содержание предварительного отчета **PFS** (ТЭР).

Важными разделами такого Отчета являются:

- Цель исследования;
- Технические решения;
- Заключение;
- Тоннаж и содержание (запасы) полезных компонентов в руде;
- Программа (календарный план) отработки и переработки запасов;
- Оценка капитальных вложений;
- Оценка производственных затрат;
- Оценка дохода;
- Налоги и финансирование;
- Таблицы потока наличности.

Степень детальности зависит от качества и количества информации. Аналогом этого отчета в России является технико – экономический расчет (ТЭР). В отличие от своего «западного родственника» наш расчет более регламентирован в деталях по форме и содержанию.

Содержание Отчета **FS** (ТЭО).

Учитывая особую важность этого Отчета, необходимо включить в него всю детальную информацию, позволяющую обеспечить общее понимание и оценку проекта или причины для выбора особых процессов, оборудования или последовательности действий.

Основные разделы ТЭО:

- Общие сведения о проекте
- Геология
- Оценка запасов руды
- Горные работы
- Переработка руды
- Вспомогательные службы предприятия
- Оценка капвложений
- Производственные затраты
- Маркетинг

- Права, собственность
- Финансирование и налоги
- Экология
- Анализ доходов и прибыли

Описанные выше Отчеты являются серьезными банковскими документами и должны быть легкими для чтения и понятны нетехническим специалистам. Они всегда изучаются различными экспертами, поэтому использование нескольких небольших томов делает это ознакомление более легким и сокращает необходимое количество копий.

Точность оценок на стадии ТЭО.

Тоннаж и содержание

Имеющаяся на стадии ТЭО информация по опробованию руды и проверке результатов делает возможным оценку содержания и тоннажа с точностью, примерно, +/-5%. Хотя общий тоннаж руды может быть известен (если было проведено бурение скважин ниже предельного уровня карьера), но на практике окончательные значения запасов многих месторождений остаются достаточно туманными, т.к. они связаны с соотношением цен и затрат на более поздних стадиях жизни предприятия. При использовании дисконтирования тоннаж поздних стадий работы предприятия оказывается не слишком важным для оценки на стадии ТЭО. Его суммарное значение будет устойчиво расти при начале добычных работ на руднике. Не важно, что общий тоннаж руды точно не известен в начале проекта. Наиболее существенным будет знание (с максимально возможной точностью) качества руды, добываемой в течение первых лет работы карьера.

Два стандартных положения действительны для наиболее крупных карьеров:

1. Необходимо знать с максимальной точностью и достоверностью характеристику минимальных запасов руды, равных потребностям для периода, на который произведен расчет потока наличности в ТЭО.
2. Должен быть рассчитан окончательный потенциальный (немного завышенный) тоннаж руды, чтобы определить район влияния карьера, внутри которого не должны строиться капитальные сооружения и размещаться отвалы.

Производительность.

Здесь рассматриваются 2 параметра: производительность и извлечение. Проектная производительность может быть легко достигнута на практике, если работы правильно организованы, а оборудование правильно подобрано.

Эффективность будет падать, если вскрышные и подготовительные работы отстают от темпа добычи. Эти моменты должны быть с максимальной точностью рассмотрены на стадии ТЭО.

Производительность Обогащительной фабрики (ОФ) обычно ограничивается пропускной способностью стадий дробления и измельчения. Принципы проектирования ОФ хорошо известны, но их грамотное использование требует точных сведений о прочности и измельчаемости руды. Эти параметры должны быть хорошо изучены на предварительной стадии планирования.

Эффективность обогащения определяется тремя параметрами: тонкостью помола, извлечением и содержанием полезных компонентов в концентрате. Очень похожие оценки могут быть и при металлургической обработке руды и т.п. Требуемая точность оценок связана с качественным проведением технологических испытаний руды.

Затраты.

Некоторые элементы затрат, особенно в разделе производственных, незначительно отличаются для различных рудников и достоверно известны в деталях. Другие могут быть уникальными или трудно оцениваемыми. Обычно точность оценки капитальных и производственных затрат связана с точностью определения объемов, цен и т.п. и компенсируется непрямыми (косвенными) или накладными расходами. Такой подход ведет к возрастанию неопределенной части расходов. По этой причине они должны быть конкретизированы насколько возможно, а не скрыты или распределены в другие статьи прямых затрат.

Допускается случайное пере расходование средств в непредвиденных ситуациях, таких как забастовки, нарушение сроков строительства объектов, низкое

качество отдельных строительных работ или проблемы с погодой. Эти непредвиденные расходы должны также предусматриваться в проекте. Но здесь необходима осторожность. Эта статья расходов не покрывает ущерба от плохого качества проекта и никогда не должна компенсировать плохую работу.

Точность оценки капитальных и производственных затрат возрастает от стадии к стадии. Обычно она выражается следующими цифрами:

Концептуальная стадия : +/- 30%,

ТЭР : +/- 20%,

ТЭО : +/- 10%.

Такая точность оценки затрат необходима для принятия обоснованного решения о продолжении работ по проекту.

Цены и доход

Доход - это самый важный экономический параметр на протяжении жизни предприятия. За счет него делаются все оплаты, включая дополнительные инвестиции в течение срока работы рудника. Так как доход является важнейшим показателем, то для предприятия наиболее чувствительным будет изменение дохода, чем изменение в такой же пропорции любого другого параметра затрат.

Величина дохода зависит от содержания в руде полезного компонента, производительности предприятия, извлечения компонентов и цены на конечную продукцию. Из этих показателей цена – это наиболее трудный параметр для оценки, и ее величина не находится под контролем оценщика.

Даже без учета инфляции цены сильно варьируют во времени. Обычно они склонны к циклическим колебаниям.

Отделы маркетинга крупных горных компаний хорошо информированы о поведении кривых "предложение/спрос" и движении мировых цен на металлы. Обычно они могут предсказать поведение цен с вероятностью 80% или выше. Идеально, если даже при консервативной оценке цены, проект обеспечивает, по крайней мере, минимально допустимый уровень прибыльности.

2.4 Основные экономические термины и понятия, используемые в планировании и оценке горных проектов

Для того, чтобы правильно использовать термины: "руда" или просто "минерализованная порода", необходимо провести экономические исследования и рассчитать доходы и затраты будущего горного производства. В этом разделе рассматриваются некоторые детали таких расчетов.

Будущие доходы от продажи продукции.

Если кто-то положил сегодня 1\$ на счет в банке под обычные 10%, то в конце года он получит 1.10 \$, что может быть записано, как

$$FW = PV(1+i) \quad , \quad (2.3)$$

где: FW - будущая стоимость,

PV - сегодняшняя стоимость,

i - норма банковского процента.

Если деньги оставлены на счете, то через 2 года сумма достигнет 1.21 \$, т.е.

$$FW = PV(1+i)(1+i) \quad .$$

В конце n лет хранения сумма достигнет

$$FW = PV(1+i)^n \quad . \quad (2.4)$$

Сегодняшняя стоимость

Процедура расчета будущей стоимости может быть выполнена в обратном порядке для ответа на вопрос "Сколько денег надо положить на счет, чтобы через 5 лет получить 1.61 \$ при банковском проценте 10%?" Для такого расчета используется формула

$$PV = \frac{FW}{(1+i)^n} \quad (2.5)$$

Подставив предыдущие значения в эту формулу, мы получим $PV=1$ \$.

Сегодняшняя стоимость для серии одинаковых платежей

Предположим, что ежегодно в конце года в течение 5 лет в банк вносится по 1 \$. Мы можем рассчитать (зная банковский процент =10%) сегодняшнюю стоимость каждого платежа, а также суммарную величину платежей.

Первый год: $PV_1 = \frac{1\$}{(1+0.10)^1} = 0.909\$$

.....

Пятый год : $PV_5 = \frac{1\$}{(1+0.10)^5} = 0.621\$$,

а суммарная величина всех выплат - $PV= 3.790$ \$.

Общая формула для расчета сегодняшней стоимости таких ежегодных равных вкладов имеет вид:

$$PV = FW \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (2.6)$$

Рассчитав по этой формуле исходные данные предыдущего примера, получим

$$PV = 1.0 \left[\frac{(1+0.1)^5 - 1}{0.1(1+0.1)^5} \right] = 3.791\$$$

Период возврата кредита

Предположим, что 5 \$ занято в банке сегодня (время=0) для покупки единицы оборудования, а банковский процент = 10%. Предполагается вернуть кредит в виде равных ежегодных платежей по 1 \$. Вопрос " Как долго придется возвращать кредит?"
Сегодняшняя стоимость кредита

$$PV_1 = -5 \$.$$

Сегодняшняя стоимость платежей по возврату кредита

$$PV_2 = 1.0 \left[\frac{(1+0.1)^n - 1}{0.1(1+0.1)^n} \right] \quad (2.7)$$

Кредит будет возвращен, когда NPV (чистая сегодняшняя стоимость) будет равна 0, т.е.

$$NPV = PV_1 + PV_2 = -5\$ + 1\$ \left[\frac{(1.10)^n - 1}{0.1(1.10)^n} \right] = 0$$

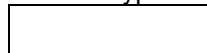
Так для 5 лет $NPV = -1.209$ \$,
для n= 6 лет $NPV = -0.645$ \$,
для n= 7 лет $NPV = -0.132$ \$
для n= 8 лет $NPV = +0.335$ \$

Таким образом, срок возврата кредита примерно равен 7.25 лет.

Норматив возвращения капвложений

Предположим, что на покупку единицы оборудования в момент времени 0 истрачено 5 \$. Далее в течение 10 лет за счет этого оборудования ежегодно получается прибыль (после уплаты налогов) по 1 \$ ежегодно.

Если положить в банк 5 \$, то при проценте i через 10 лет мы получим в соответствии с уравнением 2.4.



Будущая стоимость (в конце 10 лет) такой ежегодной 1 \$ прибыли составит

$$FW_2 = A_m \left[\frac{(1+i)^{10} - 1}{i} \right], \quad (2.8)$$

где A_m – ежегодный доход

Норма процента i , при которой будущие стоимости $FW_1 = FW_2$ равны, называется нормой возврата инвестиций (ROR). В данном случае она примерно равна 0.15 или 15%. Эту же величину можно найти в виде нормы процента, если приравнять NPV нулю, т.е.:

$$NPV = -5 + 1 \left[\frac{(1.1)^{10} - 1}{i(1+i)^{10}} \right] = 0 \text{ при } i=0.15.$$

Процесс приведения будущих стоимостей к начальному времени называется дисконтированием.

Поток наличности (Cash flow(CF))

Этот термин относится к “чистым” входящим или исходящим суммам денег, которые циркулируют на предприятии в исследуемом периоде. Это понятие учитывает следующие параметры:

Gross revenue	Суммарные доходы
- Operating expense	-Производственные затраты
= Gross profit (taxable income)	=Налогооблагаемый доход
- Tax	-Налоги
= Net profit	=Чистая прибыль
- Capital costs	-Капитальные вложения
= Cash flow	=Поток наличности

Простой пример приведен в табл.2.2. В данном случае в начале проекта вкладывается 200 \$, а в конце 1-го года еще 100 \$. Расчеты выполнены для первых 6 лет.

Таблица 2.2. Простой пример расчета потока наличности.

Годы	0	1	2	3	4	5	6
Доход			170	200	230	260	290
Себестоимость			-40	-50	-60	-70	-80
Капзатраты	-200	-100					
Налоги			-30	-40	-50	-60	-70
CF	-200	-100	+100	+110	+120	+130	+140

Дисконтированный поток наличности (DCF)

Термин “дисконтировать” соответствует “найти сегодняшнюю стоимость”. В предыдущем примере можно рассчитать сегодняшнюю стоимость для каждого индивидуального потока. Величина NPV для года n с учетом минимально приемлемой нормы возврата капвложений = 15% равна:

$$NPV_n = \frac{CF_n}{(1+0.15)^n}, \quad (2.9)$$

где n - порядковый год.

Так для первого года $NPV = -86.96$,
для пятого года $NPV = +64.63$, а суммарный дисконтированный CF = 55.75 \$. Эта величина определяет дополнительную сумму капвложений, которую можно вложить в начале проекта при данной норме возврата капвложений = 15%.

Норма возврата дисконтированного потока наличности (DCFROR)

Расчеты CF модифицируются и несколько усложняются, когда принимаются во внимание амортизационные отчисления на вложенный капитал.

Gross revenue	Суммарные доходы
- Operating expense	-Производственные затраты
- Depreciation	-Амортизация
= Gross profit (taxable income)	=Налогооблагаемая прибыль
- Tax	-Налоги
= Profit	=Чистая прибыль
+ Depreciation	+Амортизация
- Capital costs	-Капитальные вложения
= Cash flow	=Поток наличности

Здесь не обсуждаются различные способы расчета амортизационных отчислений. В данном примере принято, что инвестиции имеют срок жизни Y лет с нулевой остаточной стоимостью. Тогда ежегодные амортизационные отчисления равны стоимости фондов, деленных на время жизни фондов, т.е.

$$Dep = Inv/Y \quad (2.10)$$

Пример.

Начальные капвложения в 5-ти летний проект составили 100 \$ с нулевой остаточной стоимостью. Проектируемый доход составит в первый год - 80 \$, , в 5-й год - 96 \$. Себестоимость соответственно оценена в первый год - 30 \$, , в 5-й год - 38 \$. Налоги составят 32%. Расчет CF приведен в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Расчет CF с учетом амортизации

Годы	0	1	2	3	4	5	ВСЕГО
Доход		80	84	88	92	96	440
-Себест-сть		-30	-32	-34	-36	-38	-170
-Амортизация		-20	-20	-20	-20	-20	-100
=Прибыль 1		30	32	34	36	38	170
-Налоги		-9.6	-10.2	-10.9	-11.5	-12.2	-54.4
=Прибыль 2		20.4	21.8	23.1	24.5	25.8	115.6
+Амортизация		20	20	20	20	20	100
-Капзатраты	-100						-100
CF	-100	40.4	41.8	43.1	44.5	45.8	115.6

Суммарный NPV с учетом нормы дисконтирования 15% равен 43.29 \$. Величина $DCFROF_1$, которая делает NPV равным 0, соответствует $i=0.315$.

Истощение запасов (Depletion)

В США владельцу минеральных ресурсов возвращается специальный налог на истощение недр в течение всего срока работы предприятия. Можно оценить стоимость месторождения, чтобы потом амортизировать эти "капвложения" обычным путем. Только в данном случае процесс называется не амортизация, а истощение (depletion). Существует 2 способа для ее расчета:

1. Затратное истощение (ЗИ)
2. Процентное истощение (ПИ)

Ежегодно выполняется расчет по обоим методам, и к использованию принимается тот, который максимально снижает налоги предприятия. Чаще всего используется второй способ.

Для расчетов по первому способу (ЗИ) сначала устанавливают расчетную базу. Сюда включаются:

- затраты на приобретение права собственности, включая нотариальные и др.
- затраты на разведку, геологическое и маркшейдерское обслуживание.

Норма процентного истощения (ПИ) рассчитывается в 3 этапа. На первом шаге по таблицам определяется процент удержания платы за истощение недр, который применяется к валовому доходу предприятия (после вычитания royalties (регулярные платежи за предоставление лицензии, размер которых зависит от размеров дохода горного предприятия)) , полученному в течение налогового года.

Термин Отработка "Mining" включает в себя кроме непосредственного извлечения руды из недр - переработку руды и транспортирование на расстояние не

более 50 миль от карьера до ОФ. Переработка - подразумевает процессы обработки руды до стадии, где она впервые становится товаром, на который есть спрос на рынке. Однако, в некоторых случаях в эту стадию включают дополнительные процессы. Расчет платы за истощение (рис. 2.4) базируется на валовом доходе от продажи продукции или (что равнозначно) - на плате металлургического завода за получаемый концентрат.

Нормы ПИ (проценты в доходе) неодинаковы для различных видов минеральных ресурсов. Максимум (22%) соответствует урановым и металлическим рудам, а минимум (5%) - гравию и каменно-строительным материалам.

На втором этапе рассчитывается налогооблагаемая прибыль (включая все удержания за исключением ПИ и carry forward loss) для исследуемого года. Окончательно, на шаге 3 выбирается размер ПИ как меньшее из процента истощения, найденного на этапе 1 и 50 % налогооблагаемой прибыли., найденной на этапе 2.

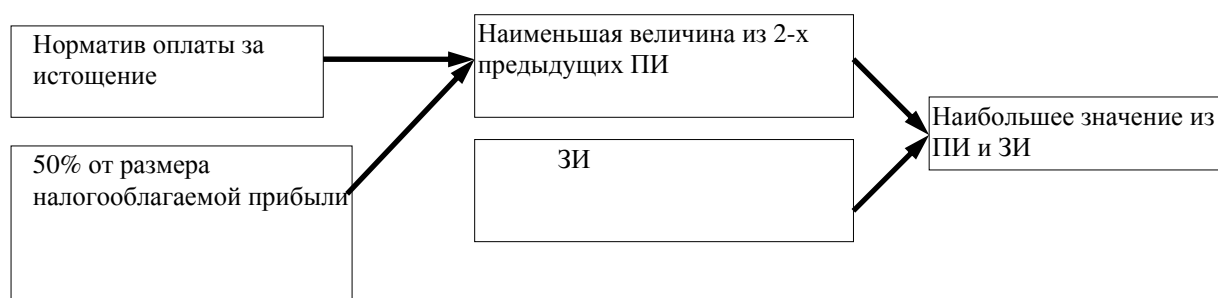


Рисунок 2.4. Схема расчета оплаты за истощение недр

Поток наличности с учетом платы за истощение недр

Схема расчета CF :

Gross revenue
 - Operating expense
 - Depreciation
 - Depletion
 = Taxable income
 - Tax
 = Profit
 + Depreciation
 + Depletion
 - Capital costs
 = Cash flow

Суммарные доходы
 -Производственные затраты
 -Амортизация
 -Плата за истощение недр
 =Налогооблагаемая прибыль
 -Налоги
 =Чистая прибыль
 +Амортизация
 +Плата за истощение недр
 -Капитальные вложения
 =Поток наличности

В следующем простом примере показан порядок включения платы за истощение недр (ПИН) в расчеты CF .

Горное предприятие имеет ежегодный доход от продажи серебряных руд 1,500,000 \$. Производственные затраты составляют 700,000 \$, амортизация - 100,000 \$, а налоги - 32%. База для расчета ЗИ равна 0. Предварительный расчет CF :

Доход	1,500,000
- Производственные затраты	-700,000
- Амортизация	-100,000
= Налогооблагаемая прибыль до расчета ПИ 700,00	

Расчет платы за истощение недр.

Т.к. ЗИ не может быть рассчитан (база=0), то определяется ПИ. Необходимо выбрать наименьшее значение из:

- а. 50% величины Налогооблагаемой прибыли до расчета ПИ
- б. 15% валового дохода (взято из таблицы)

В данном случае:

а. $0.5 \times 700,000 = 350,000$ \$

$$б. 0.15 \times 1,500,000 = 225,000 \$$$

Таким образом для дальнейших расчетов применяется ПИН=225,000 \$. Расчеты CF после этого принимают вид

Gross revenue	1,500,000
- Operating expense	-700,000
- Depreciation	-100,000
- Depletion	-225,000
= Taxable income	475,000
- Tax	-152,000
= Profit	323,000
+ Depreciation	+100,000
+ Depletion	+225,000
= Cash flow	=648,000 \$

Размер оплаты за концентрат от металлургического завода (Net Smelter Return)

Для цветных металлов цены, как правило, приводятся не на концентраты, а на чистые металлы. Цена, которую платит металлургический завод за концентрат, называемая **Net Smelter Return (NSR)**, зависит от многих факторов, а не только от цены на металл.

Предположим, что фабрика производит концентрат, содержащий G процентов меди. В одной тонне концентрата содержится CM фунтов металла

$$CM = \frac{G}{100} 2000, \quad (2.11)$$

где 2000 - коэффициент пересчета фунтов в тонны.

Большинство металлургических и рафинировочных заводов платят за содержащийся в концентрате металл по ценам, публикуемым например в коммерческих справочниках.

Цена за тонну концентрата, содержащего G% меди, равна

$$CV = \frac{G}{100} 2000P, \quad (2.12)$$

где P - цена 1 фунта меди.

Но всем понятно, что заводы не могут заплатить горному предприятию такую цену за весь металл, содержащийся в концентрате. В любом производстве существуют потери. Принимая их во внимание, завод платит только за часть металла, содержащегося в концентрате. Может быть 3 вида расчета таких потерь.

1) Процентное снижение. В этом случае завод платит руднику за C% металла (заранее оговоренное поставщиком и потребителем), содержащегося в концентрате.

2) Удельное снижение. Содержание металла в концентрате уменьшается на заранее оговоренное фиксированное удельное количество. процентов или троичных унций

3) Комбинация этих 2-х методов.

В последнем случае "Реальное" содержание металла в концентрате (G_e) равно

$$G_e = \frac{C}{100} (G - u), \quad (2.13)$$

где: C - доля в % оплачиваемого металла в концентрате

u - фиксированное снижение содержания металла в концентрате.

Следовательно, оплачиваемое заводом количество металла в концентрате

$$M_e = \frac{C(G - u)}{100} 2000, \quad \text{фунтов}, \quad (2.14)$$

Иногда завод оплачивает только часть рыночной цены металла, используя коэффициент, называемый Ценовым коэффициентом (f). Когда платится 100% рыночной цены, то коэффициент = 1.0 Доход, получаемый за 1 тонну концентрата, таким образом, равен

$$GV = M_e Pf \quad (2.15)$$

При расчете базовой цены за концентрат (BSR) надо учитывать также затраты завода на переработку, очистку и продажу продукции, т.е.

$$BSR = M_e(Pf - r) - T \quad (2.16)$$

где: r- затраты на очистку (рафинирование) и продажу продукции

T- затраты на переработку концентрата

Часто в концентрате имеется набор полезных компонентов. Это обстоятельство может быть учтено или дополнительным доходом от извлечения этих компонентов (Y), или штрафом за неизвлечение их в из концентрата (X). Если при этом обозначить $Pe=(PF-r)$, то формула (2.16) превратится в выражение

$$NSR = M_e P_e - T - X + Y \quad (2.17)$$

Долгосрочные соглашения на переработку концентрата и рафинирование обычно содержат информацию о развитии затрат и цен. Изменение со временем затрат на рафинирование (e_1) может принимать следующие формы:

1. Изменение не предусмотрено
2. Прогнозируемое изменение на основе прогнозных цен и затрат
3. Индексируемое изменение затрат на основе публикуемых индексов изменения цен на воду, топливо и т.п.
4. Изменение, основанное на прогнозе роста цен на металлы
5. Комбинация 2-4 форм.

Изменение затрат на обработку концентрата (e_2) связано обычно с формами 2 или 3. Теперь можно переписать уравнение (2.17) с учетом переспективного изменения затрат.

$$NSR = M_e (Pf - r \pm e_1) - (T \pm e_2) - X + Y \quad (2.18)$$

Контракты на переработку концентратов должны включать в себя все аспекты продажи и покупки с момента отправки с ОФ и до окончательной оплаты за переработку. В табл.2.16. перечислены все элементы такого контракта и вопросы для составителя контракта. Если появляются новые проблемы, не перечисленные в типовом контракте, то обычно составляется дополнительное соглашение, учитывающее их.

Чистая цена концентрата называется "at-mine-revenue" или AMR равна

$$AMR = NSR - R \quad (2.19)$$

Если разделить AMR на стоимость металла в концентрате (CV), то получится процентная оплата - PP

$$PP = 100 * AMR / CV, \quad (2.20)$$

которая обычно для цветных металлов колеблется от 45 до 95%.

Затраты на металлургический передел, таким образом, являются серьезным фактором в оценке потенциальной прибыли от нового горного проекта.

Большинство из вышеприведенных рассуждений и формул приведено с единственной целью - познакомить читателей с сильно упрощенной (в данной книге) структурой основных экономических расчетов и системой показателей, которые используются для оценки подавляющей части горных проектов на западе.

3 Моделирование месторождений и оценка запасов.

3.1 Подготовка геологической информации и ввод ее в компьютер

3.1.1 Требуемая информация

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

ЧИСЛОВЫЕ И ТЕКСТОВЫЕ ДАННЫЕ:

1. По скважинам:
 - Координаты устьев выработок
 - Данные инклинометрии
 - Данные опробования
 - Другие характеристики скважин (каротаж, выход керна, гидрогеология, литология, стратиграфия и т.д.)
2. По поверхностным выработкам (канавам, траншеям и т.п.)
 - Каталог маркшейдерских точек по трассам выработок
 - Данные опробования
 - Другие характеристики выработок (литология, стратиграфия, тектоника и т.д.)
3. По опробованным подземным выработкам
 - Каталог маркшейдерских точек по трассам выработок
 - Данные опробования
 - Другие характеристики выработок (литология, стратиграфия, тектоника и т.д.).

ГРАФИКА:

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

Вся эта информация вводится из максимально достоверных источников, обычно непосредственно на предприятии, 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.

3.1.2 Необходимый персонал и оборудование

Для ввода текстовой информации потребуются специалисты, умеющие быстро и АККУРАТНО печатать на компьютере (пишущей машинке). Хорошо, если они умеют работать с программой Microsoft Excel. Количество требуемых работников зависит от отведенного на ввод информации времени и наличия компьютеров.

Ввод графики осуществляется либо с помощью дигитайзера, либо сканером. По трудоемкости и затратам времени эти технологии примерно одинаковы, каждая имеет свои преимущества и недостатки. Выбор зависит от предпочтений пользователя, наличия необходимого оборудования, программ и опыта работы.

Итак, для ввода исходной информации в компьютер необходимо иметь:

- Персональные компьютеры с установленным пакетом Microsoft Office
- Дигитайзер или сканер формата А0 или близкого к нему
- Систему Датамайн или Автокад для обработки и редактирования графических файлов

3.1.3 Ввод числовой/текстовой информации

Ввод числовой/текстовой информации обычно производится с помощью программы Microsoft Excel в виде таблиц, формат которых соответствует формату файлов Датамайн. Необходимая информация извлекается 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.

Чаще всего используют первый подход. После ввода и проверки информации она преобразуется в требуемый формат непосредственно в программе Excel, а затем вводится в Датамайн. Как правило для каждого вида опробования создаются несколько отдельных таблиц :

1. Скважины:
 - Файл координат устьев (табл. 3.1).
 - Файл инклинометрии (табл. 3.2).
 - Файлы опробования, литологии, каротажа, гидрогеологии и т.п.(табл. 3.3, 3.4).
2. Поверхностные выработки (канавы, траншеи и т.п.):
 - Каталог маркшейдерских точек по трассам выработок (табл. 3.5)
 - Данные опробования и другие характеристики выработок (литология, стратиграфия, тектоника и т.д.) – (табл. 3.3, 3.4).
3. Опробованные подземные выработки:
 - Каталог маркшейдерских точек по трассам выработок (табл. 3.5).
 - Данные опробования.
 - Данные опробования и другие характеристики выработок (литология, стратиграфия, тектоника и т.д.) – (табл. 3.3, 3.4).

Таблица 3.1. 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. Для облегчения манипуляции с этим полем в будущем удобно создавать дополнительное цифровое поле, в котором удобно использовать принятую пользователем кодировку номеров разведочных выработок

** - 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 3.2. 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 3.3. 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

** Если данные опробования отсутствуют, то обычно вводят символ «-» или оставляют 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 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), то для каждого вида опробования надо определять свою колонку (поле).

Таблица 3.4. Литологические данные (стратиграфия, выход керна, каротаж, гидрогеология, геомеханические параметры и т.п.)

Номер выработки (BHID)	Горизонт	Рудное тело	Интервал		Код породы 1	Код породы 2
			От * (FROM)	До (TO)		

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 Английский алфавит.

Таблица 3.5. Каталог маркшейдерских точек выработок.

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

Для того, чтобы этот файл на графическом экране Датамайн изображался в виде линии, необходимо предварительно преобразовать его в требуемый системой формат. Для этого нужно ввести в таблицу 3.5 дополнительных поля: PVALUE (Номер линии) и PTN (Номер точки в линии), а поля координат обозначить XP YP 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 3.5 будет выглядеть следующим образом (табл. 3.6.).

Таблица 3.6. 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 опробования. Обычно вся эта информация изначально имеется только для скважин. Для бороздовых проб данные о координатах устьев и инклинометрии можно получить в программе Excel 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. 3.1). 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. 3.2) рассчитывается в программе Excel с помощью преобразования координат маркшейдерских точек (Табл. 3.7).

Таблица 3.7. Расчет данных инклинометрии (формат Excel)

В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	І	Ј	К	Л	М
№	Координаты			BRG	DIP	Вспомогательные переменные					AT
пикета	X	Y	Z	7	8	1	2	3	4	5	6
0	35838.70	58435.95	184.00	94.41	0.00	0.00	94.41	6.24	0.00	0.00	0.00
1	35838.22	58442.17	184.00	94.41	0.00	1.17	92.75	9.78	1.17	6.24	3.12
2	35837.75	58451.94	183.80	92.75	1.17	0.79	95.46	10.10	-0.79	16.02	11.13

Примечания:

1. Номера пикетов (точек) должны начинаться с 0
2. Координаты пикета 0 – координаты устья выработки
3. Формулы в столбцах (например, для строки 8, русский Excel):
 - 1: =90-ABS(ГРАДУСЫ(ATAN(КОРЕНЬ((С9-С8)^2 + (D9-D8)^2)/(Е9-Е8))))
 - 2:=ЕСЛИ(D9-D8<0,270-ГРАДУСЫ(ATAN((С9-С8)/(D9-D8))),90-ГРАДУСЫ(ATAN((С9-С8)/(D9-D8))))
 - 3: =КОРЕНЬ((С9-С8)^2+(D9-D8)^2)
 - 4: =ЕСЛИ(Е9-Е8>0,Н8*(-1),Н8)
 - 5: =ЕСЛИ(В8=0,0,(Ј7+Л7))
 - 6(AT): =ЕСЛИ(В8=0,0,(L7+J7/2))
 - 7(BRG): =ЕСЛИ(В8>0,І7,І8)

- 8(DIP): =ЕСЛИ(B8>0,K7,K8)
4. В полученной таким образом таблице для создания файла инклинометрии используются поля: BHID, AT, BRG, DIP
5. При сложных трассах траншей (подземных выработок) и очень пересеченной местности рекомендуется использовать технологию, описанную в разделах 3.6.4 и 3.6.5.

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

3.1.4 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 с помощью сканера, которые затем преобразовываются в векторные с помощью специальных приложений.

3.1.4.1 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:

1. Напечатайте на принтере меню Дигитайзера. Для этого запустите в Датамайн макрос «digitmenu.mas». Просто выберите команду «Run macro» и напечатайте в появившемся окне имя этого Макроса. Вберите 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.3.1). Строго выдерживать формат A4 при этом не обязательно. Меню крепится в удобном месте Дигитайзера, обычно – в нижнем левом углу.
2. 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
3. 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 3.1. 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 двумерные 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.

3.1.4.2 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».
- Нужные линии изображения векторизуются 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

Самая трудоемкая часть работы здесь - векторизация, в процессе которой в изображения могут быть внесены ошибки.

3.1.5 Ошибки во введенной информации

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

3.1.5.1 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 неустраняемы. Чаще всего ошибки связаны с некачественной перепечаткой многотомных геологических отчетов, неаккуратным заполнением первичных журналов, паспортов скважин и т.п.

3.1.5.2 Ошибки ввода данных

После ввода в компьютер информация обязательно должна быть тщательно проверена. Существует несколько методик проверки.

А) После ввода какой-то части информации посторонний 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 уже 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. У каждой компании существует свои технологии проверки данных и нормативы допустимых ошибок.

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-четырех. 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. После этого они накладываются на оригиналы, и все выявленные ошибки и отклонения устраняются либо новым вводом данных дигитайзером, либо корректировкой информации непосредственно в 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

3.1.6 Проверка, корректировка и первичная обработка введенной информации.

Поскольку текстовая информация вводится в компьютер с помощью программы 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 реализации.

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,

3.1.6.1 Объединение файлов координат, инклинометрии, опробования и геологических характеристик проб

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.

3.1.6.2 Ввод текстовой информации в систему Датамайн

Прежде всего, следует ввести все полученные нами файлы в систему Датамайн. Это удобно делать с помощью специальных макросов, где описываются все параметры переменных вводимых таблиц, а также – с помощью функции импорта данных в систему Датамайн. Лучше всего сначала сохранить в Excel требующие импорта таблицы в отдельных файлах текстового формата «.CSV» **с названиями колонок (полей) на английском языке и сохранением стандартных названий полей системы Датамайн.** Это позволит Вам в дальнейшем испытывать меньше дискомфорта, работая с процессами системы. Желательно сохранить следующие стандартные поля в заголовках импортируемых таблиц (Названия полей лучше набирать прописными буквами):

- **BHID** (Номер выработки) - алфавитно-цифровая переменная длиной 8-10 символов.
- **XCOLLAR, YCOLLAR, ZCOLLAR** (Координаты файла устьев выработок) – числовая переменная.
- **FROM** (Начало интервала опробования) - числовая переменная.
- **TO** (Конец интервала опробования) - числовая переменная.
- **SAMPLE** (Номер пробы) – часто, алфавитно-цифровая переменная из-за использования индексов.
- **AT** (Глубина точки замера инклинометрии)) - числовая переменная.
- **BRG** (Азимут) - числовая переменная.
- **DIP** (Вертикальный угол) - числовая переменная.
- **PVALUE** (Номер линии в файле линий) - числовая переменная.
- **PTN** (Номер точки в линии) - числовая переменная.
- **XP, YP, ZP** (Координаты файла линий) - числовая переменная.
- **XPT, YPT, ZPT** (Координаты файла точек) - числовая переменная.
- **DENSITY** (Плотность породы) - числовая переменная.

- **COLOUR** (Цвет) - числовая переменная.

Остальные поля можно называть как угодно, лишь бы по названию можно было догадаться о примерном содержании этого поля, например: LITHOL (литологический код), ROCK (тип породы), ORE (тип руды), COREC (извлечение керна) и т.д и т.п.

Бывает полезно в большинстве случаев вводить дополнительное **числовое** поле (например, **BLID**), которое дублирует поле **BHID**, но имеет более приемлемый для сортировки и фильтрации данных вид. Например, если в общем файле проб содержатся данные о нескольких видах опробования, то целесообразно (в файле Excel):

- Отсортировать первичный файл по полю **BHID**
- Принять, что номера скважин детальной разведки начинаются с 1 (№ 1 – 199), доразведки – с 200 (№ 201 и далее), эксплоразведки – с 500, бороздовые пробы траншей – с 1000, бороздовые пробы подземных выработок – с 2000 и т.д
- Распечатать для удобства таблицу соответствия полей **BHID** и **BLID**

Теперь Вы сможете при необходимости в нужный момент вывести на экран или обработать статистической программой любой требуемый вид информации. Достаточно просто установить фильтр по значению поля **BLID**. При этом исходные номера выработок сохраняются в файле, т.е. всегда могут быть выведены на чертеж и т.п. *Однако, часто эти изменения удобнее вводить в уже готовый (объединенный) файл опробования.*

После всех этих манипуляций у Вас окажется набор файлов в формате «.CSV» (текстовые данные, разделенные запятой). Вид такого файла, открытого в текстовом редакторе, показан в табл. 3.8.

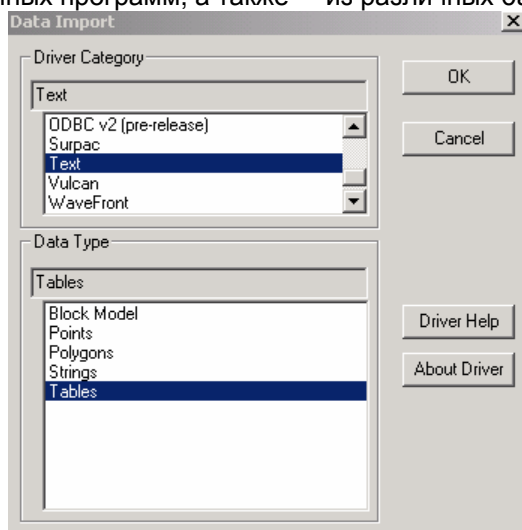
Таблица 3.8. Пример файла линий в формате «.CSV»

```
PVALUE,PTN,XP,YP,ZP
1,1,58500.9,35833.87,183.1
1,2,58490.82,35834.55,183.32
2,1,58500.9,35833.87,183.1
2,2,58510.93,35833.2,183.1
```

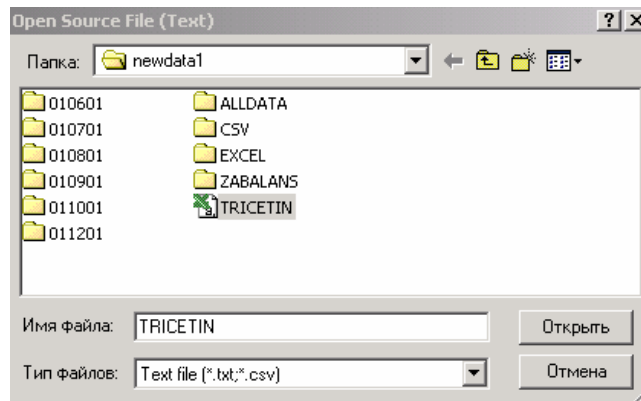
Далее необходимо использовать один из методов импорта текстовых файлов (таблиц) в систему Датамайн.

Современная технология предусматривает ввод текстовых таблиц с помощью опции «ИМПОРТ ДАННЫХ» в меню «Data». Операции выполняются в следующей последовательности:

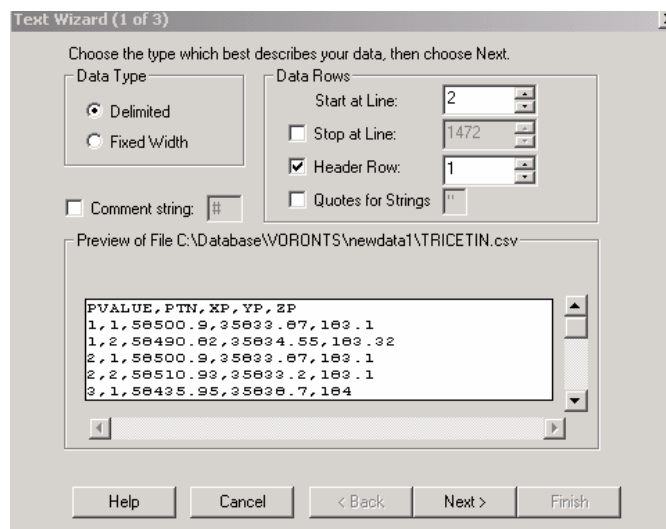
В появившемся окне, выберите опции, показанные на рисунке. Вы можете заметить, что система Датамайн способна импортировать данные из многих горных и общераспространенных программ, а также – из различных баз данных.



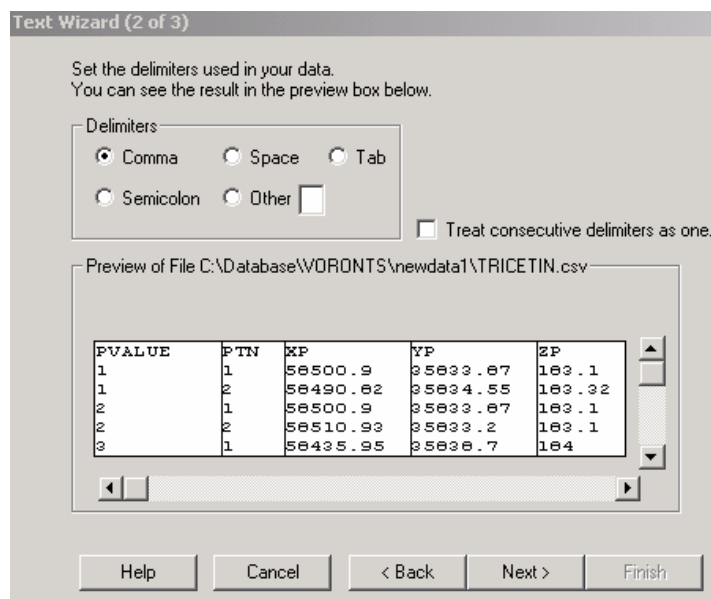
Далее в каталоге найдите текстовый файл, который Вы хотите импортировать.



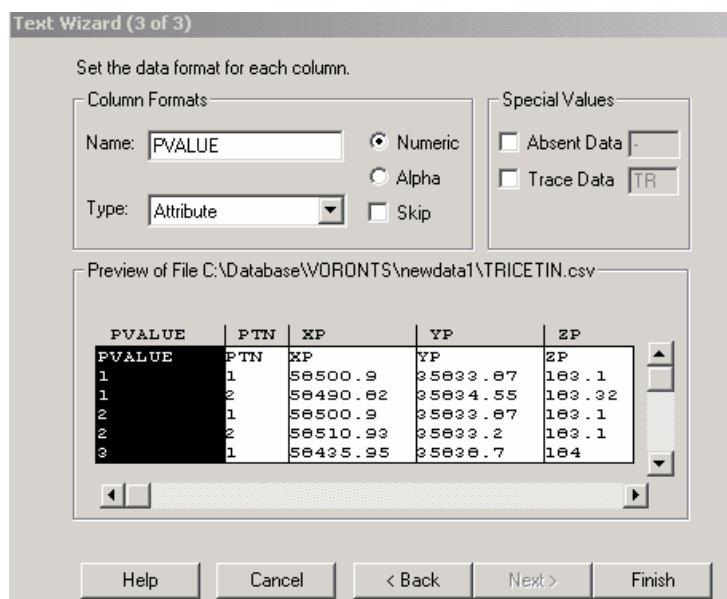
В появившемся окне выберите опции, показанные ниже. В нижней части окна будет показан Ваш файл. Нажмите "Next".



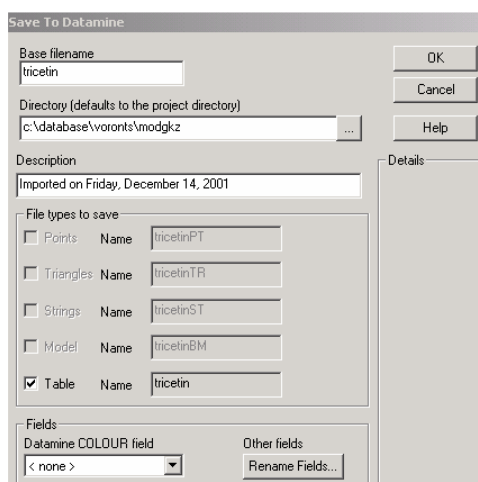
В следующем окне убедитесь, что поля правильно разделены границами. Нажмите "Next".



В следующем окне обозначьте алфавитно-цифровые переменные (если они есть в файле) и введите их длину (в символах). Здесь же установите обозначения для отсутствующих данных и следов содержаний в пробах (trace).



Введите имя Вашего файла для сохранения в базе данных Датамайн



Ваш файл введен в систему Датамайн. В данном случае это файл линий, поэтому Вы можете сразу открыть его в Окне проектирования.

3.1.6.3 Обработка результатов кернового опробования

После ввода всех нужных файлов в систему Датамайн необходимо их проверить и объединить. 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, присущих конечной 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
- Отсутствие пропусков в интервалах опробования по скважине
- Наличие первого интервала, начинающегося с 0
- Наличие первого замера инклинометрии в устье выработки
- Наличие «перехлестываний» интервалов опробования

f) Наличие информации о каждой скважине в 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 программе (файлах) Excel, а далее все операции по вводу информации в Датамайн повторяются. Эти итерации могут повторяться несколько раз.

Для объединения выверенных файлов, содержащих информацию по скважинам, используется процесс HOLES3D (кнопка ) Заметьте, что Вы можете иметь до 6 файлов опробования (SAMPLE 1 – 6), содержащих разнообразную информацию о скважинах.

Процесс HOLES3D выполняет следующие операции:

- Сортирует все файлы по ключевым полям (в основном по полю BHID)
- Объединяет все файлы опробования, геологии и т.д., которые содержат поля FROM и TO.
- К полученному единому файлу опробования прибавляется файл COLLAR.
- Производится расчет координат центра (и концов – по требованию) каждой пробы с использованием инклинометрии, содержащейся в файле SURVEY.

Процесс HOLES3D также производит проверку ошибок в исходных файлах.

Проверки 1-3 делаются для файла SURVEY (см. ниже).

Проверки 4-6 - для файлов SAMPLE1 - SAMPLE6

Проверка 7 - для файла COLLAR

Содержание проверок:

(1) устанавливается наличие файла инклинометрии (если его нет, 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 интервала (поле TO).

(5) Смежные интервалы не «перехлестываются»

(6) Интервалы не дублируются.

(7) Поля XCOLLAR, YCOLLAR и ZCOLLAR не содержат отсутствующих данных.

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.3.2) и, если повезет, заметить новые, иногда грубые ошибки. Теперь самое время ввести в файл дополнительную числовую переменную **BLID** (идентификатор выработки), о которой было сказано в разделе 3.6.2.

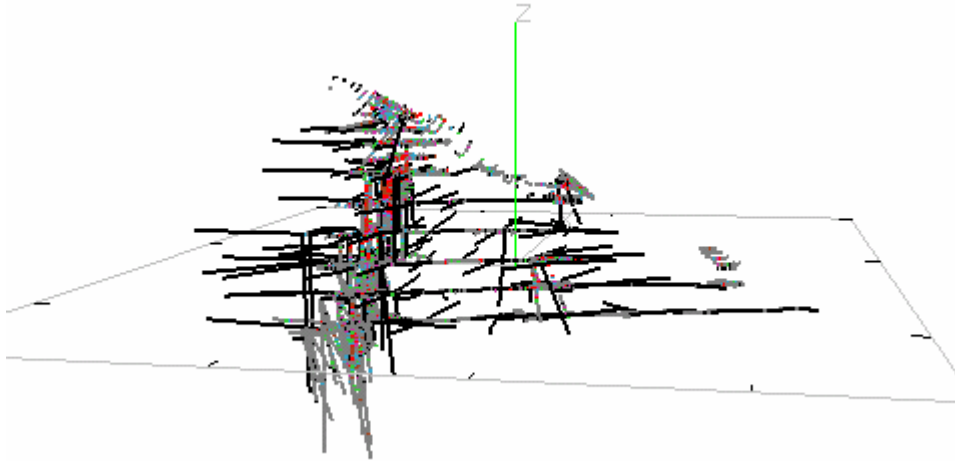


Рисунок 3.2. Размещение разведочных выработок на одном из золоторудных месторождений.

3.1.6.4 Бороздовые пробы поверхности

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

А) Будем считать основным методом тот, при котором еще в Excel создаются все необходимые файлы с использованием маркшейдерских точек (см 3.3):

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

В этом случае Вы проверяете и объединяете файлы по описанной в предыдущем разделе технологии.

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

- 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 (см. раздел 5.3)

Эта плоская линия командой «project-string-onto-wf» (краткая команда – ptw) проецируется на модель топографии и преобразуется в 3-х мерную линию.

Если известна средняя глубина каналов 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) превращается в псевдоскважины, которые содержат всю положенную скважинам информацию, в т.ч. – инклинометрию для каждого отрезка линии. При использовании этой команды Вы должны ввести на запрос программы идентификатор (номер 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 (координаты первой точки линии), используя данные файла линий.
- TSURVEY с полями: BHID=BHID, AT=FROM, BRG=A0, DIP=B0, используя данные файла псевдоскважин.

Сохраните эти таблицы в текстовом формате, а затем импортируйте их 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.

3.1.6.5 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 (см 3.3). 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, BHID = 2D12W означает Западную стенку (W) штрека №12 (D12) на горизонте 2.

После ввода в Датамайн Вы должны 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 не опробованное 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 квершлагав. Это происходит при расчете координат проб в Датамайн, когда все пробы (в т.ч. и длинные не опробованные интервалы) считаются отрезками

прямой линии. Это в итоге приводит к отклонению полученной ломаной трассы проб от действительной линии стенки выработки (рис. 3.4). Способ борьбы с этим «явлением» - искусственно разделить в файле опробования длинные не опробованные интервалы на более короткие, длиной, скажем, 5-10 м.

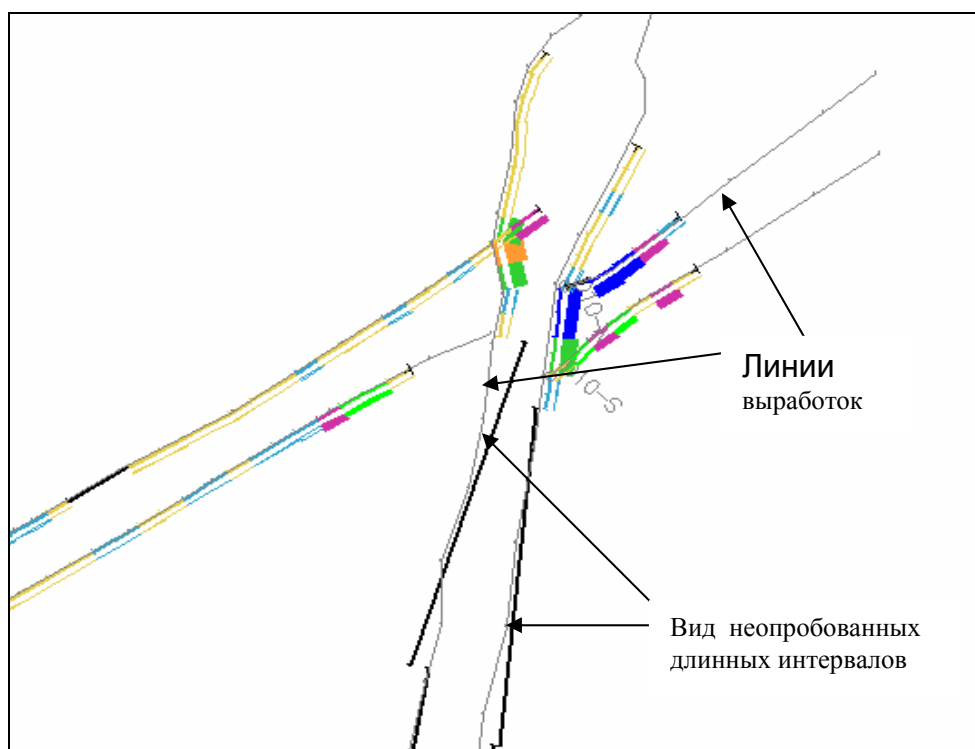


Рисунок 3.4. Вид сочленения подземных выработок, опробованных борздовыми пробами.

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 BHID, содержащее, как правило, информацию о типе и номере выработки, номере горизонта и номере самой пробы. Вид таких проб показан на рис. 3.5.

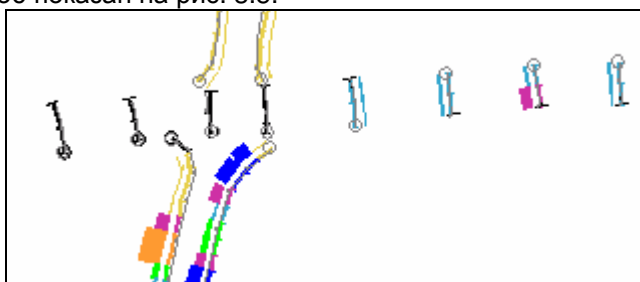


Рисунок 3.5. Расположение забойных проб по трассе штрека

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. На рисунке 3.5. видно, что пробы имеют разное направление, поэтому при вводе этой информации дигитайзером следует обращать внимание на порядковое расположение проб по трассе выработки.

Если существуют 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 (см. 3.6.4).

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.

3.1.7 Первичная статистическая обработка данных; композирование

Итак, Вы имеете откорректированный файл опробования, в котором собраны все известные Вам пробы, каждый тип которых (керновые, бороздовые, шламовые и т.д.) имеет существенное отличие в поле BLID, что позволяет Вам манипулировать ими (при необходимости) независимо от других видов проб и опробования.

Следующий этап – статистическая обработка этого массива данных для того, чтобы получить первое представление об его основных свойствах. Для того, чтобы получить корректные результаты, необходимо предварительно привести пробы к одинаковой длине – **композировать**. В противном случае существует опасность получить смещенное среднее выборки.

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

ВНИМАНИЕ. При композировании и объединении частей смежных проб в одну все числовые поля (кроме числового поля BHID) 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.

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. В некоторых статистических процессах Датамайн можно (в принципе) обходиться без композирования, «взвешивая» оцениваемый показатель с помощью длины пробы.

Первый статистический расчет – определение основных статистик выбранных множеств проб. Желательно иметь под рукой результаты расчетов по всему массиву проб, 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 (Эксцесс)	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.

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 – содержания 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. 3.6). Второй процесс (HISFIT) помогает определить неоднородные массивы данных, состоящие из 2-х и более генетически разнородных множеств, которые желательно обрабатывать и рассматривать отдельно (рис. 3.7).

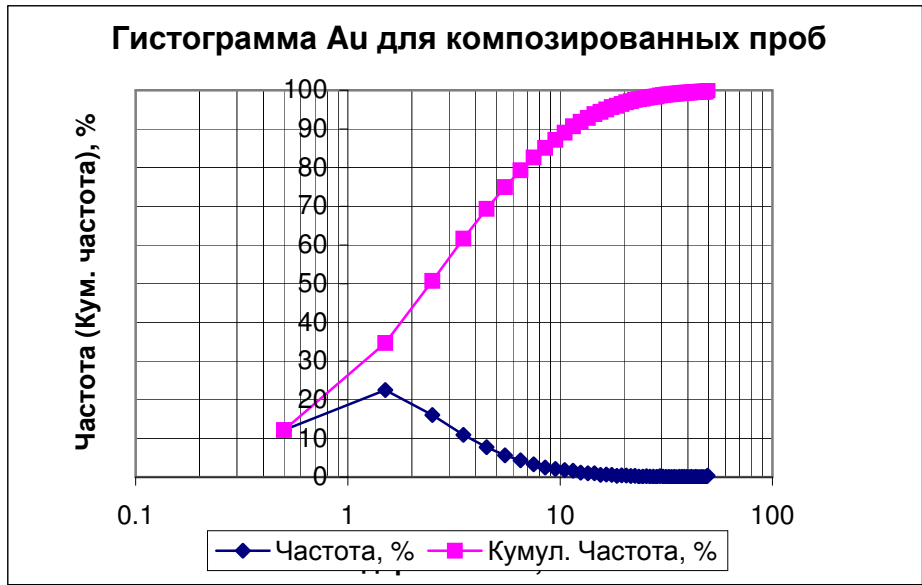


Рисунок 3.6. Гистограмма (логарифмическая) содержания золота в пробах, выполненная в программе Excel

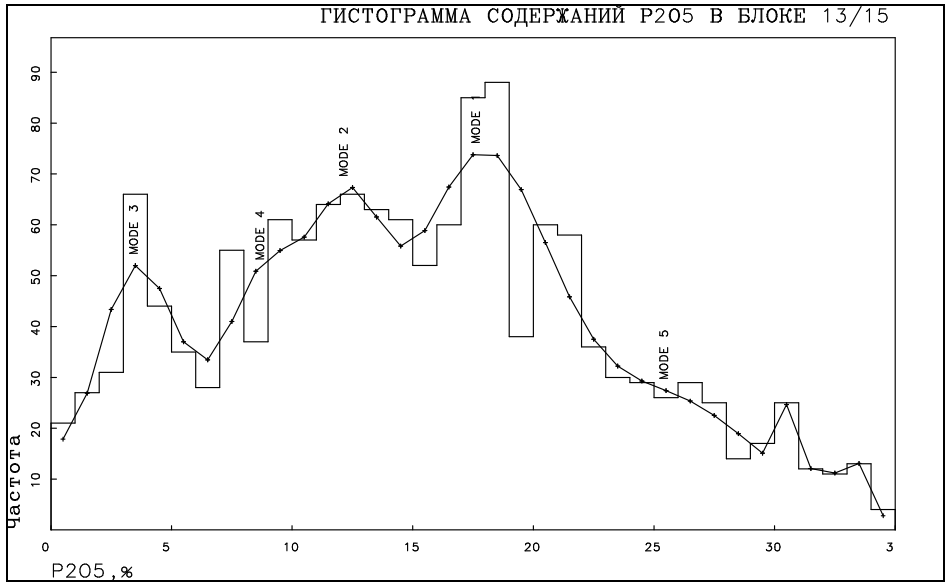


Рисунок 3.7. Многовершинное нормальное распределение

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. 3.8). Кроме полиномиальной функции Вы сможете воспользоваться здесь и некоторыми другими: показательной, экспоненциальной, логарифмической и т.д.

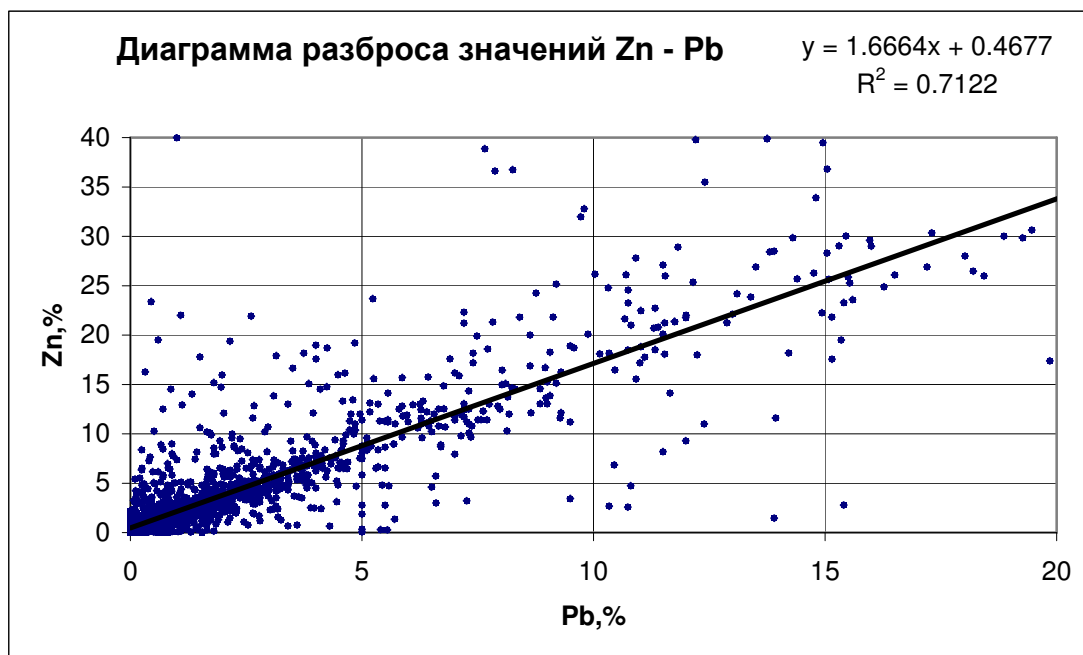


Рисунок 3.8. Пример диаграммы разброса и линии регрессии (линейной), выполненной в Excel.

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

3.1.8 Корректировка «ураганных» проб

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 [7] 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. 3.8).
- 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. 3.8). Границей «ураганных» проб считается минимальное содержание первого класса, в котором содержится более 10% металла. В данном примере это – 3.7 г/т

Таблица 3.8. 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. 2.9)

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 3.9. Определение границы «ураганов» по месту излома графика ранжированных по возрастанию значений проб.

3.1.9 Декластеризация данных

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. 3.10. показаны результаты декластеризации массива проб программой DECLUST по сетке 10*10 м.

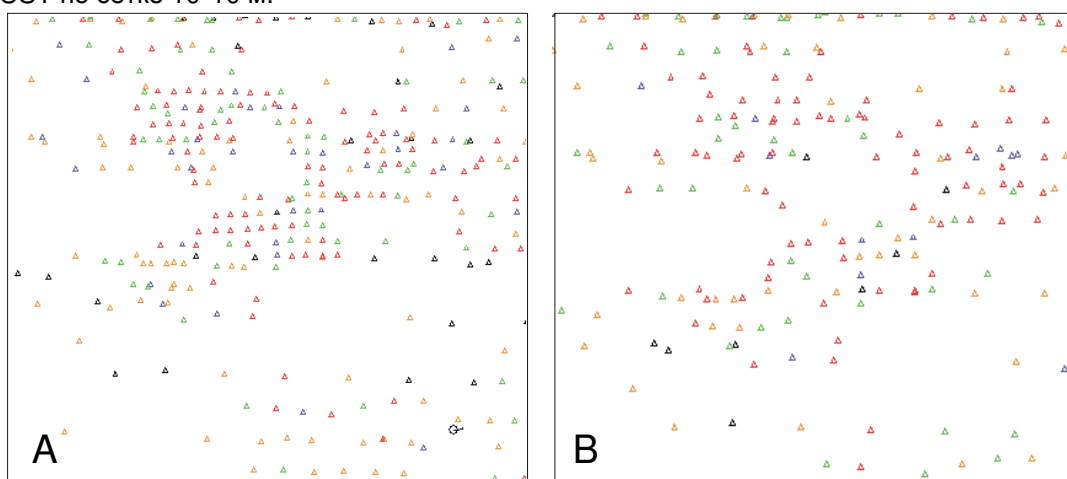


Рисунок 3.10. размещение проб на участке: А – до декластеризации, В – после нее, при выборе ближайшей пробы к центру ячейки сетки

3.1.10 Внесение исправлений и дополнений в существующие файлы опробования

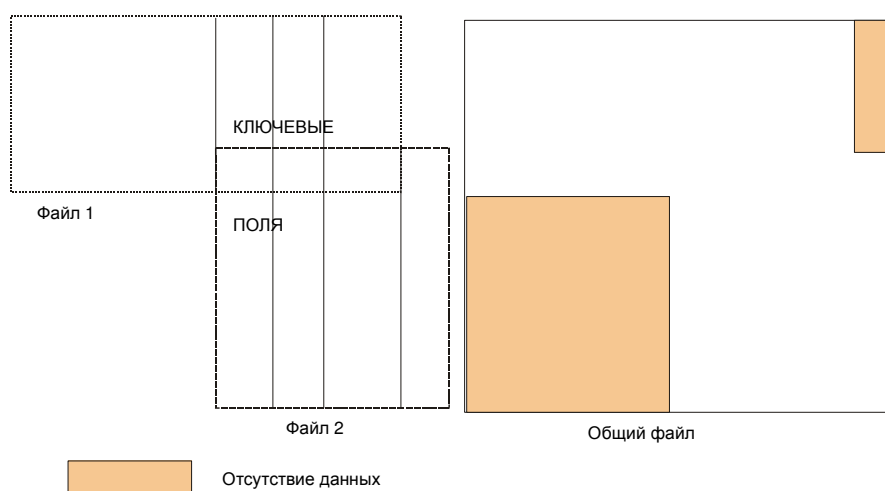
Время от времени наступает ситуация, когда используемые данные требуют корректировки или дополнения.

Исправления лучше всего вносить в первичные данные, сформированные в программе Excel. Далее необходимо снова пройти весь процесс импорта, проверки и объединения информации. Лишь в исключительных случаях с целью экономии времени можно вносить исправления прямо в файлы Датамайн, но с обязательной записью в рабочем журнале о выполненных корректировках.

При появлении новой информации лучше создавать новые наборы файлов, вводить их в Датамайн, проверять, корректировать и объединять. После этого новая информация одним из процессов объединения Датамайн соединяется с уже имеющимися и проверенными данными.

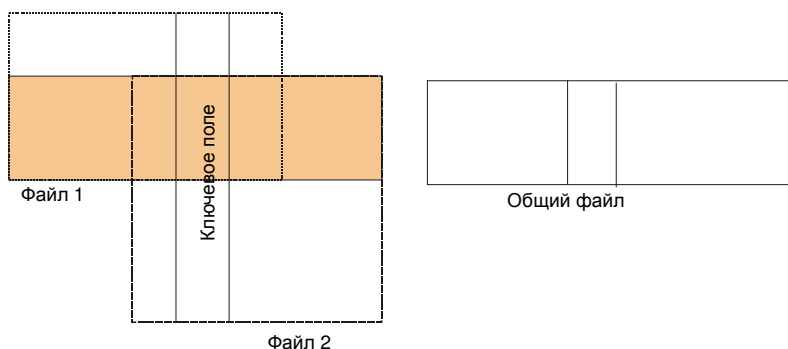
Процессы Датамайн, производящие объединение информации:

- JOIN – объединяет 2 отсортированных файла по указанным ключевым полям. Все входные поля и записи входных файлов выводятся в выходной файл.

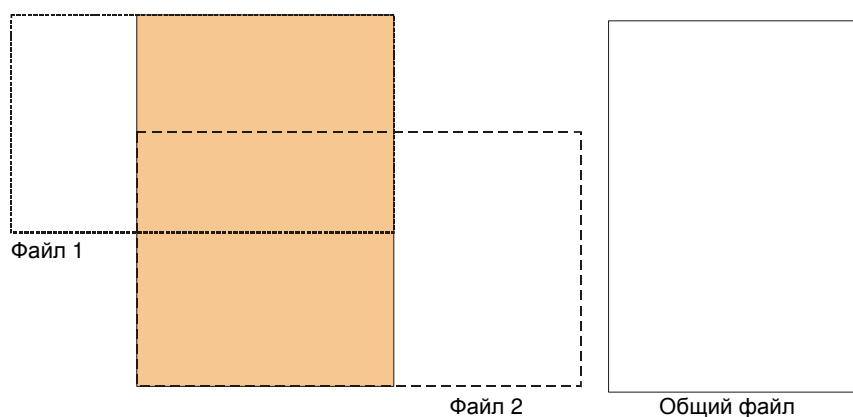


- ANYJOIN – делает то же самое, но с несортированными файлами, предварительно сортируя их

- SUBJOI – объединяет 2 сортированных файла по указанным ключевым полям. В выходной файл выводятся все входные поля и совпадающие записи входных файлов.



- SUBWVE - делает то же самое, но выводит только совпадающие поля и записи входных файлов.
- APPEND – дописывает (прибавляет) 1 файл данными другого файла.
- SPLAT – соединяет файлы с соответствующими записями сбоку
- WEAVE - объединяет 2 сортированных файла по указанным ключевым полям. В выходной файл выводятся совпадающие входные поля и все записи входных файлов.



3.2 Геостатистическое исследование месторождения.

3.2.1 Понятие о геостатистике и вариограмме

Во второй части книги приведено подробное описание классической линейной геостатистики. Однако, учитывая, что первая часть иногда может использоваться как отдельная книга и, чтобы не гонять читателя в разные места по не очень существенным причинам, автор взял на себя смелость продублировать здесь отдельные параграфы изложенного во второй части материала.

В 60-х годах нашего столетия в мире появилась и начала стремительно развиваться новая теория оценки пространственных переменных - ГЕОСТАТИСТИКА.

Она способна решать на одной базовой исходной геологической информации многие геолого-оценочные, проектные и плановые задачи, возникающие на всех стадиях разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Для этого имеются развитое программное обеспечение и методология, а также громадный практический опыт геологов и горняков во всем мире.

Как и любая другая теория, геостатистика имеет свою область применения и не может использоваться повсеместно с одинаковой эффективностью. **Необходимое условие для нее - наличие достаточно надежной корреляционной связи между**

пробами в пространстве и отсутствие в исследуемой зоне резких изменений свойств оцениваемой среды (тектонические нарушения и т.п.). Второе практически обязательное условие - это наличие достаточно мощного компьютера для обработки массивов первичных геологических данных.

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.3.11). 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.

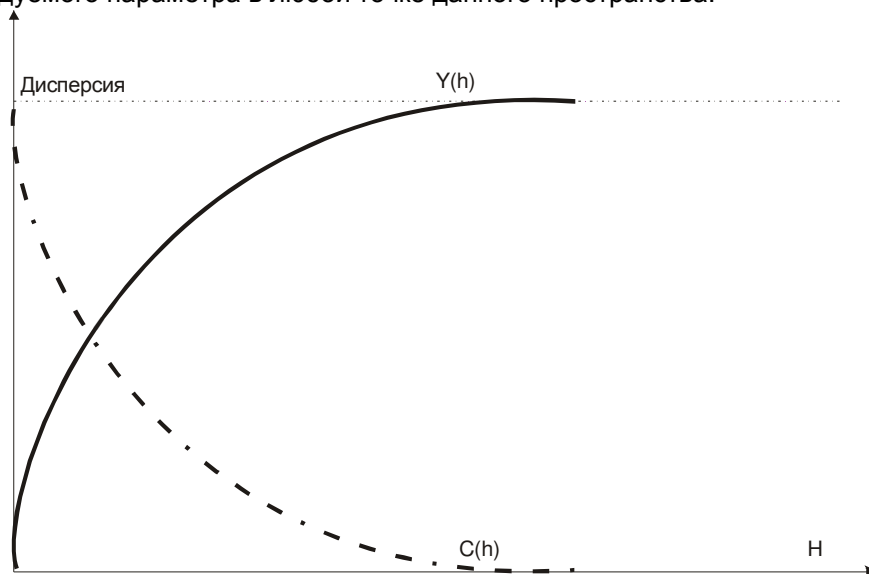


Рисунок 3.11. Вариограмма начинается с нуля и возрастает до значения порога (дисперсии массива данных), а пространственная ковариационная функция начинается от дисперсии и уменьшается до нуля.

Вариограмма измеряет степень корреляционной связи между пробами в пространстве. Она обычно характеризуется 3-мя главными параметрами (рис. 3.17).

- **Эффект самородка (ЭС)** – 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** – это обычно величина дисперсии проб. Когда вариограмма достигает порога, она часто выполаживается, т.е. больше не растёт.
- **Зона влияния** – 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.

Стадии процесса создания вариограммной модели исследуемого объекта:

- анализ, контроль и группировка исходной информации;
- построение экспериментальных вариограмм;
- исследование полученных функций на наличие различных эффектов;
- создание пространственной модели вариограммы.

Ниже все эти стадии рассматриваются более подробно.

3.2.2 Расчет экспериментальных вариограмм

3.2.2.1 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?

Более подробное изложение этой порции материала приведено в части 2.

3.2.2.2 Вариограмма

Подробное рассмотрение вариограмм приведено во второй части книги. Здесь мы ограничимся лишь практическими рекомендациями по расчету экспериментальных функций.

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**. Он имеет следующие преимущества по сравнению с более ранними версиями.

- 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.3.12).

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 пробками. 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 **CYL RAD**. 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. 3.2). 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 **CYL RAD** = 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

Если нет, то они должны 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. Их отличия приведены ниже.

C_i - номер бортов i , где $1 \leq i \leq 24$.

C_0 – очень большое отрицательное число.

C_{n+1} - очень большое положительное число.

n - число бортов.

l_i - значение индикатора для борта i .

g - содержание в пробе.

Обычный метод:

Если $g \leq C_i$, то $l_i = 0$.

Если $g > C_i$, то $l_i = 1$.

Nested Method, Bottom Up (метод вложения – вверх):

Если $g \leq C_{i-1}$, то $l_i = -$ (отсутствие данных).

Если $C_{i-1} < g \leq C_i$, то $l_i = 0$.

Если $g > C_i$, то $l_i = 1$.

Nested Method, Top Down (метод вложения – вниз):

Если $g \leq C_i$, то $l_i = 0$.

Если $C_i < g \leq C_{i+1}$, то $l_i = 1$.

Если $g > C_{i+1}$, то $l_i = -$ (отсутствие данных).

Значение индикатора «-» означает, что проба не используется в расчете вариограммы для данного борта. Если выбран расчет индикаторных вариограмм, то кроссвариограммы не рассчитываются.

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.

3.2.2.3 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.

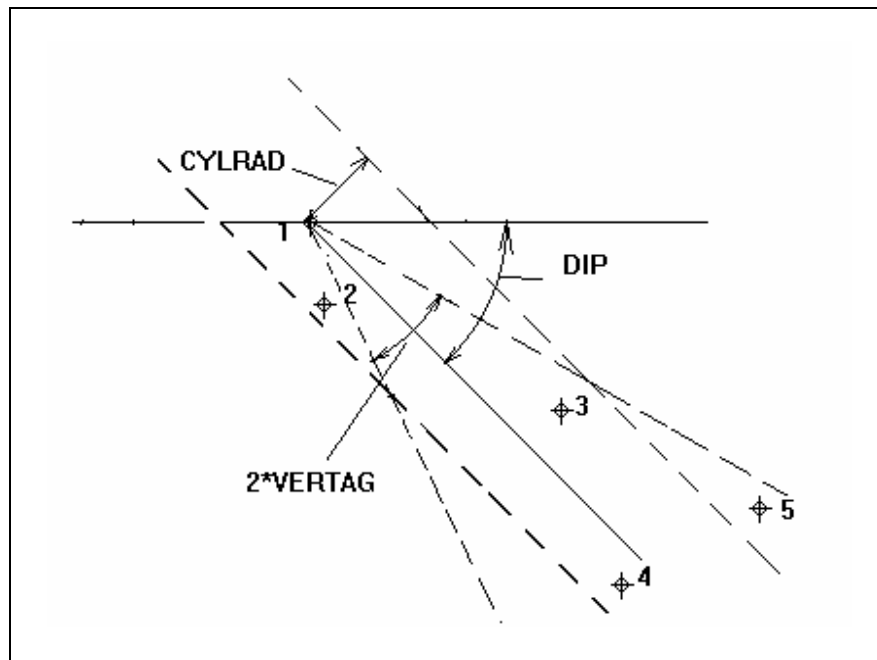


Рисунок 3.12. Пример, показывающий принцип выбора пар проб в программе VGRAM.

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 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.

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 горном компьютерном мире существуют программы, которые определяют основные оси анизотропии исследуемых массивов. Одна из таких программ - VISOR австралийской компании Сноуден (Snowden). Она рассчитывает для рассматриваемых участков массива круговые диаграммы, на которых можно идентифицировать направление основных структур залежи.

Можно выполнить такие расчеты и в системе Датамайн. Для этого сначала необходимо рассчитать секторные вариограммы в горизонтальной плоскости, например, через 10 градусов в пределах азимута: 0-180 градусов. Таким образом, будет оценено все пространство в горизонтальной плоскости. Затем нужно рассчитать координаты X и Y каждой точки вариограммы, после чего - построить блочную модель плоскости (1 слой блоков), по которой проинтерполировать значение вариограммы (нормальной, относительной или лог-нормальной). Полученная круговая картина позволит судить о направлении основной структуры массива в горизонтальной плоскости. Можно не создавать блочной модели, а просто создать чертеж изолиний значений вариограммы в горизонтальной плоскости (рис. 3.13.).

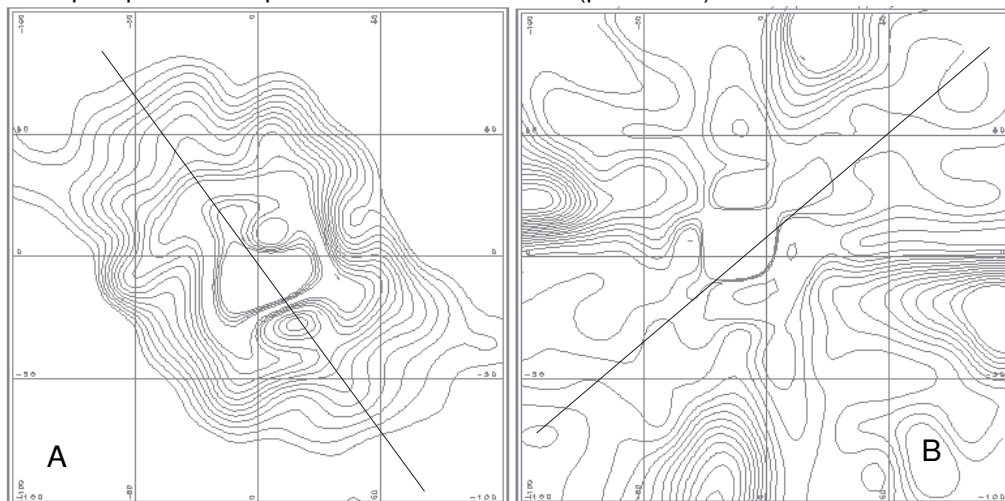


Рисунок 3.13. Пример круговой вариограммы для золоторудного месторождения. А – в горизонтальной плоскости, В – в вертикальной плоскости вдоль линии на левом чертеже. Линиями показаны направления главной структуры массива: $AZI=325^{\circ}$, $DIP=40^{\circ}$.

Далее необходимо измерить азимут направления, в котором изменчивость содержания 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. 3.13.). Теперь мы знаем, в каких направлениях следует

рассчитывать основные вариограммы для данного содержания. Одно из них (падение) характеризуется полученными: азимутом (на горизонтальной плоскости) и вертикальным углом (в вертикальной плоскости). Второе и третье направления (простираение и вкрест простираения) будут размещаться перпендикулярно ему в вертикальной и наклонной плоскостях.

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, рекомендуется поочередно рассматривать взаимно-перпендикулярные вариограммы для определения основных структур. 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. 3.14.

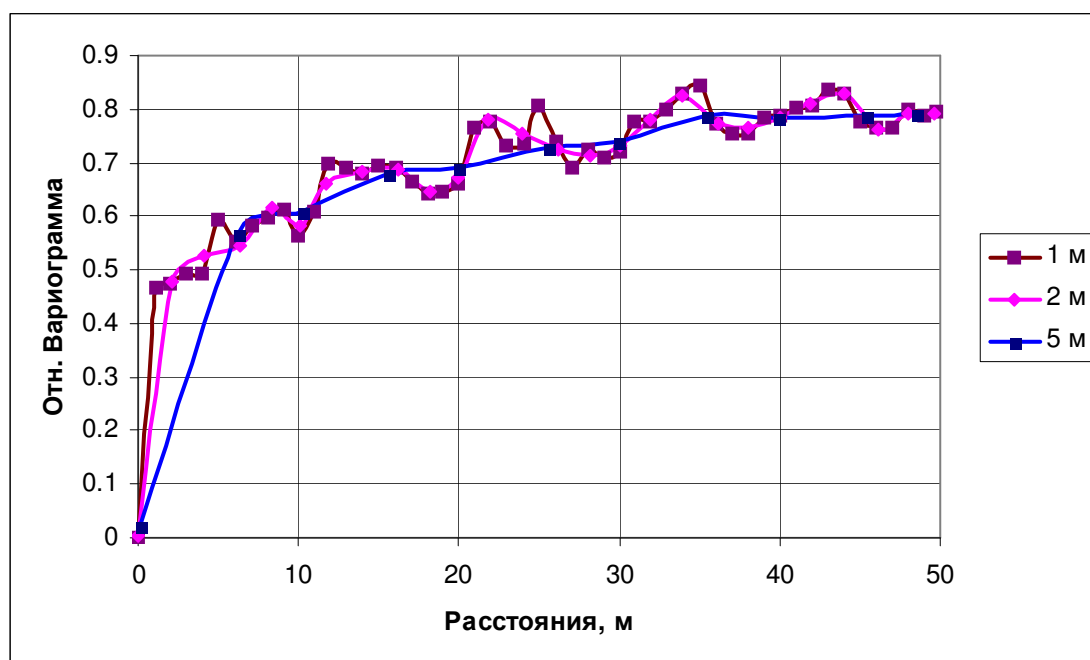


Рисунок 3.14. Влияние размера лага на характер изотропной вариограммы A_g для золоторудного месторождения

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 величина **среднего** квадрата разности относительно расстояния, или
- в виде облака всех точек квадратов разностей относительно расстояний - «вариограммного облака».

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.

3.2.2.4 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.3.15).

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 (см. часть 2).

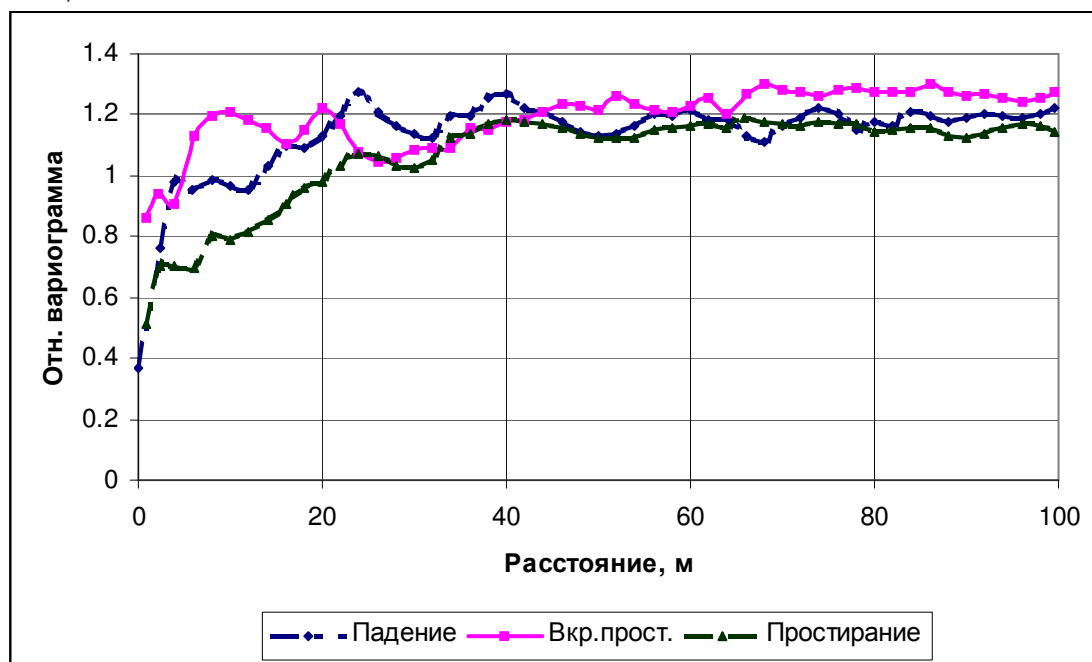


Рисунок 3.15. Вариограммы Zn для 3-х взаимно перпендикулярных направлений главных структур массива месторождения

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.

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.

3.2.3 Подбор моделей вариограмм

Для подробного ознакомления с теоретической частью этого раздела автор вынужден рекомендовать читателю обратиться к соответствующей главе части 2.

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 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.

Опыт подсказывает, что аналитическая форма модели не так важна, как ее главные свойства. Расположим их в порядке уменьшения важности (см. рис. 3.17):

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

Поведение 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.

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 присутствует 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.

3.2.3.1 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.

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.

Сферическая, с помощью которой может быть описано большинство экспериментальных функций. Эта модель имеет линейное поведение в начале координат и порог (С), обычно равный дисперсии исследуемого массива проб. Возрастая, функция достигает порога на расстоянии $h = A$, а при $h > A$ остается равной С. Касательная, проведенная к этой функции от начала координат, пересекает линию порога на расстоянии $h = 2A/3$ от начала координат (Рис.3.16, 3.17).

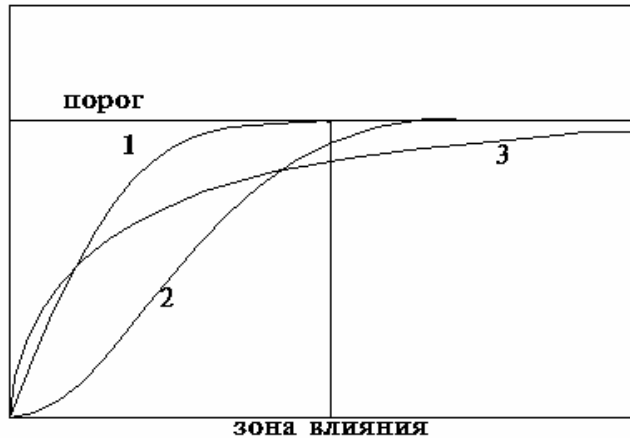


Рисунок 3.16 Пороговые модели вариограмм: 1- сферическая, 2- Гаусса, 3- экспоненциальная.

Экспоненциальная модель (Рис. 3.16) похожа на сферическую, но имеет более пологий характер и достигает порога на расстоянии $h = 3A$. Касательная к функции от начала координат пересекает порог при $h = A$.

Модель Гаусса (Рис.3.16) 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.

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

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.

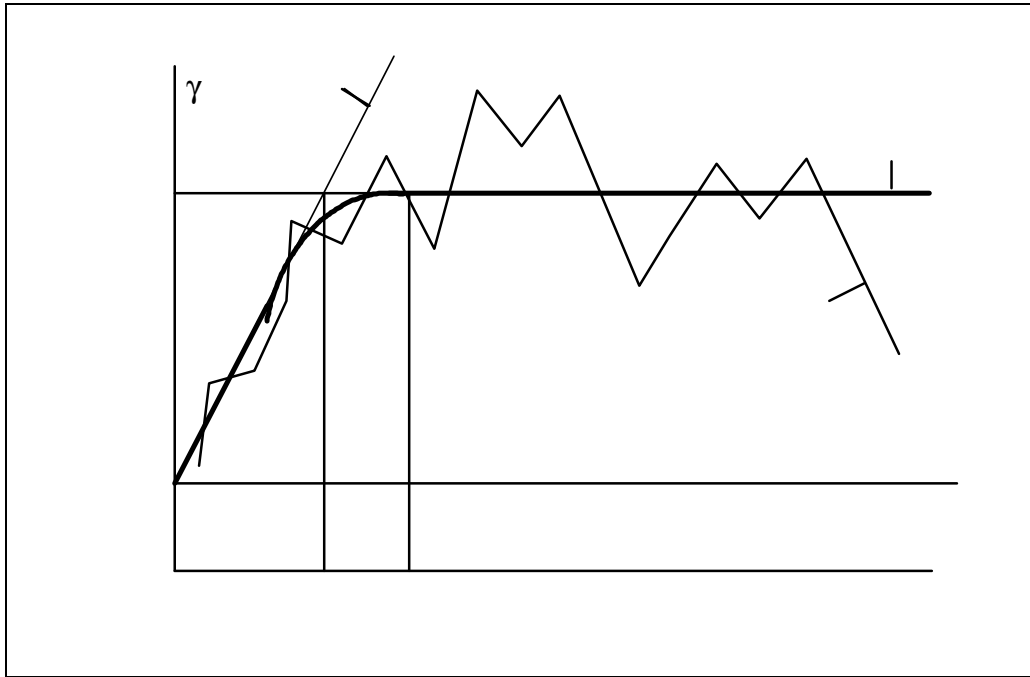


Рисунок 3.17. Визуальный подбор сферической модели

3.2.3.2 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.

В большинстве случаев бывает достаточно визуальной подгонки моделей. Очень просто, например, вручную подобрать модель к сферической функции (аналогично - и к экспоненциальной), рис 3.17. 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.3.18), описываемыми различными моделями.

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.

В разных компьютерных системах, как правило, имеются специальные программы для визуальной интерактивной подгонки моделей к экспериментальным вариограммам.

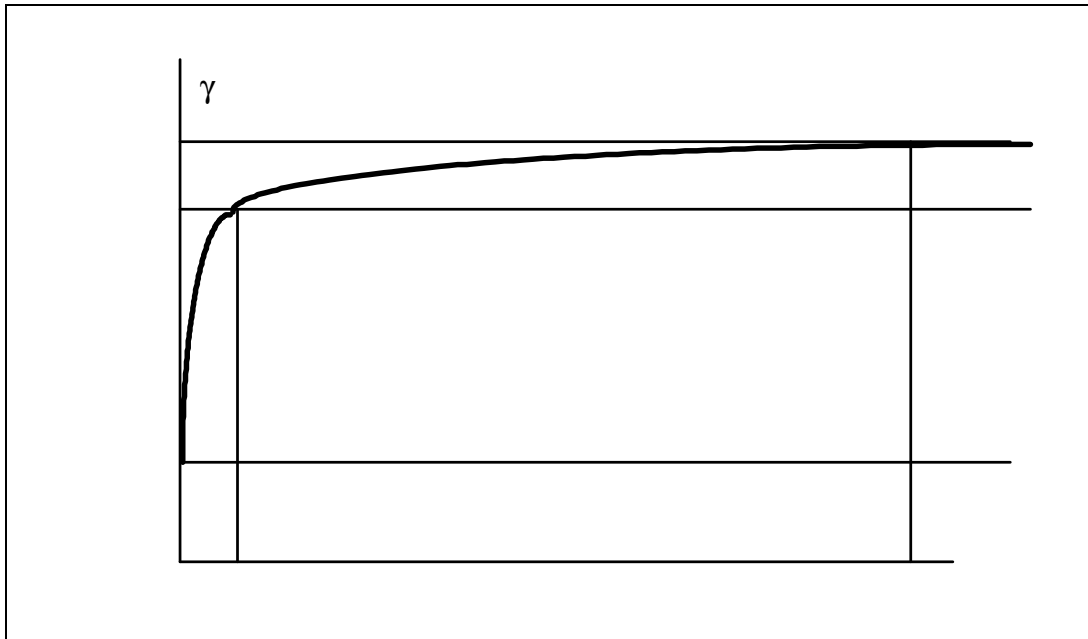


Рисунок 3.18. Пример двух структурной сферической модели вариограммы. A1 и C1 - параметры первой модели, A2 и C2 - параметры второй модели

При работе с этими программами одна или несколько экспериментальных вариограмм показываются на экране. Пользователь может выбрать из предлагаемых моделей наиболее подходящую, визуально подогнать ее к экспериментальному графику. Когда нужная модель выбрана, то она может быть сохранена в выходном файле или выведена на плоттер в виде чертежа, внизу которого содержатся все требуемые параметры модели (рис. 3.19). Такой процесс (VARFIT) имеется и в системе Датамайн. Он позволяет в полуавтоматическом или интерактивном режиме подобрать требуемую модель (в том числе и пространственную) для экспериментальных вариограмм. Доступные виды функций:

- Сферическая
- Гауссова
- Экспоненциальная
- Степенная
- Логарифмическая

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

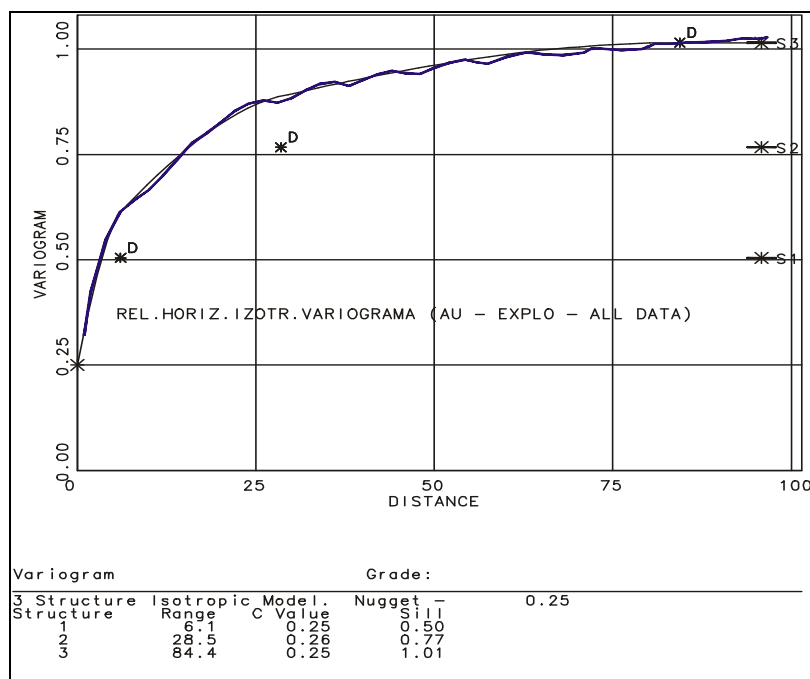


Рисунок 3.19. Пример подбора трехструктурной сферической модели вариограммы с помощью процесса VARFIT системы Датамайн.

3.2.3.3 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.3.20):

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: A, B и C. 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.

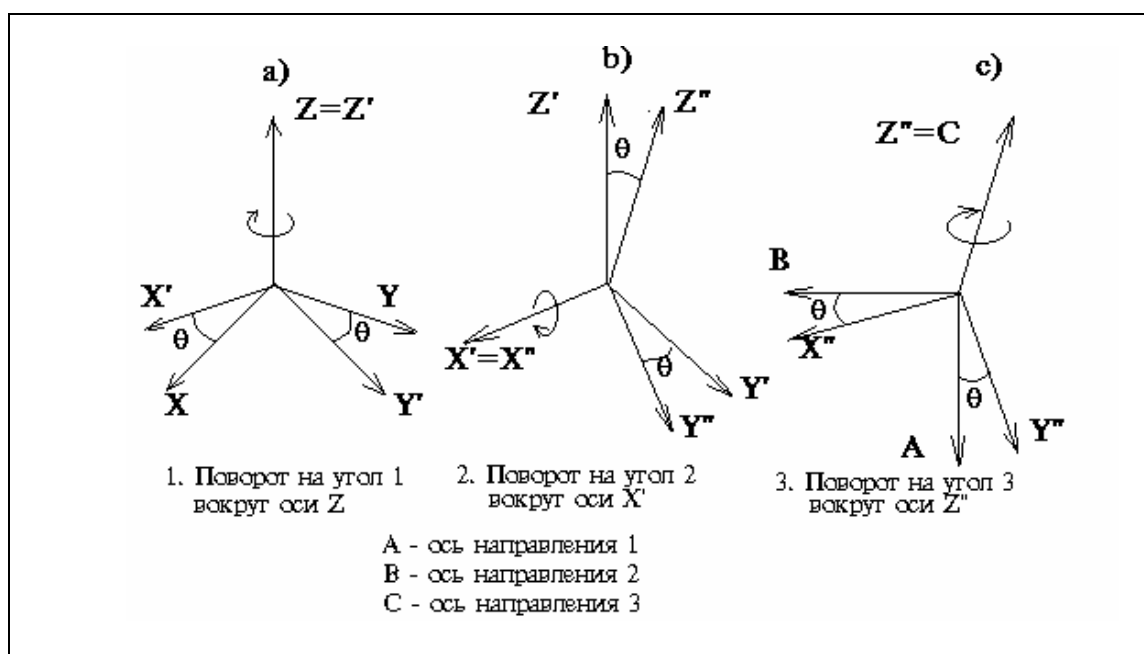


Рисунок 3.20. Поворот осей системы координат к эллипсоиду: а - угол P, б - угол Q, с - угол G.

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

Требуется 18 параметров: (в каждой группе -3 параметра, соответственно для осей: A, B и C)

P 1-P3 - Эффект самородка (C_0) для осей A, B, C

P 4-P6 - Разница между порогом первой структуры вариограммы и C_0 - (C_1)

P 7-P9 - Зона влияния (A_1) для первой структуры

P10-P12 - Разница между порогом второй структуры вариограммы и (C_0+C_1) - (C_2)

P13-P15 - Зона влияния (A_2) для второй структуры

P16-P18 – Углы поворота системы координат: 1, 2, 3.

Подробнее о способах задания параметров вариограммных моделей для кригинга сказано в разделе 3.6.

3.2.4 Проверка надежности вариограммных моделей

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) 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.

Рассмотренная процедура проверки параметров модели получила еще одно название - процедуры пропуска одного наблюдения.

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. Диаграмма разброса оценок и реальных содержаний, получаемая на выходе процесса XVALID, показана на рис. 3.21.

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.

После расчета оценок содержаний в пробах методом перекрестной проверки, с помощью корреляционного анализа возможно оценить насколько далеко точки полученной диаграммы рассеяния удалены от линии $X = Y$, т.е. вычислить коэффициент корреляции фактических и оцененных величин. Та модель, которая даст более высокий коэффициент, будет предпочтительней для использования, чем другие.

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.

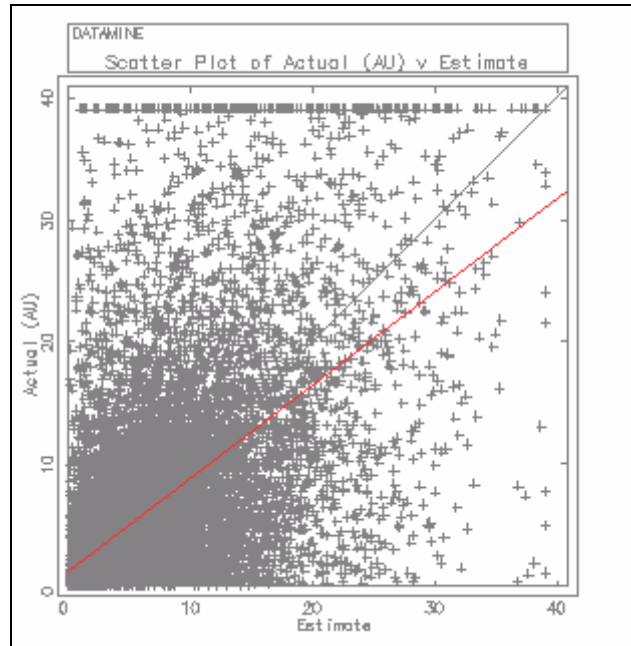


Рисунок 3.21. Диаграмма разброса, формируемая процессом XVALID. Серая линия – теоретическая, красная – фактическая линия регрессии. Чем они ближе друг к другу и чем меньше разброс точек, тем лучше подобрана вариограммная модель

3.3 Создание каркасных моделей месторождений

3.4.1 Оконтуривание рудных тел и зон минерализации

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

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.

Если информация введена на вертикальных сечениях, то пересчет 2-х мерных координат в 3-х мерные производится следующим образом.

При установке опорных точек (ввод графики дигитайзером, см. 3.2) координата Y плоскости чертежа будет соответствовать реальной координате Z, а координата X - координате X или Y. Надо очень внимательно проанализировать обозначения сетки разреза, в узлах которой обычно располагаются опорные точки, чтобы понять, к какой координате привязаны вертикальные линии сетки. На одном из планов должны быть введены линии вертикальных сечений, с которых будет сниматься информация. Координаты 2-х точек каждой из этих линий экспортируются в Excel. Туда же экспортируется и файл контуров, снятых с разреза.

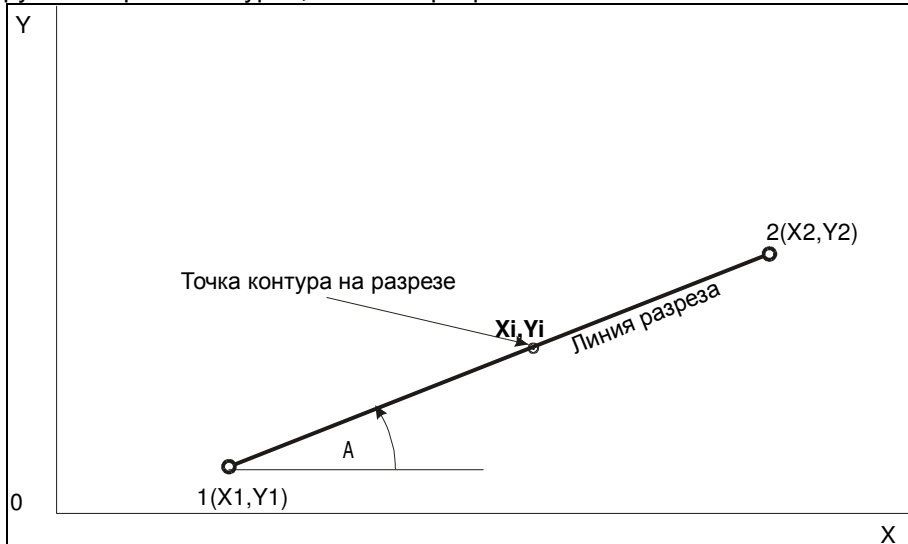


Рисунок 3.22. Схема к расчету истинных координат точек контуров, снятых с вертикальных разрезов.

Пересчет координат X, Y выполняется с учетом схемы, изображенной на рис. 3.22, и приведенных ниже формул.

$$\text{Угол } \alpha \text{ равен } \arctg \frac{(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)} \quad (3.1)$$

Координата X_i (Когда известна координата Y_i):

$$X_i = \frac{Y_i}{\text{tg}(\alpha)} \quad (3.2)$$

Координата Y_i (Когда известна координата X_i):

$$Y_i = X_i * \text{tg}(\alpha) \quad (3.3)$$

Такой пересчет делается для каждой точки файла контуров, после чего файл импортируется в систему Датамайн. Эту операцию можно также делать непосредственно в Датамайн с помощью процесса EXTRA.

Иногда геологам 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. Загружается файл проб, по которым предполагается производить оконтуривание.
2. Создается легенда, т.е. пробы на экране раскрашиваются в соответствии с заданными интервалами содержания, типами руд и пород и т.п.
3. Выбираются линии сечений, на которых будет производиться оконтуривание. Сечения могут быть вертикальные, горизонтальные или наклонные. Чаще всего оконтуривание делается на вертикальных сечениях.

4. 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. 3.23. 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) околонтурены 2 богатые зоны и вокруг них – зона с бедным содержанием. При создании контура бедных руд использовано композирование.

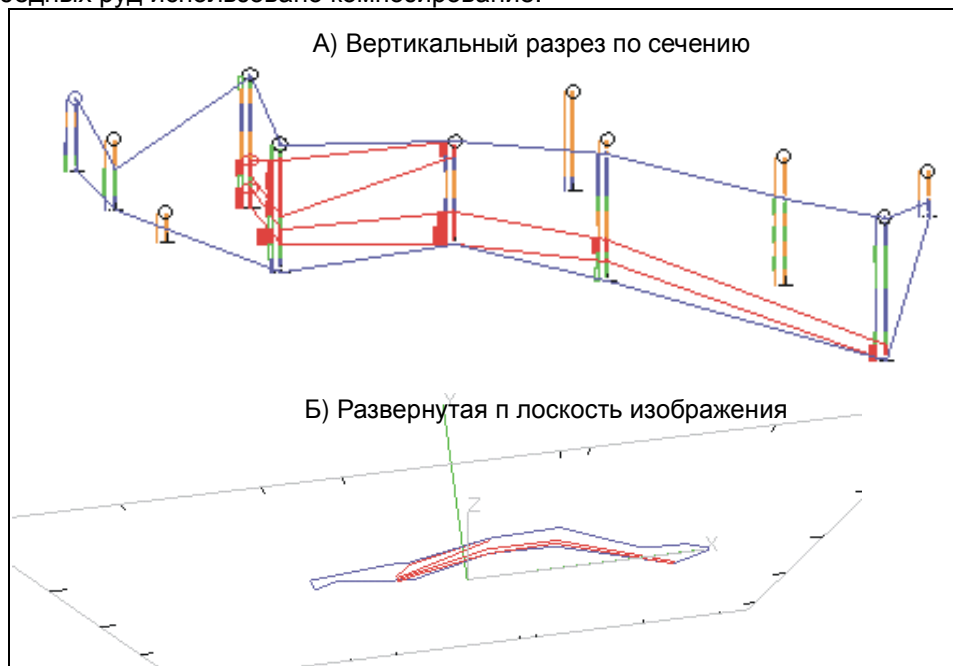


Рисунок 3.23. Создание 3-х мерных контуров на вертикальном разрезе.

С помощью редактора данных опробования (Drill hole Editor) Датамайн производилось объединение смежных проб, 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 (рис.3.24), соответствующих различным пространственным объемам, которые по мнению геолога должны быть учтены в модели месторождения.



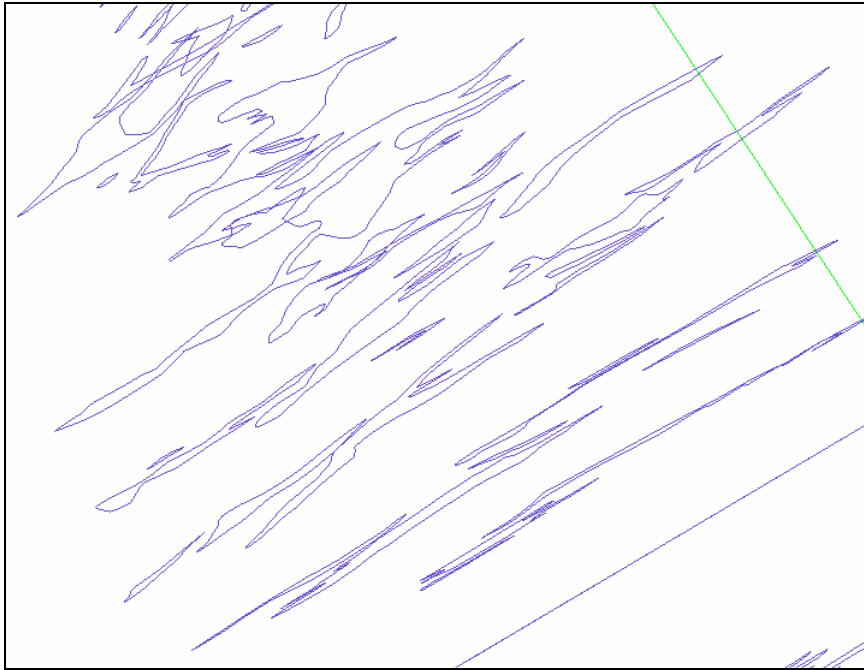


Рисунок 3.24. Изометрическое изображение части контуров рудных тел на вертикальных разрезах золоторудного месторождения.

Замечание. Перед началом оконтуривания рудных зон на планах или разрезах очень полезно согласовать принципы этой работы с ведущим геологом по данному месторождению (главным геологом). 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.

3.3.1 Создание каркасных моделей пространственных объектов

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. 3.25). На заключительной стадии каркас замыкается специальными поверхностями, создаваемыми на конечных контурах.

Но в некоторых случаях эта операция усложняется из-за:

- Замысловатой 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

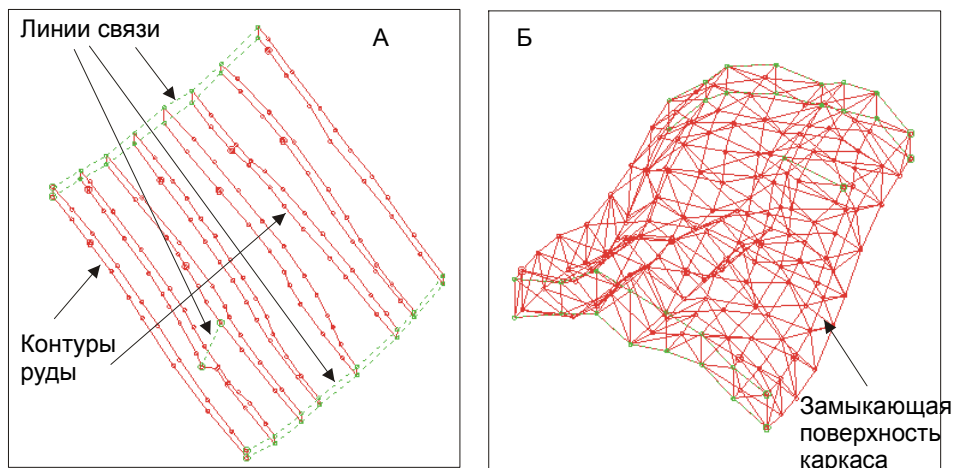


Рисунок 3.25. Стадии процесса создания каркаса: А) связывание контуров, Б) триангуляция и замыкание каркаса.

Часто возникает необходимость создавать каркасы подземных выработок для последующего их «вырезания» из рудных моделей. Обычная технология их создания описана в разделе (модуле) проектирования подземных рудников и заключается в следующем.

1. Дигитайзером вводятся горизонтальные контуры системы подземных выработок по каждому горизонту
2. Эти контуры совмещаются с маркшейдерскими точками (по координате Z), чтобы учесть уклон и истинное положение контура в подошве выработок.
3. Задается высота выработок и по каждой выработке (с помощью команд модуля подземного проектирования) создается замкнутая каркасная модель

Естественно, что эту операцию можно выполнить средствами обычного каркасного моделирования. Для этого потребуется копировать контур выработки на расстояние равное ее высоте, и по 2-м полученным контурам строить замкнутый каркас. Пример такой модели показан на рис. 3.35.

3.3.1.1 Соединение контуров сложной формы

На рис.3.26 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.

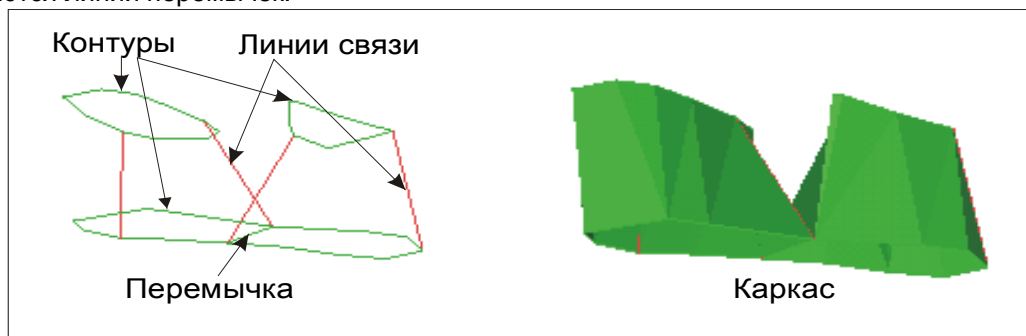


Рисунок 3.26. Моделирование разветвления каркаса.

Схождение нескольких частей рудных тел в одно производится точно также, но в обратном порядке (Рис.3.27)

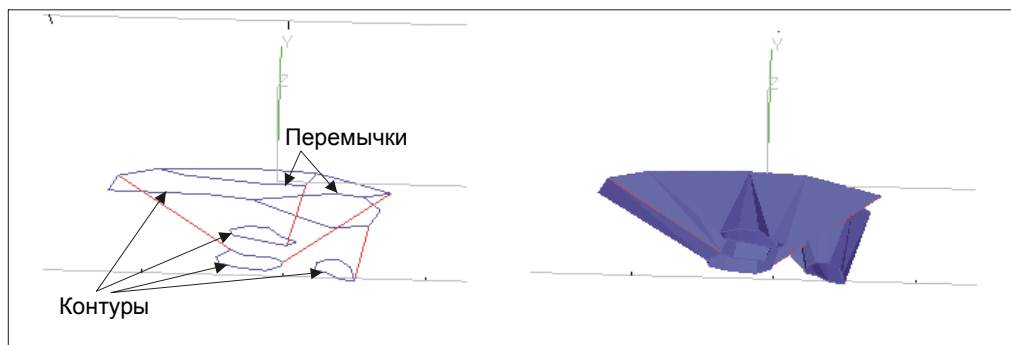


Рисунок 3.27. Моделирование схождения каркаса

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»

3.3.1.2 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. 3.28 показан первый случай, в котором используется команда «Link to Line».

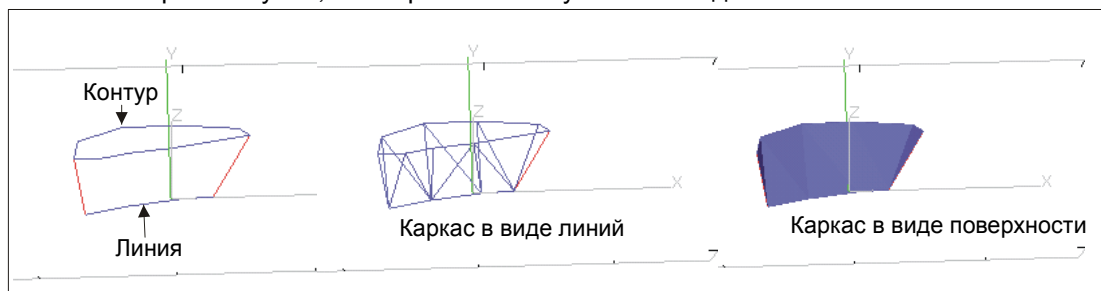


Рисунок 3.28. Выклинивание рудного тела в линию

3.3.1.3 Проверка вхождения кондиционных проб в каркас

Интерполяция содержаний по блочной модели (см. главу 3.5) 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. Часто это происходит при работе с плоскими контурами, которые строятся по пробам, спроецированным на рабочую плоскость сечения (рис.3.29).

Особенно внимательным следует быть при включении в каркас бороздовых проб поверхности, которые часто по той или иной причине «вылетают» из 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.

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.

Для того, чтобы гарантированно вместить в каркас пробы поверхности 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.

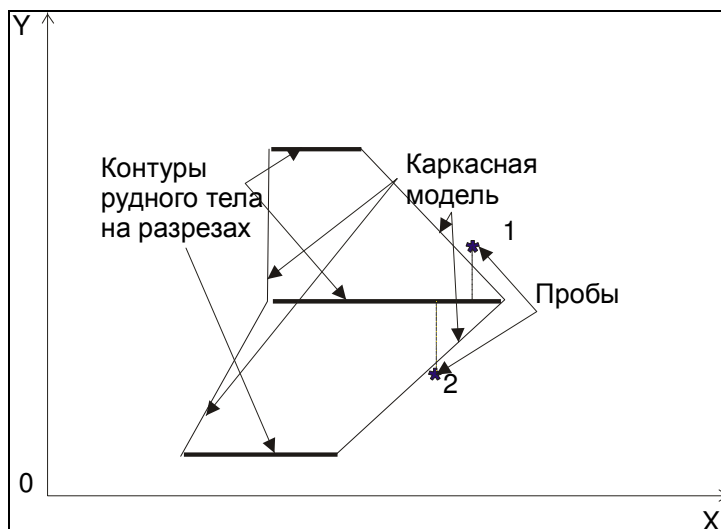


Рисунок 3.29. Схема, объясняющая исключение проб 1 и 2 из каркасной модели при создании плоских контуров.

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

3.3.1.4 «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:
 - 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.
 - Измените положение каждой из линий связи
 - С помощью сокращения числа точек в одном из контуров (команда «Reduce Points») добейтесь, чтобы расстояние между точками в обоих контурах было примерно равным
 - Попробуйте соединить контуры по частям. Для этого создайте на обоих контурах соответствующие перемычки и соединяйте контуры по частям.

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 перехлестывания. В этих случаях бывает полезным: сократить число точек в линии контура командой «Reduce Points», замкнуть линию, а также использовать процесс Датамайн «CHECKIT» для удаления дублирующих точек.

3.3.1.5 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). Если программа это сделает, то Ваш каркас достаточно надежен. Если нет, то Вы получите сообщение о необходимости произвести проверку каркаса.

Для проверки каркасов используется команда «wireframe-verify». С помощью установок могут быть открыты следующие опции такой проверки:

- Показ открытых (незамкнутых) ребер, т.е. мест, где каркас обрывается.
- Показ соприкасающихся ребер разных каркасов.
- Показ пересечений каркасов
- Перенумерация каркасов в группе. Для использования этой опции с целью объединения нескольких каркасов в одну группу необходима предварительная выборка нужных объектов с помощью фильтров..
- Проверка каркасов на наличие дублирующих точек и удаление их. Дублирующими считаются точки, расстояние между которыми меньше или равно расстоянию, установленному командой «set-tolerance»

По желанию пользователя все места с ошибками будут обозначены линиями, показываемыми на экране. 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 (переключатель «twd») и включением изображения их сечений плоскостью изображения (переключатель «tws!»). 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.

3.3.2 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. 3.30.

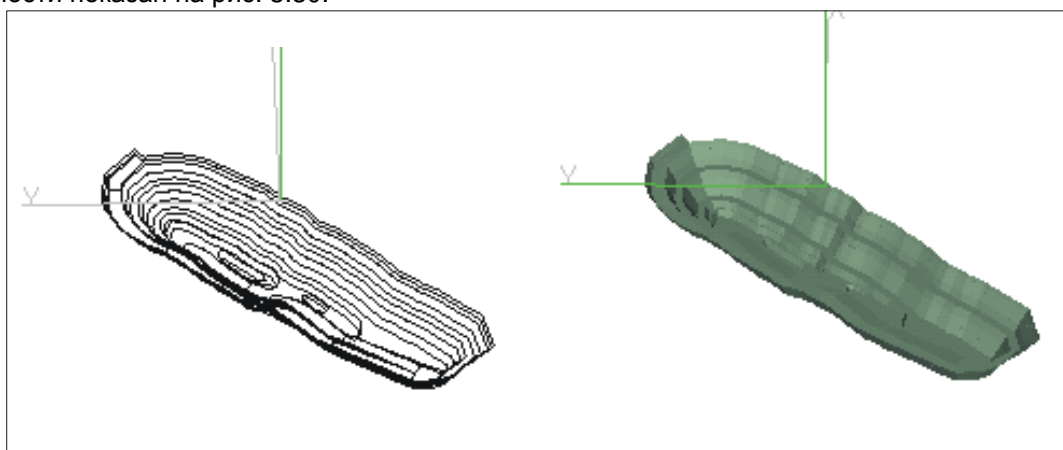


Рисунок 3.30. Пример создания поверхности карьера

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.3.31).

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».

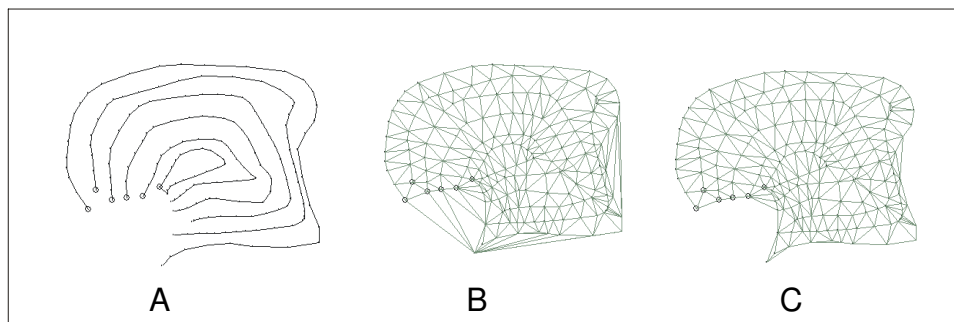


Рисунок 3.31. Создание модели поверхности по участку с отсутствующими данными. В – максимальное расстояние не ограничено. С – введено ограничение 70 м. Внешняя граница не устанавливалась.

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.

3.3.3 Манипуляции с каркасами.

Созданные каркасы можно объединять, отрезать, комбинировать и т.п. В системе Датамайн существует процесс **SELTRI**, с помощью которого 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.

Команда «**wf-merge**» разделяет каркасы на отдельные части в местах их пересечения (Рис. 3.32, 3.33).

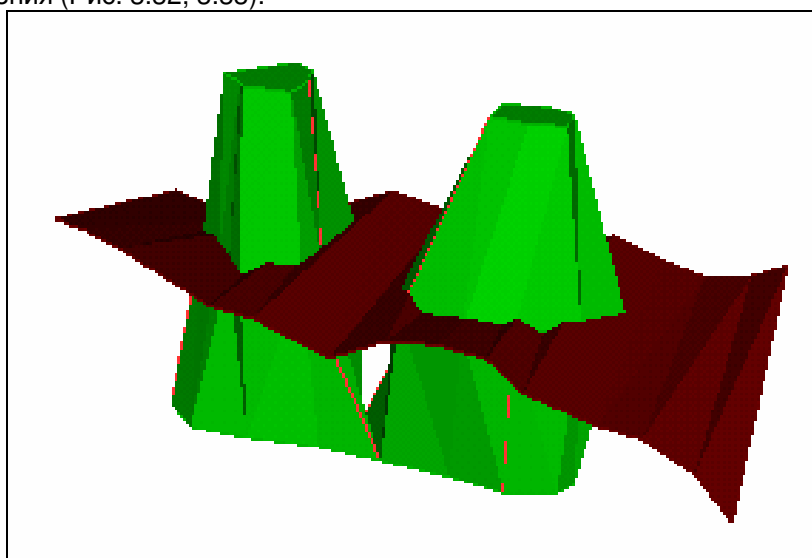


Рисунок 3.32. Начальный вид пересекающихся каркасов.

После выполнения этой команды Вы можете удалить ненужные части каркасов и сохранить необходимые для дальнейшей работы. Она очень удобна при объединении поверхности карьера с топографией. Она может работать как с открытыми так и с замкнутыми каркасами.

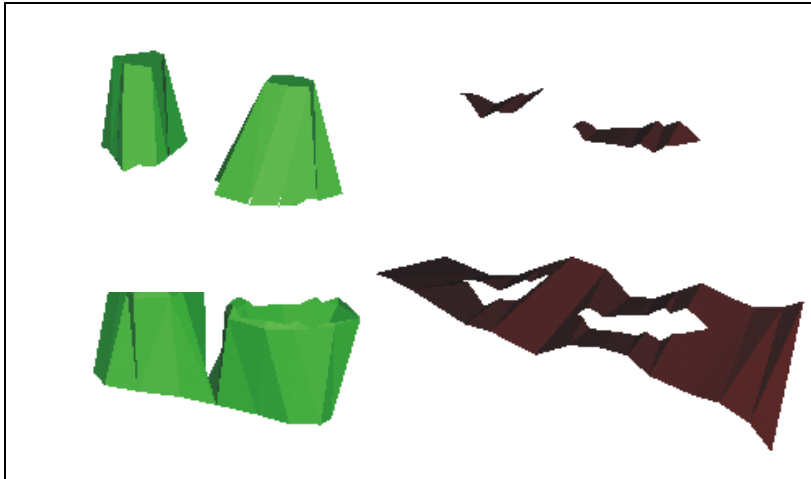


Рисунок 3.33. Разделенный на отдельные части каркас (рис. 3.32).

Команда «**wf-union**» выполняет объединение замкнутых каркасов, оставляя только наружные их части (рис. 3.34).

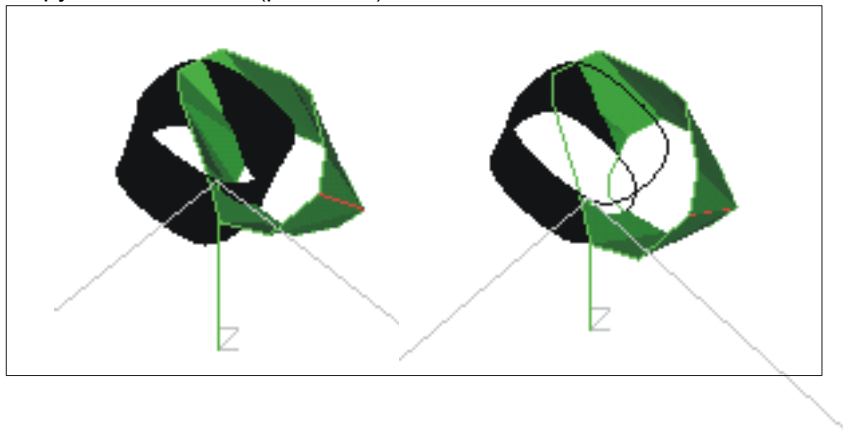


Рисунок 3.34. Два каркаса до и после объединения.

Команда «**wf-intersection**» является обратной по отношению к предыдущей и оставляет только общий объем 2-х пересекающихся замкнутых каркасов. Например, в случае, показанном на рис. 3.34, она оставит только внутреннюю (общую) часть каркасов, удалив наружные их части.

Команда «**wf-difference**» выполняет вычитание каркасов, т.е. оставляет только ту часть первого выбранного каркаса, которая находится снаружи второго. Одно из направлений ее использования – вычитать каркас подземной выработки (например – штрека) из каркаса очистного блока.

Команда «**wf-split**» разрезает каркас текущей плоскостью изображения. После этого Вы можете удалить любую часть разрезанного каркаса.

Вы можете разрезать каркас любым количеством параллельных плоскостей (регулярные сечения), расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга. Эти сечения могут быть затем преобразованы в линии.

С помощью инструментов каркасного моделирования можно выполнить и некоторые другие работы:

Отредактировать существующий каркас поверхности с учетом новых маркшейдерских точек. Это полезно использовать при корректировке нижней части модели карьера после его очередной углубки.

Спроецировать каркас поверхности на текущую плоскость изображения. В итоге Вы получите замкнутый каркас, который с одной стороны является первичной поверхностью, а с другой – плоскостью изображения.

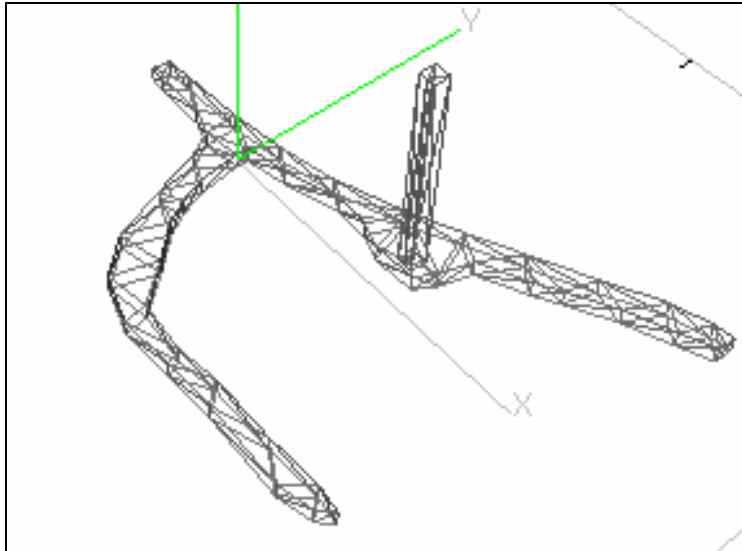


Рисунок 3.35. Пример создания каркаса подземных горных выработок.

3.4 Блочное моделирование месторождений

3.4.1 Структура блочных моделей

Цель моделирования рудного тела заключается в точном представлении не только качества и запасов месторождения, но также его границ и внутренней структуры. Эта цель достигается применением для создания модели различных методов интерполяции.

Система Датамайн способна моделировать все типы залежей полезных ископаемых и представляет собой мощный набор инструментов для решения широкого круга задач, связанных с моделированием. В ней используется несколько типов встроенных интерполяционных процессов, включающих: метод обратных расстояний, ближайших скважин (или многоугольников), линейный и логнормальный кригинг, а также интерполяцию поверхностей для пластовых и топографических моделей.

Любой тип модели описывает регион в трехмерном пространстве. Модель обычно представляет собой совокупность зон, рудных тел, подсчетных блоков и т.д. и т.п. которые рассматриваются, интерполируются и оцениваются отдельно. Таким образом, определение структуры модели и ее составляющих - отдельная проблема, которую необходимо решить перед выбором метода интерполяции. Критерий для определения размеров и расположения отдельных частей (субрегионов) модели связан не только с геостатистическими свойствами массива, но также с пространственным расположением скважин, горным давлением, геологией, топографией и другими характеристиками объекта

Простейший тип трехмерной модели месторождения – это прямоугольная пространственная решетка, где каждая ячейка имеет одинаковую ориентацию и содержит единственную характеристику для каждой переменной. Это наиболее общий тип модели, используемый в большинстве горных систем, потому что его структура наиболее удобна для эффективного применения в компьютерных расчетах. Поэтому в Датамайн используется именно этот тип модели. На рис. 3.36 показан один уровень (горизонтальный слой) такой модели.

Для того, чтобы добиться точного описания геологических границ, включающих такие особенности, как дайки, сбросы и, конечно, - топографию, все ячейки модели должны быть достаточно малы. Поэтому в ДАТАМАЙН (в отличие от большинства других систем) используется модель с подъячейками, которые получают делением основных блоков (ячеек) модели на маленькие пространственные объемы, каждый из которых содержит полный набор информации, как и основная (родительская) ячейка (рис.3.36). DATAMINE. предусматривает деление ячеек на подъячейки и по вертикали, и по горизонтали.

Структура модели внутри DATAMINE является файлом базы данных (таблицей, матрицей), подобным другим файлам системы. Это позволяет использовать для манипуляций с моделью любые фильтры и критерии.

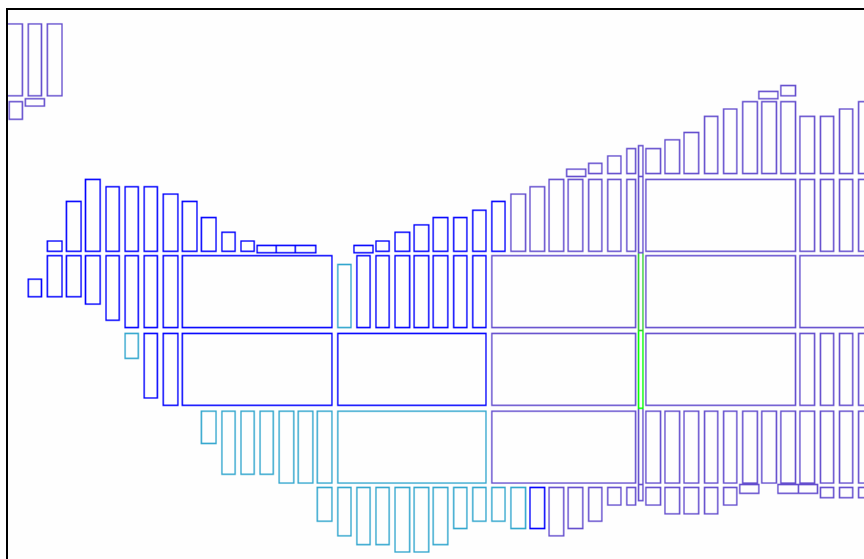


Рисунок 3.36. Один слой блочной модели Датамайн

Может быть задано нужное количество подъячеек внутри любой ячейки в модели. Хотя все подъячейки имеют форму параллелепипеда, каждая из них может отличаться от любой другой, а каждая ячейка может иметь различный набор подъячеек. Это позволяет модели иметь произвольную комплексную форму (если это необходимо) для того, чтобы с максимальной точностью описать геологические границы. Таким образом, внутри одной и той же структуры может быть создан практически любой тип модели: от пласта до жильной залежи и, наконец, - модель массивного месторождения. Здесь нет ограничения в детализации, так как в процессе моделирования одна и та же ячейка может быть разделена на подъячейки любым возможным способом.

При этом компьютерная память минимизируется за счет того, что информация сохраняется только для ячеек внутри рудного тела (хотя конечно можно моделировать и участки пустых пород, если необходимо), а также потому, что на однородных участках создаются большие ячейки, если по геологическим соображениям отсутствует необходимость деления их на субъячейки.

Этот метод моделирования имеет много важных преимуществ:

- Так как все типы блочных моделей представлены в Датамайн одинаковой структурой, то можно комбинировать (объединять) внутри нее различные модели (например, литологии и рудных тел). Одно из практических приложений этого – обособленное моделирование каждой составляющей структуры, которая может характеризоваться специфичной формой, размерами, параметрами и характеристиками. Полученные модели можно затем объединить, используя процесс **ADDMOD**, который позволяет создать общую модель, содержащую все детали составляющих.
- Другой важный аспект комбинирования моделей связан с перезаписыванием информации в ячейках первой объединяемой модели значениями, содержащимися в тех же полях второй модели. Это очень полезно, например, при наложении моделей даек на модели рудных тел, при обновлении модели полученной новой информацией и т.д.
- Блочная модель может быть обрезана любым каркасом, т.е. Вы можете легко выбрать и сохранить ту часть блоков, которые находятся над/под/внутри/снаружи каркаса или каркасов.
- Модели могут быть объединены только в том случае, если они имеют одинаковый прототип, т.е. – одни и те же границы и размеры основных ячеек.

3.4.2 Прототип блочной модели

Прежде чем Вы создадите модель, Вы должны определить ее прототип (процесс **PROTOM**), т.е. задать прямоугольное пространство модели и размер основных блоков. Параллелепипед модели (рис. 3.37) ориентирован строго вдоль координатных осей X,Y,Z используемой Вами системы координат. Кроме того, необходимо указать, будут ли в дальнейшем блоки модели делиться на подъячейки, а также понадобится ли Вам в будущем поле MINED – для использования модели в процессах планировании горных работ. Рекомендуется на 2 последних вопроса ответить YES.

Границы модели задаются 2-мя параметрами (рис. 3.37):

Координатами X,Y,Z начала модели (левый нижний угол пространственного параллелепипеда)

Количеством основных ячеек вдоль каждой оси координат

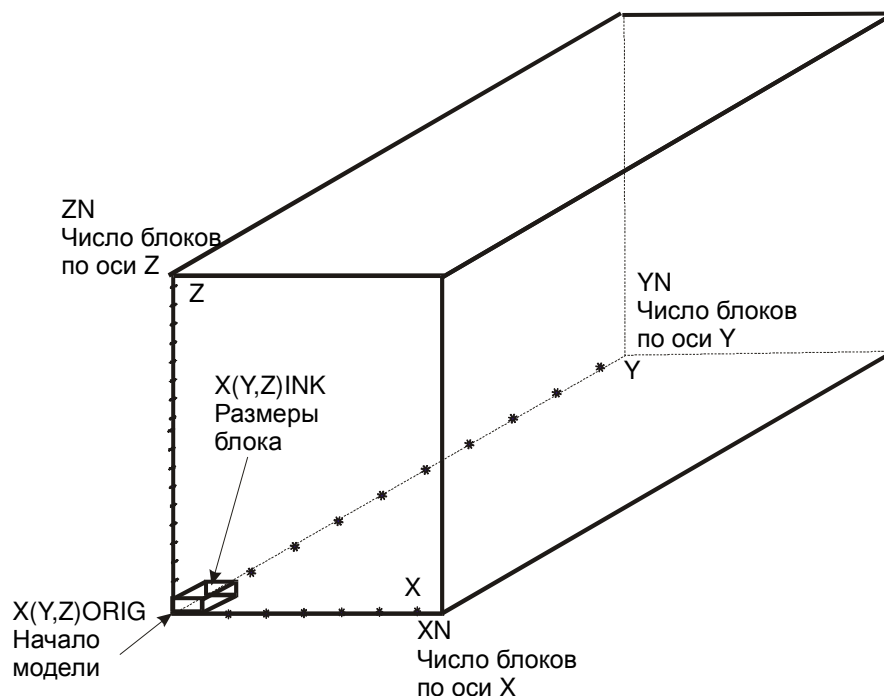


Рисунок 3.37. Схема, поясняющая процесс создания прототипа блочной модели

При задании границ пространственного параллелепипеда необходимо учитывать следующее:

- Если в будущем предполагается объединение нескольких отдельно создаваемых моделей, то все они должны иметь один и тот же прототип. Таким образом, он должен подходить и к самой маленькой, и к самой большой (модель литологии) составляющей модели.
- Если месторождение предполагается обрабатывать карьером, то прототип должен быть рассчитан так, чтобы он полностью вмещал самый большой возможный карьер.
- Если ведется доразведка залежи на глубину или по площади, то желательно зарезервировать пространство в составляемой сейчас модели для возможных будущих рудных тел или зон.

Расширяя пространство модели, не следует бояться ее большого объема, т.к. в памяти компьютера хранится только информация о действительных ячейках – блоках, содержащих какие-то данные. Зарезервированное пространство не будет занимать место в памяти до тех пор, пока оно не будет заполнено ячейками с появившейся новой информацией.

Размер основного блока – очень важная деталь прототипа. Прежде чем Вы выберете его, подумайте о следующих моментах:

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 3.3), а все дальнейшие работы вести в новой системе.

Размеры блока должны быть связаны с размерами 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.

3.4.3 Заполнение каркасов ячейками

Существует несколько способов создания блочных моделей. Первый из них не требует предварительного конструирования каких-либо каркасов и имеет 2 разновидности.

1. Пространство, заявленное прототипом, полностью заполняется ячейками. По ним проводится интерполяция требуемых показателей и параметров, а затем на эту модель накладывается созданная модель «воздуха», в блоках которой содержится координата Z топографии поверхности.

2. По каждому из слоев блочной модели (вертикальному или горизонтальному) производится (по данным опробования) интерактивное оконтуривание нужных зон с помощью замкнутых периметров. Затем процессом **PERFIL** производится заполнение этих периметров блоками в соответствии с указанным прототипом. Одновременно при необходимости создаются подъячейки, и модель оптимизируется с целью сокращения ее размера. Каждому полученному объему присваивается идентификатор зоны для последующего использования фильтров или критериев выборки. После заполнения всех периметров блоками производится интерполяция по ним показателей качества и других параметров.

Однако, самый распространенный метод создания блочных моделей – заполнение каркасов ячейками. Существуют следующие основные разновидности блочных моделей:

- Модель рудных тел и зон минерализации
- Модель литологии

Иногда удобно работать только с первой моделью, например, для подсчета запасов руды, а время от времени нужна совмещенная модель, например, для оптимизации и проектирования карьера или подземного рудника.

3.4.3.1 Модель рудных тел

Эта модель создается заполнением ячейками и подъячейками замкнутых (как правило) каркасов минерализованных зон, по которым предполагается проводить интерполяцию содержаний полезных компонентов. Эта операция в Датамайн выполняется процессами **WIREFILL** или **TRIFIL**. Первый процесс более универсальный и позволяет некоторые дополнительные операции. Для запуска этого процесса Вы должны ввести следующие исходные данные:

1. **Файлы:**

- Прототип модели. Это может быть как специальный файл (см. 3.5.2), так и любой файл модели, из которого будут использованы только нужные поля
- Два файла (точек и треугольников) каркасной модели
- Имя файла выходной блочной модели

2. **Поля:**

- Поле, которое существует в файле треугольников каркаса/каркасов и определяет зональный контроль. Значения этого поля (номера рудных тел, зон и т.д.) будут перенесены в файл блочной модели.

3. **Параметры:**

- **ZCODE** - если поле зонального контроля в каркасах не существует, то можно ввести номер зоны блочной модели с помощью этого параметра.
- **WIRETYPE** - способ заполнения каркаса ячейками:
 - 1: замкнутый каркас – создать ячейки внутри.
 - 2: поверхность - создать ячейки ниже.
 - 3: поверхность - создать ячейки выше.
 - 4: поверхность - создать ячейки с севера
 - 5: поверхность - создать ячейки с юга.
 - 6: поверхность - создать ячейки с запада.
 - 7: поверхность - создать ячейки с востока
- **CELLX(Y,Z)MIN** - минимальный размер подъячеек в направлениях **X,Y,Z**. Если в одном из этих направлений установлено значение 0, то здесь будет использовано заполнение, характерное для пластов, когда для него границами ячейки будут являться границы каркасной модели, а разбиения ячеек на подъячейки производиться не будет. Только одно из направлений может иметь значение этого параметра =0.
- **CELLX(Y,Z)MAX** – размер основной ячейки модели в направлениях **X,Y,Z**. Этот параметр можно не устанавливать, если имеется входной файл – прототип модели.

Установка минимального размера подъячейки связана с размерами и формой рудных тел. Если они очень узкие или сильно изменчивые по мощности, то этот размер должен быть уменьшен в направлении вкрест простирания. И наоборот, в направлениях с малой изменчивостью не следует сильно занижать этот параметр.

После того, как процесс отработал, и модель создана, рекомендуется тщательно проверить, как она заполнила «родной» каркас. Для этого надо вызвать эту модель и соответствующий каркас/каркасы в окно проектирования и (отключив показ каркаса и включив показ его сечения плоскостью изображения) просмотреть их, двигаясь небольшими шагами в направлении наибольшей протяженности рудной зоны. Каркас должен быть полностью заполнен блоками. Если это не так, то следует найти причину такого события и, устранив ее, снова запустить процесс **WIREFILL** (рис.3.38).

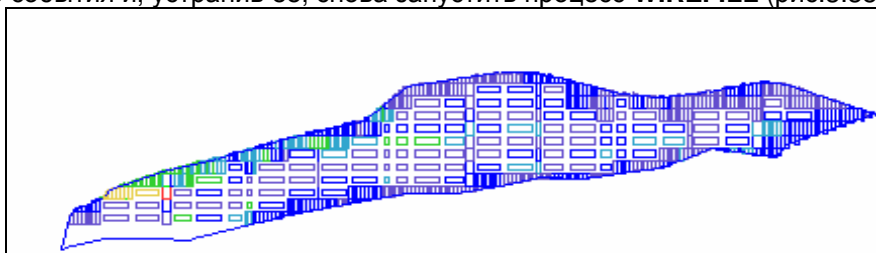


Рисунок 3.38. Пример неполного заполнения каркаса ячейками из-за неправильного определения минимальной границы модели по вертикали.

Часто в границы рудных тел попадают массивы пустых пород или пустоты в виде карстов, подземных выработок и т.п.

Включения пустых пород и пустоты должны отдельно моделироваться в виде каркасов (замкнутых или поверхностей) указанным выше способом (см. гл. 3.4). После этого используется процесс **SELTRI**, который выбирает из блочной модели только те ячейки, которые находятся снаружи каркаса породы или пустоты. В итоге мы сохраняем для дальнейшего использования только рудные ячейки (рис.3.39). В дальнейшем при необходимости данные по породным включениям (в виде специальной блочной модели) можно наложить на рудную модель.

Здесь можно использовать и другую технологию. Каркасы породных включений или пустот заполняются ячейками, и им присваивается номер зоны, отличный от

аналогичного параметра руды. Далее эти модели накладываются на модель руды. Здесь происходит более точное деление ячеек на подъячейки чем при простом вырезании каркаса. После этого производится копирование и сохранение только тех ячеек, которые имеют «рудный» номер зоны. Этот способ более точно сохраняет размеры небольших пустот, таких как горные выработки.

Очень часто создают несколько каркасных моделей зон минерализации по разным бортовым содержаниям или типам руды. Эти модели могут размещаться одна в другой или пересекать друг друга. Естественно, что каждая из них должна быть заполнена «собственными» ячейками, имеющими соответствующий номер поля ZONE. В дальнейшем интерполяция содержаний по этим моделям будет производиться отдельно. Отбор и копирование нужных ячеек для той или иной зоны производится процессом **SELTRI** с использованием требуемого каркаса.

В результате всех этих операций создается модель зон минерализации, по которой в дальнейшем будет производиться интерполяция содержаний полезных компонентов и оценка запасов руды по месторождению.

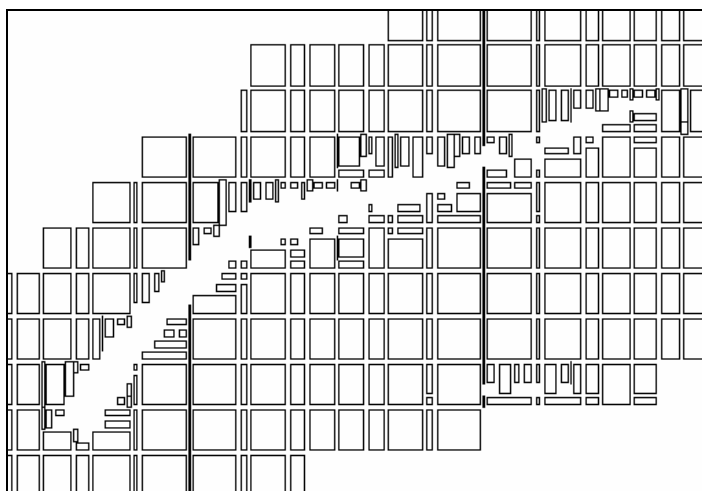


Рисунок 3.39. Подземная горная выработка, вырезанная из блочной модели рудного тела.

3.4.3.2 Модель литологии

Эта модель строится часто только в том случае, когда месторождение имеет сложную геологию и включает в себя много типов пород, руд с различными удельными весами. Если вмещающие породы достаточно однородны, то пространство под каркасной моделью топографической поверхности просто заполняется ячейками, которым присваивается код породы и значение плотности.

Имеется, по крайней мере, 2 технологии создания моделей литологии (моделей вмещающих пород).

- Литологические различия пород разделяются каркасными поверхностями или заключаются в замкнутые каркасы. Одной из поверхностей может быть поверхность топографии. Все каркасы заполняются ячейками (внутри, сверху, снизу или с боков). Прототип блочной модели должен быть тот же, что и для модели зон минерализации. Каждая часть созданной блочной модели обозначается собственным кодом породы (поле **ROCK**) и плотностью (поле **DENSITY**). Далее эти части попарно складываются (процесс **ADDMOD**) в такой последовательности, чтобы каждая следующая модель обновляла содержание ячеек предыдущей (см. следующий раздел). Процесс может идти как снизу -вверх, так и наоборот. Во втором случае первой моделью будет модель топографии, на которую будут последовательно накладываться все другие модели сверху вниз.

- Создается единая блочная модель ниже каркаса топографии. С помощью литологических данных, содержащихся в файле опробования, по этой модели осуществляется интерполяция кодов пород методом ближайшей пробы (см. раздел 3.5.4.2). Таким образом, блочная модель будет содержать информацию по литологии. Данные по плотности дополняются в модель с

помощью процессов **EXTRA** или **GENTRA** в соответствии с кодами пород, содержащимися в ячейках модели.

Модель литологии может также содержать в себе природные и технологические пустоты. Надо вспомнить, что она должна иметь такие границы, которые полностью и с некоторым запасом включают в себя максимально возможный карьер, который может быть спроектирован на месторождении при благоприятном уровне цен на извлекаемые из руд металлы.

3.4.3.3 Заполнение контуров ячейками

Существует еще одна технология создания блочных моделей без предварительного формирования каркасов. Напомним, что самый простой способ блочного моделирования заключается в элементарном заполнении всего предусмотренного прототипом объема ячейками заданного размера.

Иногда имеет место ситуация, когда мы имеем набор контуров (любой ориентации) зон минерализации, созданных интерактивно или введенных в компьютер с помощью какого-нибудь оцифровывающего устройства. Как правило, эти контуры имеют одинаковое приращение по координате, перпендикулярной плоскости контура. Например, периметры рудных зон нарисованные геологом для каждого из 5-ти метровых добычных горизонтов, или вертикальные разрезы, выполненные через каждые 20 м.

Эти контуры могут с помощью процесса PERFIL заполняться блоками требуемого размера. Например, в ситуации, приведенной на рис. 3.40. и 3.41, блоками были заполнены 3 контура. Не было разрешено деление блоков на субъячейки. Размер блоков был принят одинаковым по всем осям.

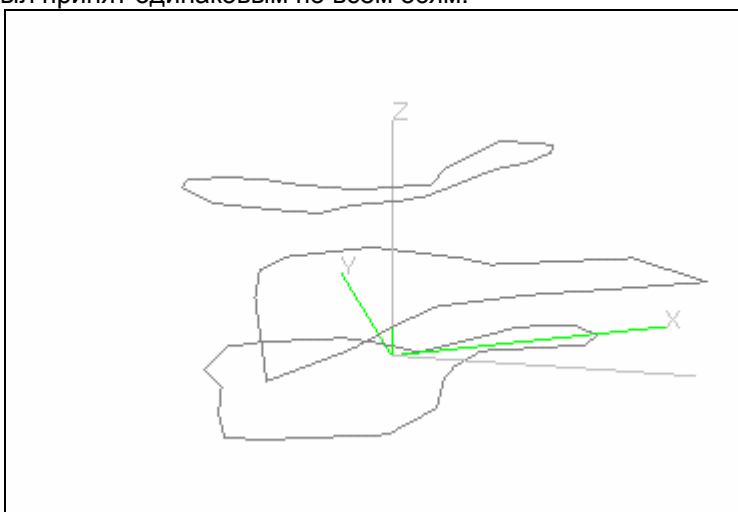


Рисунок 3.40. Контур для заполнения блоками.

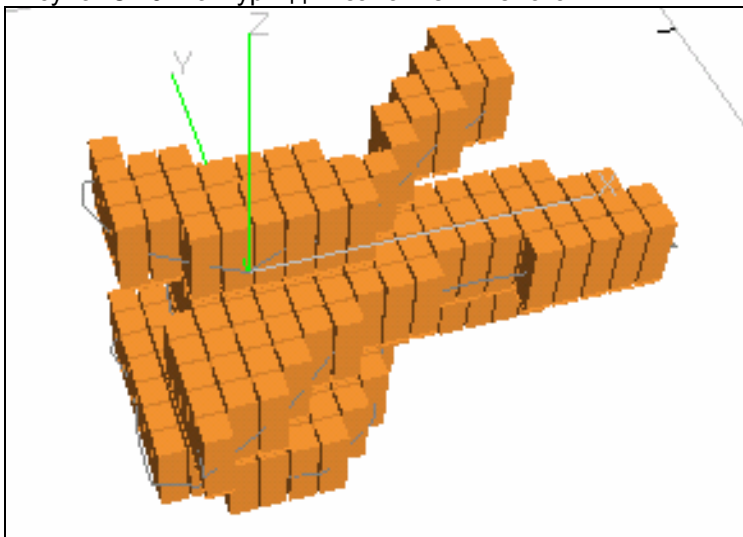


Рисунок 3.41. Контуры, заполненные блоками.

Этим способом удобно пользоваться, когда контуры зон минерализации получаются очень сложными, и соединение их в каркас представляет определенную сложность. В то же время некоторое огрубление модели за счет ступенчатого перехода от одного слоя к другому серьезно не сказывается на точности оценки запасов.

3.4.3.4 «Обрезание» и объединение моделей

После того, как блочные модели разного назначения и разных частей месторождения будут созданы, необходимо их объединить и (при необходимости) обрезать. Это делается с помощью процессом **ADDMOD**, **SELTRI**, **SELPER** и некоторые другие.

Процесс **ADDMOD** позволяет объединить 2 блочные модели. При этом:

- Если обе модели содержат информацию для одинакового поля в одних и тех же ячейках, то значения первой модели будут заменены величинами из второй модели. В несовпадающих ячейках информация из обеих моделей сохраняется.
- Выходная модель будет содержать все поля из обеих моделей. Если какого-то поля в одной из моделей нет, то в соответствующих ячейках выходной модели в этом поле будет прочерк (отсутствие данных).
- Каждая совпадающая ячейка выходной модели будет иметь полный набор подъячеек, соответствующий обоим входным моделям, поэтому количество подъячеек на выходе может оказаться очень большим.

Процесс **SELTRI** производит выборку ячеек и подъячеек блочной модели, центры которых находятся внутри, снаружи, сверху или снизу выбранного каркаса (замкнутого или поверхности). Дополнительного деления ячеек на подъячейки не происходит.

С помощью этого процесса удобно «отрезать» выступающие части моделей каркасом рельефа поверхности, выбирать промежуточные зоны минерализации, находящиеся между другими зонами и т.д. Заметьте, что этот процесс может аналогично выбирать любые данные (пробы, точки, линии), а не только блочные модели.

Процесс **SELPER** работает аналогично предыдущему. Производится выбор только тех ячеек, центры которых находятся внутри или снаружи введенного множества периметров. Вы должны определить также расстояния (полями во входном файле линий или параметрами) перед/за периметрами, которые при проецировании на них линий создают пространственный объем для отбора блоков модели.

3.4.3.5 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.

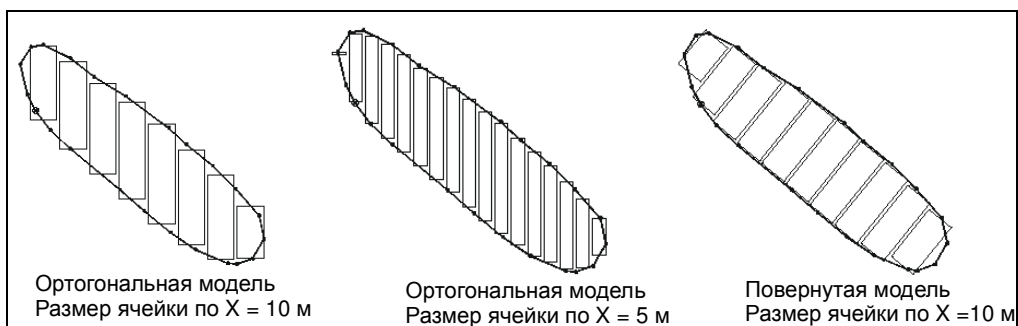


Рисунок 3.42. Три варианта заполнения контура ячейками.

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. 3.42. 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 центральному 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**, **PLOTGX** - создают чертежи повернутой модели
- **ESTIMA** - преобразует повернутую модель к мировым координатам перед выполнением оценки запасов.

На рисунке 3.43. 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.

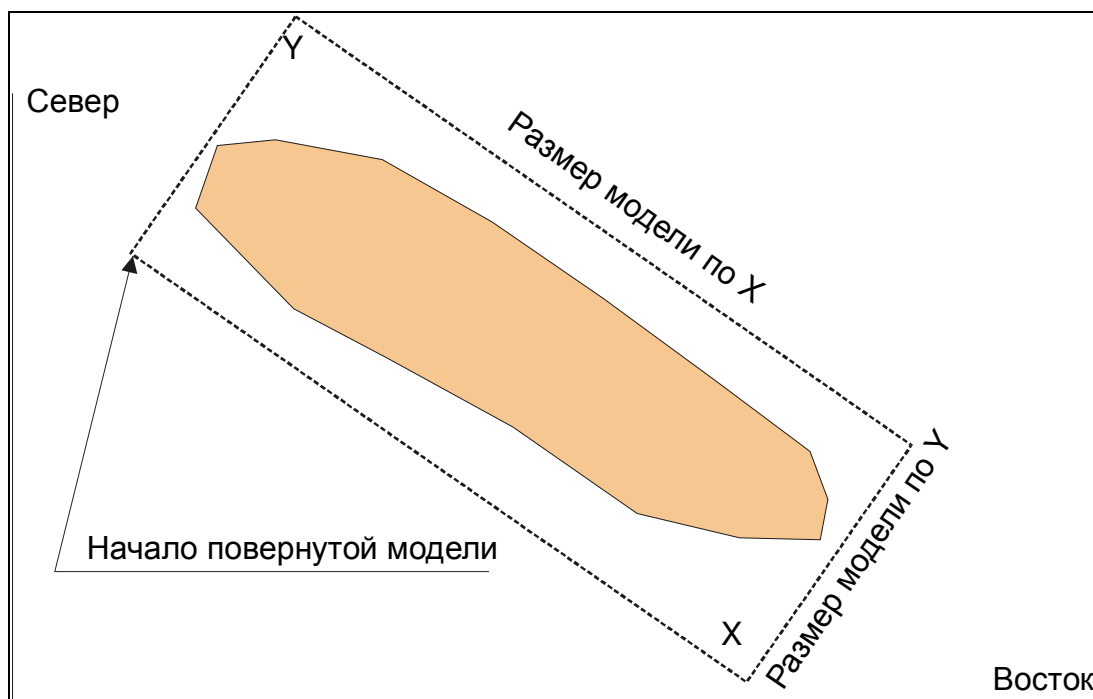


Рисунок 3.43. Разворот модели по отношению к мировой системе координат

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, IJGEN, 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. 3.42 (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.

3.4.3.6 Понятие о процессе UNFOLD

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 3.44). 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. 3.44). 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 (см. главу 3.2) 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. 3.45). 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

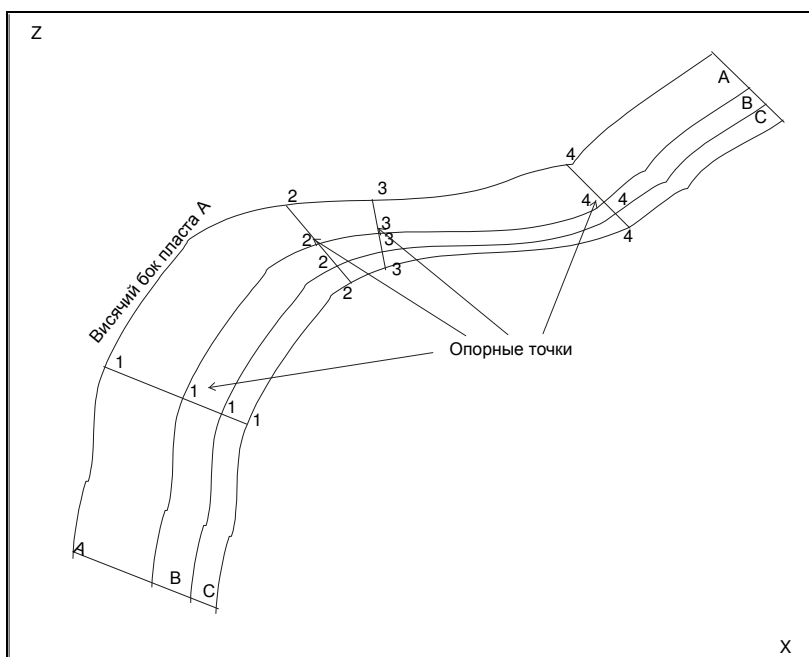


Рисунок 3.44. Вертикальное сечение пластовой залежи.

Подробное описание метода можно найти в документации системы Датамайн и в описании процесса UNFOLD. Кроме того, рекомендуется ознакомиться со статьей [6].

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.

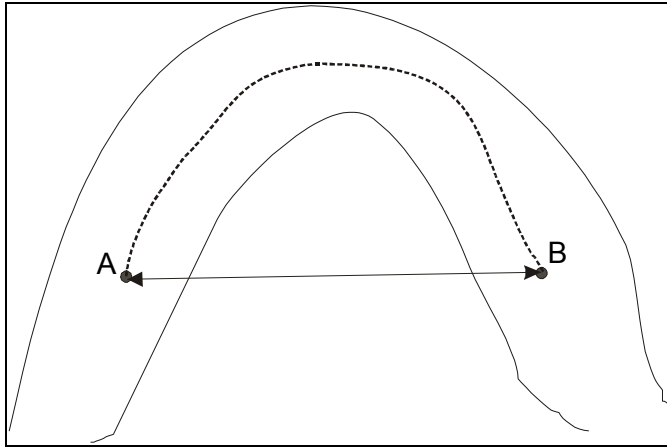


Рисунок 3.45. Геометрическое и стратиграфическое расстояние между двумя точками пласта

3.4.4 Интерполяция содержаний и других показателей качества руды

Теперь Вы имеете модель зон минерализации месторождения, которая содержит в ячейках только информацию о номере зоны, типе руды и (может быть) плотности. Следующим очень важным шагом в процессе моделирования является заполнение ячеек созданной Вами модели информацией о содержаниях в руде полезных компонентов и других показателях качества. Эти данные рассчитываются одним из методов интерполяции по имеющимся в базе данных результатам опробования месторождения.

Для интерполяции содержаний (и других параметров) в системе Датамайн-Студио имеется несколько основных процессов:

- **ESTIMA** - интерполяция любых параметров по блочной модели с использованием разных видов кригинга, методов обратных расстояний и ближайшей пробы
- **GRADE** - аналогичный процесс, но со значительно меньшими возможностями по сравнению с ESTIMA
- **PANELEST** - расчет средних содержаний в 2-х и 3-х мерных панелях без необходимости предварительного создания блочных моделей
- **SURFIP** - интерполяция поверхностей пластов методом обратных расстояний.

3.4.4.1 Процесс GRADE системы Датамайн

Этот процесс наиболее удобен для начального этапа освоения возможностей Датамайн. Он не очень сложный и, тем не менее, способен выполнять весьма ответственные расчеты.

Список основных исходных файлов, полей и параметров приведен ниже:

Файлы:

- Входной файл - прототип блочной модели. Это должна быть модель зон минерализации, для которого требуется оценка качества руды
- Входной файл проб

Поля:

- Имена полей координат X,Y,Z в файле проб
- Имя оцениваемого поля
- Имена полей для размещения информации о числе проб, по которым делается оценка, дисперсии кригинга, номере зоны и длине проб, которая используется для взвешивания проб (если такое взвешивание выполняется).

Параметры:

- Длины осей эллипсоида окрестности поиска проб (анизотропии) по направлениям X,Y,Z

- Углы поворота осей координат для совмещения их с главными направлениями анизотропии массива
- Минимальное число проб для оценки содержания в ячейке. Если число проб в окрестности будет меньше, то для этой ячейки в данном поле ставится «-» (отсутствие данных)
- Максимальное число проб для оценки содержания в ячейке. Если число проб в окрестности будет больше, то для оценки будут использованы ближайшие к оцениваемой ячейке пробы. Это число не может быть более 1400.
- Используемый метод интерполяции:
 - 1 – Ближайшая проба
 - 2 – Обратные расстояния (указывается показатель степени)
 - 3 – Обычный кригинг с одно или 2-х структурной сферической моделью вариограммы (указываются параметры пространственной вариограммной модели – от 6 до 10 параметров)
- Число октантов, в которых должны содержаться пробы для оценки (0 – 8)
 - Минимальное и максимальное число проб в одном октанте
 - Метод оценки подъячеек:
 - 1 – оценивается каждая подъячейка
 - 2 – оценивается основная ячейка, и эта оценка присваивается всем содержащимся в ней подъячейкам
 - Количество точек внутри каждого блока (ячейки, подъячейки) по каждой координатной оси, для которых будет делаться интерполяция. Суммарная оценка блока будет рассчитана, как среднее оценок всех точек. Минимальное значение параметра (для одной оси):
 - Для метода обратных расстояний – 1
 - Для кригинга – 2

3.4.4.2 Процесс ESTIMA системы Датамайн

Датамайн-Студио включает в себя недавно созданный процесс ESTIMA, который охватывает все возможности предыдущих процессов интерполяции Датамайн (в том числе и GRADE) и существенно развивает их. Он создан для всесторонней профессиональной оценки содержаний по блочным моделям месторождений.

Главные особенности и достоинства процесса:

- Стандартные установки параметров для всех методов оценки и способов определения ее пространственных характеристик
- Оптимизация поиска проб в заданной окрестности для улучшения быстродействия процесса
- В одном запуске может быть оценено нужное количество переменных (содержаний)
- Каждая переменная может быть оценена различными методами, с различными параметрами окрестности (параллелепипед или эллипсоид), в которой ведется поиск проб, а также по каждой зоне и/или типу руды.
- Автоматическое увеличение размеров окрестности поиска при недостаточном количестве проб, требуемых для оценки.
- Ограничение числа выбираемых для оценки проб с помощью октантов и по ключевому полю
- Широкий выбор типов моделей вариограмм для обычного (простого), логнормального и индикаторного кригинга
- Автоматическое преобразование данных для повернутых моделей
- Возможен поворот системы координат для всех типов оценки
- Возможна оценка полных ячеек

Методы Оценки (интерполяции):

- Метод ближайшей пробы (БП)
- Метод обратных расстояний (ОР)

- Обычный Кригинг (ОК)
- Логнормальный Кригинг (ЛК)
- Простой Кригинг (ПК)
- Индикаторный Кригинг (ИК)
- Sichel's t оценка (СТ)

ESTIMA - очень развитый и сложный процесс, который требует значительное количество входных параметров. Поэтому в Датамайн включено специальное меню для создания набора входной информации и последующего запуска самой оценки. В систему включен также процесс **DEFPARM**, который помогает сформировать необходимые файлы с исходной информацией. Руководство по работе процесса **ESTIMA** состоит из почти 100 страниц текста, поэтому включить его полностью в эту книгу не было возможности. Здесь будут приведены лишь основные особенности процесса, зная которые, специалист сможет в принципе работать с этой программой.

Файлы исходной информации, требуемые процессом:

- Входной файл - прототип блочной модели. Это должна быть модель зон минерализации, для которых требуется оценка качества руды
- Входной файл проб
- Файл линий, применяемый при оценке залежей со складчатой структурой (необязателен)
- Файлы исходных параметров **SRCPARM**, **ESTPARM**, **VMODPARM**.

Три последние файла являются главными источниками информации для процесса. Они состоят из следующих таблиц (табл. 3.9 – 3.11):

Таблица 3.9. Файл параметров окрестности поиска проб для оценки (SRCPARM)

Этот файл определяет размеры и ориентацию динамической (расширяющейся) окрестности с центром в оцениваемой точке. Для оценки этой точки будут использованы только те пробы, центры которых попадают внутрь окрестности.		
Имена Полей	Значение по умолчанию	Описание
SREFNUM*		Ссылочный номер окрестности поиска проб
SMETHOD	2	Форма окрестности поиска (1 = параллелепипед, 2 = эллипсоид)
SDIST1, 2, 3	100	Максимальное расстояние поиска для первой окрестности в направлениях: 1 (X), 2 (Y), 3 (Z)
SANGLE1, 2, 3**	0	Углы поворота системы координат
SAXIS1, 2, 3	3	Оси, вокруг которых делается поворот (1 = X, 2 = Y, 3 = Z)
MINNUM1	1	Минимальное и максимальное число проб для первой окрестности поиска
MAXNUM1	20	
SVOLFAC2***	0	Множитель для расчета размеров второй окрестности поиска.
MINNUM2	1	Минимальное и максимальное число проб для второй окрестности поиска
MAXNUM2	20	
SVOLFAC3***	0	Множитель для расчета размеров третьей окрестности поиска.
MINNUM3	1	Минимальное и максимальное число проб для третьей окрестности поиска
MAXNUM3	20	
ОСТМЕТИ****	0	Используются ли октанты? (0 = не используются, 1 = октанты используются)
MINOCT	2	Минимальное число октантов
MINPEROC	1	Минимальное число проб в октанте
MAXPEROC	4	Максимальное число проб в октанте
MAXKEY*****	0	Максимальное число проб, имеющих одинаковое значение ключевого поля

* Этот номер будет указан в файле **ESTPARM** для того, чтобы оценка производилась с требуемыми параметрами окрестности поиска.

** С помощью этих углов система координат совмещается с основными осями анизотропии

*** Обычно размеры первой окрестности – минимальные и соответствуют наивысшей категории запасов – **Measured resources**. Если для оценки точки недостаточно проб, то все размеры первой окрестности умножаются на коэффициент **SVOLFAC2**, и оценка повторяется. Полученные запасы будут соответствовать категории **Indicated resources**. Третий коэффициент **SVOLFAC3** используется для того, чтобы увеличить размеры окрестности до таких пределов, чтобы можно было оценить все блоки модели – **Inferred resources**.

**** Метод октантов используется, чтобы выполнять оценку по пробам, равномерно размещенным в пространстве, а не по ближайшим пробам одной выработки. Все сферическое пространство вокруг оцениваемой точки условно разделяется на заданное число (до 8) равных секторов (октантов). Оценка производится только тогда, когда в каждом из секторов используемой окрестности количество проб будет больше установленного минимума.

***** Пример ключевого поля – **BHID**. Если, например, показатель **MAXKEY** равен 3, то в каждый оценочный расчет будут приниматься не более 3-х проб из одной выработки.

Для подробного задания параметров оценки создается файл **ESTPARM** (Табл. 3.10)

Таблица 3.10. Файл параметров оценки (ESTPARM)

Этот файл требуется процессом для инструктирования программы, какие переменные, какие зоны и типы руды каким способом должны быть оценены				
Имя поля	Тип*	По умолчанию	Метод оценки**	Описание
VALUE_IN	A-8		Все	Имя поля для оценки
VALUE_OU	A-8	(VALUE_IN)	Все	Имя поля которое будет создано
SREFNUM	N		Все	Ссылочный номер окрестности поиска проб из файла SRCPARM
CUTOFF	N		ИК	Величины используемых бортов для ИК (для каждой зоны)
GRABCUT	N		ИК	Имя поля, в котором записывается оценка блока для данного борта (ИК)
{ZONE1_F}***	A or N		Все	Первое поле зонального контроля
{ZONE2_F}***	A or N		Все	Второе поле зонального контроля
NUMSAM_F	A-8		Все, кроме БП	Поле в выходном файле, указывающее число используемых проб
SVOL_F****	A-8		Все	Поле в выходном файле, указывающее номер динамической окрестности поиска
VAR_F	A-8		Все, кроме БП	Поле в выходном файле, указывающее дисперсию оценки
MINDIS_F	A-8		Все	Поле в выходном файле, указывающее расстояние до ближайшей пробы
IMETHOD	N	1	Все	Метод оценки: 1=БП, 2=ОР, 3=ОК, 4=ПК, 5=СТ
ANISO	N	1	БП, ОР	Тип анизотропии: 0=нет, 1=использовать файл SRCPARM , 2=использовать поворот системы координат (см. 6 следующих полей).
ANANGLE1	N	0	БП, ОР	Первый угол поворота вокруг оси X
ANANGLE2	N	0	БП, ОР	Второй угол поворота вокруг оси Y
ANANGLE3	N	0	БП, ОР	Третий угол поворота вокруг оси Z

				Z
ANDIST1	N	1	БП, ОР	Радиус поиска по оси 1 (X)
ANDIST1	N	1	БП, ОР	Радиус поиска по оси 2 (Y)
ANDIST1	N	1	БП, ОР	Радиус поиска по оси 3 (Z)
POWER	N	2	ОР	Показатель степени для метода оценки - ОР
ADDCON	N	0	ОР, ST	ОР – константа, добавляемая к расстоянию ST – константа, добавляемая к логарифму
VREFNUM	N	1	ОК, ПК	Ссылочный номер модели вариограммы из файла VMODPARM
LOG*****	N	0	ОК, ПК	Метод кригинга: 0=линейный 1=логнормальный
GENCASE	N	0	Если LOG=1	Метод логнормального кригинга: 0=Rendu, 1=Обычный
DEPMEAN	N	0	Если LOG=1	Среднее по месторождению (Если 0, то рассчитывается кригингом)
TOL	N	0.01	Если GENCASE=1	Сходимость для логнормального кригинга
MAXITER	N	3	Если GENCASE=1	Максимальное число итераций для лог нормального кригинга
KRIGNEGW	N	0	ОК, ПК	Трактовка отрицательных весов кригинга: 0=использовать 1=игнорировать
KRIGVARS	N	1	ОК, ПК	Трактовка случая, когда дисперсия оценки больше порога: 0=использовать 1=игнорировать
LOCALMNP	N	2	ПК	Метод расчета локального среднего: 1=использовать поле из файла PROTO . 2=расчет среднего внутри окрестности
LOCALM_F	A - 8		ПК	Имя поля локального среднего в файле PROTO

* Тип переменной: N – числовая, A – 8 - алфавитно-цифровая с числом символов - 8.

** Метод оценки: БП (ближайшей пробы), ОР (обратных расстояний), ОК, ПК, ИК, ЛК (обычный, простой, логнормальный и индикаторный кригинг), ST - Sichel's t оценка.

*** Вместо названий этих полей должны быть введены реальные поля для зонального контроля, например "ZONE" и "ROCK"

**** Часто это поле называют CLASS для размещения в нем номера категории запасов для каждого блока в случае, если размеры окрестностей отвечают требованиям к соответствующим категориям запасов

***** Если используется логнормальная модель вариограммы, то Вы должны применить для оценки логнормальный кригинг

Некоторая информация о методах интерполяции, используемых в данном процессе, приведена в соответствующих разделах этой главы.

Если Вы выбрали кригинг как метод оценки, то Вы должны определить параметры используемых моделей вариограмм. Требуемые поля показаны в таблице 3.11.

Таблица 3.11. Файл параметров вариограммных моделей (VMODPARM)

Этот файл требуется процессом для инструктирования программы, какие модели вариограмм будут использоваться в оценке методом кригинга.		
Поле	По умолчанию	Описание

VREFNUM		Ссылочный номер модели вариограммы (используется в файле ESTPARM)
VANGLE1,* 2, 3	0	Углы поворота системы координат для совмещения с осями анизотропии, в которых рассчитаны вариограммы.
VAXIS1, 2, 3	0	Номера осей, вокруг которых делаются повороты (1=X, 2=Y, 3=Z)
NUGGET	0	Эффект самородка
ST1**	0	Тип модели вариограммы для первой структуры
ST1PAR1, 2, 3, 4***	0	Первый - четвертый параметры для первой структуры
.....		
ST9	0	Тип модели вариограммы для 9-й структуры
ST9PAR1, 2, 3, 4	0	Первый - четвертый параметры для 9-й структуры

* **Параметры поворота системы координат.** Необходимо удостовериться, что значения полей SANGLE1, SAXIS1, и т.д в файле SRCPARM были те же самые как значения полей VANGLE1, VAXIS1, и т.д в файле Параметров Модели Вариограммы.

** **Типы моделей вариограмм** (см. главу 3.3):

- 1 - сферическая
- 2 – показательная (в т.ч. линейная при показателе степени = 1)
- 3 - экспоненциальная
- 4 - гауссова
- 5 – логарифмическая (в т.ч. – Де Вийса)

*** **Параметры модели:**

- 1, 2, 3 – Величина зоны по осям 1, 2, 3
- 4 - Значение порога для данной структуры (за вычетом эффекта самородка и порогов предыдущих структур).

Легче всего создавать эти файлы в Excel, а затем – импортировать в Датамайн. В этом случае при появлении новой информации можно быстро отредактировать файлы. Второй вариант – использовать процесс DEFPARM, с помощью которого последовательно создаются в редакторе AED все 3 требуемые файла.

Кроме вышеописанных файлов процесс ESTIMA требует некоторое количество дополнительной исходной информации.

Поля:

- **ZONE1_F, ZONE2_F** - Имена полей во входных **файлах модели и проб** для осуществления первичного и вторичного зонального контроля. Например: «ZONE» и «ROCK». Эти поля должны обязательно присутствовать во входных файлах.

- **KEY** - ключевое поле для ограничения количества проб, используемых в оценке, например – BHID

- **LENGTH_F, DENS_F** – поля длины интервала и плотности, используемые для взвешивания оцениваемых содержаний (только метод OP) Эти поля должны существовать во входном файле проб

- Ряд полей, связанных с оценкой складчатых структур

Параметры:

- **DISCMETH** - Метод задания оцениваемых точек внутри блока: 1- задается число точек по каждой оси, 2- задается расстояние между точками

- Число точек или расстояние между ними по каждой оси

- **PARENT** - Способ оценки ячеек: =0 – оценивается отдельно каждая подъячейка, =1 – подъячейкам присваивается оценка, сделанная для основной ячейки, =2 - подъячейкам присваивается оценка, сделанная по точкам основной ячейки, попадающим внутрь данной подъячейки

- **MINDISC** – Минимальное число точек для оценки (только, если **PARENT=2**).

- **COPYVAL** – Возможность копирования значений из входного файла модели в выходной, когда недостаточно данных для оценки: =0 - не разрешать копирования, =1 – разрешить копирование.

- Координаты X, Y, Z для определения зоны модернизации модели

Кроме этих параметров задается еще целый ряд показателей, связанных с оценкой складчатых структур. Специалисты, интересующиеся этой методологией, могут ознакомиться с ней в соответствующем разделе Документации.

Ниже будут приведены основные сведения об используемых системой Датамайн методах интерполяции.

3.4.4.3 Метод многоугольников (ближайшей пробы)

При использовании этого метода оцениваемой ячейке присваивается значение ближайшей 'nearest' пробы. Если введены параметры анизотропии, то расстояние до пробы определяется с учетом анизотропии массива

Главным преимуществом метода является то, что он не использует какого-либо взвешивания значений проб, поэтому с помощью его может быть оценено любое цифровое или алфавитное (до 20 символов) поле. Наиболее удобно использовать его для интерполяции алфавитных переменных, например кодов литологии, стратиграфии и т.п. Он также не изменяет при интерполяции значений цифровых полей (различных кодов, типов руд и т.д.), что очень удобно в ряде ситуаций.

3.4.4.4 Метод обратных расстояний

При использовании этого метода оценка заданной переменной получается взвешиванием каждой пробы величиной, обратно пропорциональной расстоянию от пробы до оцениваемой точки.

$$\alpha = \sum_i^n \left(\frac{1}{R^p} \right)_i \alpha_i \quad (3.4)$$

где α - оценка блока по пробам α_i

R - расстояние от пробы до оцениваемой точки

p - показатель степени (обычно = 2)

Параметр ADDCON процесса ESTIMA

Если проба лежит точно в оцениваемой точке (точка центра ячейки), тогда расстояние до нее будет ноль, а «вес» пробы будет 100%. Это может приводить к тенденциозной оценке, 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**.

Процесс будет добавлять исправленное анизотропией значение ADDCON к каждому расстоянию перед оценкой ячейки (точки).

Взвешивание по длине интервала и плотности породы (руды). Вы можете включить длину и/или плотность в расчет оценки, задав в процессе **ESTIMA** поля: *LENGTH_F и/или *DENS_F, которые должны быть в файле опробования. Если заданы оба поля, то при взвешивании они перемножаются.

Дисперсия оценки. В дополнение к оценке методом ОР, также рассчитывается дисперсия оценки. Однако, она рассчитывается как дисперсия классической статистики по всем пробам, участвующим в оценке.

3.4.4.5 Обычный кригинг

Кригинг – это геостатистический метод для оценки содержаний в заданном объеме [1,2,3]. Подробное изложение теории кригинга Вы найдете в части 2.

В процессе ESTIMA используются два типа кригинга – Обычный Кригинг (Ordinary Kriging) и Простой Кригинг (Simple Kriging), которые определяются полем IMETHOD в файле параметров (Estimation Parameter file):

Обычный Кригинг (ОК) IMETHOD = 3

Простой Кригинг (ПК) IMETHOD = 4

Как и в методе обратных расстояний, кригинг определяет веса проб, участвующих в оценке точки или блока. Однако, одним из главных преимуществ кригинга является то, что «веса» рассчитываются таким образом, чтобы минимизировать дисперсию оценки (возможную ошибку).

Размещение проб в пространстве. Когда минимизируется дисперсия оценки, то кригинг берет в расчет пространственное положение проб относительно друг друга.

Отсюда получается что, если несколько проб группируются вместе, то они будут взяты в расчет с соответственно уменьшенными весами. Вы помните, что в методе обратных расстояний «веса» зависят только от расстояния между пробой и точкой оценки, а положение других проб в расчет не берется.

Веса кригинга рассчитываются по модели вариограммы, которая описывает корреляцию между двумя точками, как функцию расстояния между ними. Таким образом, в расчете оценки содержаний участвует дополнительный аргумент – корреляционная связь между пробами в пространстве, что делает эту оценку более точной. Детали моделирования вариограмм и способы задания их параметров приводятся в главе 3.3.

Обычный и простой кригинг - две разновидности линейного кригинга. Для Обычного Кригинга (ОК) вес рассчитывается для каждой пробы, и сумма этих весов равна 1. Для простого кригинга (ПК) «вес» W_i рассчитывается для каждой пробы и «вес» $(1 - 3 W_i)$ назначается среднему содержанию. ПК не поддается влиянию локальных трендов данных как ОК, так как это зависит, отчасти, от среднего содержания, которое, как было сказано выше, предварительно задано и постоянно для всего пространства. Наиболее часто используемый метод кригинга - ОК. Дальнейшие детали методологии кригинга и расчета «весов» Вы можете найти в литературе, список которой представлен в конце книги.

Ввод исходной информации для ОК и ПК очень похож, и поэтому все последующее описание подходит для обоих методов. В конце раздела будет сделано маленькое уточнение, касающееся специфики ПК.

Логнормальный Кригинг. Этот вид интерполяции использует нелинейные преобразования и наиболее подходит для оценки содержаний по месторождению, когда структура изменчивости массива характеризуется логнормальной моделью вариограммы. Процесс ESTIMA позволяет использовать линейный и логнормальный кригинг для обоих методов: ОК и ПК. Для их выбора используется поле LOG в файле Параметров оценки. Для линейного кригинга «веса» рассчитываются для реальных содержаний проб, а для логнормального кригинга – для логарифмов содержаний с последующим их обратным преобразованием в конце расчета. Все трансформации происходят внутри процесса ESTIMA, так что Вы не должны производить каких-либо дополнительных расчетов. Для ОК обратная логнормальная трансформация содержаний производится по формуле:

$$E_c = \exp(3W_i \times \log(G_i) + 0.5 \times (3W_i \times F(L_i, L_j) - 3.3W_i \times W_j \times F(L_i, L_j))), \quad (3.5)$$

Где:

E_c	оценка кригинга
W_i	вес пробы i
G_i	содержание пробы i
$F(L_i, L_j)$	ковариация логарифма содержаний проб i и j

Перед использованием этого метода интерполяции мы настоятельно рекомендуем прочесть книгу П. Дауда [5] и учесть, что он имеет некоторые особенности, требующие очень квалифицированного подхода, понимания теории и большой осторожности в интерпретации результатов.

Параметры логнормального кригинга. Если Вы, тем не менее, выбираете для оценки логнормальный кригинг, тогда Вы должны решить, какой из методов Вам больше подходит: приближение Ренду или Общий Случай. Для выбора используется поле GENCASE в файле Параметров Оценки.

Если GENCASE = 0, то будет использовано приближение Ренду, если GENCASE = 1, то используется Общий метод. Когда Вы выбираете Общий Случай, то должны определить еще три поля: DEPMEAN, TOL и MAXITER (см. П. Дауд).

Модель вариограммы. Для каждого поля (VALUE_IN), которое будет оцениваться кригингом, в файле Параметров Оценки должен быть определен соответствующий ссылочный номер модели вариограммы (VREFNUM). Это – обычная ссылка на описание модели вариограммы и ее параметры, приведенные в файле Параметров Модели Вариограммы. Поэтому здесь может использоваться любое числовое значение, если оно существует в файле Параметров Модели Вариограммы.

Модели, записанные в файле Параметров Модели Вариограммы, могут быть или обычными или логнормальными. Поле LOG в файле Параметров Оценки используется для выбора линейного или логнормального кригинга.

Кригинг ячеек. Кригинговая оценка для точек оцениваемого блока делается, когда число проб в окрестности поиска не меньше заданного минимума. Если их число больше установленного максимума, то выбираются только ближайšie к точке пробы.

Кроме самой оценки, кригинг формирует три вторичных переменных, которые могут быть рассчитаны для каждой ячейки и сохранены в файле Выходной Модели:

- число проб используемых для кригинга
- дисперсия кригинга
- расстояние до ближайшей пробы, трансформированное с учетом анизотропии

Чтобы сохранить эти вторичные переменные, их имена полей должны быть определены в файле Параметров Оценки (см. раздел 3.5.4.2).

Отрицательные веса кригинга. При некоторых условиях, веса, рассчитанные для одной или нескольких проб, могут быть отрицательными. Это наиболее вероятно, когда модель вариограммы имеет маленький эффект самородка, а проба ограждена (экранирована) от ячейки другими пробами, находящимися непосредственно между этой пробой и ячейкой.

Хотя отрицательные веса математически оправданы, однако в геостатистике существует направление, которое отрицает их правомерность и считает, что они должны быть установлены как 0. Если Вы хотите, то можете сделать это, используя поле KRIGNEGW (см. раздел 3.5.4.2).

Если отрицательные веса установлены, равными нулю, то веса других проб будут пропорционально отрегулированы так, чтобы сумма весов всегда равнялась 1.

Когда дисперсия кригинга больше порога. Из-за математической сложности вычислений уравнений кригинга иногда может случиться, что дисперсия кригинга будет немного больше чем порог модели вариограммы. С помощью поля KRIGVARS в файле Параметров Оценки Вы можете управлять, оставить ли рассчитанную дисперсию выше порога или установить ее равной порогу.

Этот контроль применяется только по отношению к линейному кригингу. Дисперсия для логнормального кригинга зависит от значения поля DEPMEAN и поэтому часто получается большей чем порог.

Простой кригинг. Простой кригинг кроме расчета весов для каждой пробы назначает также вес для местного среднего значения проб. Для того, чтобы установить, как это местное среднее значение будет определяться, используются поля LOCALMNP и LOCALM_F в файле Параметров Оценки,

При LOCALMNP = 1 для этого используется специальное поле во входном файле Модели. Если этот параметр равен 2, то программа вычисляет локальное среднее как арифметическое среднее всех проб, находящихся в окрестности поиска. Если LOCALMNP = 1, то Вы также должны также задать имя алфавитного поля во входном файле Прототипа Модели, которое определяет локальное среднее. Имя поля в файле Параметров Оценки - LOCALM_F.

Оценка Т Сичела (IMETHOD = 5). Этот метод может использоваться, чтобы оценить содержание ячейки, когда статистическое распределение проб в массиве - логнормальное. В отличие от методов ОР и кригинга здесь не требуется расчета расстояния от пробы до ячейки. Поэтому такая оценка наиболее подходит для оценки больших ячеек, каждая из которых содержит несколько проб, и где окрестность поиска имеет приблизительно те же размеры как и сама ячейка. Детали метода описаны в статье H.S.Sichel [4], упомянутой в списке литературы в конце книги.

Оценка Т Сичела рассчитывается как:

$$t = \exp(\bar{x}) (V)_n, \quad (3.6)$$

где:

$$(V)_n = 1 + \sum_{r=1}^4 E(n-1)^r / [2^r r! (n+1) \dots (n+2r-3)]$$

$$\bar{x} = [\sum_{i=1}^n x_i] / n$$

$$V = [\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2] / n$$

$$x_i = \log_e [G_i + a]$$

Здесь G_i – содержание пробы i , а « a » – это такая константа, при которой $[G_i + a]$ является логнормальным распределением. Если распределение проб соответствует 3-м параметрам логнормального распределения, то Вы должны определить добавочную константу (используя поле ADDCON в файле Параметров Оценки). Это – то же самое поле, которое используется в методе обратных расстояний, но оно здесь имеет совершенно другое значение в этом контексте. Выходные поля NUMSAM_F, SVOL_F, VAR_F и MINDIS_F определяются также как и для метода OP.

3.4.4.6 Оценка панелей

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 все описанные выше основные методы: БП, OP, 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 объемы. 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 (см. выше) 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.3.46). Выходной файл процесса TRIFIL 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. Для методов БП и ОР параметр MAXNUM игнорируется, а для ОК он не должен превышать 1399.

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.

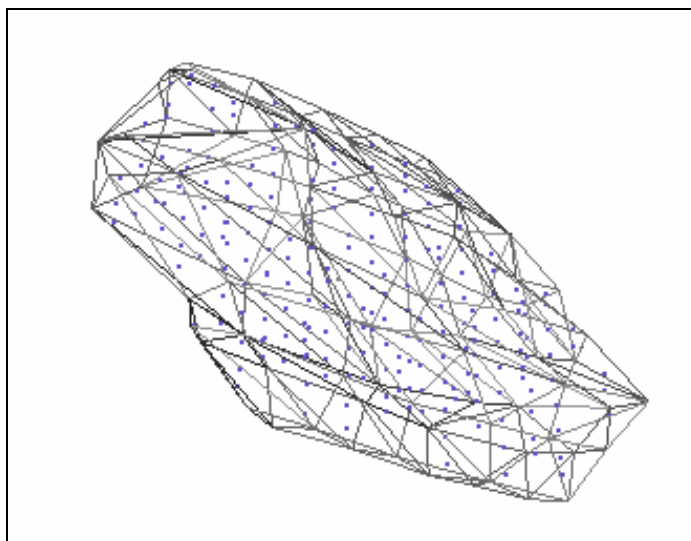


Рисунок 3.46. Вид каркаса, заполненного регулярным множеством точек (ячеек). Размер сети: X=10, Y=5, Z=5 м.

3.4.4.7 Индикаторный кригинг

Во многих случаях, наиболее подходящим видом интерполяции является индикаторный кригинг. Часто он полезен там, где подозревается различная корреляционная связь между пробами в зонах рудного тела с различным содержанием полезных компонентов. Например, в золоторудных залежах богатые участки имеют характер анизотропии, иногда существенно отличающийся от аналогичных характеристик бедных зон. Особенно ярко это проявляется в случае различного генезиса и геологического строения этих зон.

Индикаторный кригинг, в отличие от обычного, рассчитывает оценки для выделенных интервалов содержаний по отдельным вариограммным моделям, действительным только для этого типа руд. Для любого блока рассчитываются элементарные оценки для каждого выделенного класса содержаний. Суммарная оценка

блока вычисляется, как средневзвешенная, в зависимости от того пробы каких классов использовались в расчетах. Таким образом, достигается более высокая точность оценки.

Ниже приведена краткая инструкция по использованию процесса Датамайн – ESTIMA для оценки модели месторождения индикаторным кригингом. Более подробные сведения по каждому этапу читатель может найти в соответствующих разделах этого руководства или в документации процесса ESTIMA.

На первом шаге надо разделить весь интервал содержания оцениваемого компонента на определенное число классов, соответствующих геологическим представлениям о месторождении. Каждый такой класс в дальнейшем будет рассматриваться и оцениваться отдельно. Для него будет определено собственное бортовое содержание. Желательно, чтобы такие классы включали в себя примерно одинаковое количество проб. С этой целью рекомендуется:

1. Провести композирование файла проб и «урезать» в нем ураганные содержания;
2. Запустить процесс QUANTILE и разбить КОМПОЗИРОВАННЫЙ файл проб на требуемое число квантилей (ранжированных по возрастанию подмножеств проб с равным количеством записей в каждом квантиле, например – 10);
3. Для каждого квантиля выписать минимальное содержание, которое и будет БОРТОМ в дальнейших расчетах;
4. Создать файл (например – CUTFILE), в котором единственное поле (CUTOFF) должно содержать значения выписанных бортов. Файл можно создать в Excel и импортировать в Датамайн;
5. Для каждого содержания (металла) должен быть создан свой файл CUTFILE

Расчет экспериментальных индикаторных вариограмм и подбор моделей производится описанными в главе 3 методами. Рекомендуется следующая последовательность действий:

1. С помощью процесса VGRAM рассчитать экспериментальные вариограммы для каждого структурно обоснованного направления в пространстве и каждого содержания. Если в исходных файлах процесса будет упомянут файл CUTFILE, то процесс рассчитает множество индикаторных вариограмм для каждого установленного борта.
2. С помощью процесса VARFIT подобрать к экспериментальным вариограммам (для каждого варианта борта) пространственные модели. Рекомендуется оперировать с ОТНОСИТЕЛЬНЫМИ вариограммами, которые дают более гладкие графики, сохраняя в целом главные параметры функций. Логарифмические вариограммы потребуют в будущем использования логнормального кригинга.

Для дальнейшей работы требуется создать 3 файла (см. предыдущие разделы и описание процесса ESTIMATE):

1. Файл геометрии эллипсоида поиска проб в процессе оценки (SRCPARAM)
2. Файл параметров оценки (ESTPARAM). Для ИК в файле должны быть сделаны следующие дополнения:
 - a. Введено поле CUTOFF, в котором для каждой зоны перечислены все используемые для расчетов вариограмм бортовые содержания
 - b. Введено поле GRABCUT, в котором для каждого борта определено поле (например GRAB1), в котором будет записано среднее содержание в оцениваемом блоке для доли руды с бортом номер 1.
 - c. В поле VALUE_OU вводятся имена полей (например, PRAB1), в которых будут записаны пропорции блоков, содержащих руду с бортом номер 1.
 - d. Все значения поля VALUE_IN должны быть одинаковыми для данного запуска программы;
 - e. Этот файл параметров должен иметь только одно входное содержание (поле VALUE_IN) и рассчитан только на один метод интерполяции (кстати, возможна интерполяция индикаторным методом как с помощью кригинга, так и с помощью ОР и даже БП).

3. Файл параметров вариограммной модели (VMODPARM), который должен содержать характеристики моделей для всех установленных выше бортовых содержаний.

Процедура Индикаторной оценки включает в себя следующие этапы:

1. При запуске в процесс ESTIMATE (запуск производится с помощью меню, приложенного к системе) водятся последовательно названия всех файлов, упомянутых выше и требуемых программой
2. В опции «Advanced parameters» устанавливаются параметры зонального контроля и другие, если необходимо.
3. Запускается опция Индикаторной оценки. Выбирается (по умолчанию) позиция номер 3 Относительной корректировки (другие детали см. в документации по процессу)
4. После расчета статистических параметров программа выводит окно с файлом CUTOFFS, в котором могут быть отредактированы (при необходимости) средние значения классов содержаний для каждого борта.
5. После закрытия пользователем этого окна программа показывает для контроля все установленные параметры Индикаторной оценки. Если все нормально, то производится запуск расчета.
6. По окончании вычислений в блочной модели кроме полей, указанных выше (характеризующих каждый класс содержаний для каждого блока), программой рассчитывается поле INDGRADE, в котором содержится полная оценка содержания для всех блоков.

3.4.5 Оптимизация и обновление блочных моделей при поступлении новой информации

3.4.5.1 Оптимизация моделей

После того, как Вы оценили качество руды по созданной Вами блочной модели, необходимо проверить полученную модель, объединить с моделью литологии (если это представляет интерес) и, при необходимости, – оптимизировать ее или полученную общую модель.

Итак, Ваша модель содержит все поля типов руд и пород, содержания всех компонентов, а также другие параметры, которые Вы считаете важными. Лучше, если Вы теперь добавите в модель информацию о плотности руды. Это делается обычно процессом EXTRA (GENTRA), в котором Вы можете присвоить известные значения плотности всем имеющимся в модели типам руд. Возможно использовать для этого любое аналитическое выражение, если плотность руды зависит от содержания в ней металлов и т.п. Операция до предела упрощается, когда вся руда имеет одинаковую плотность. Для хранения этой информации целесообразно применять стандартное название поля **DENSITY**, т.к. в дальнейшем программа сможет его использовать, не спрашивая Вас каждый раз о вводе величины плотности.

Иногда модель получается очень большой из-за громадного количества маленьких субъячеек, созданных при заполнении ячейками узких (извилистых) каркасов или при объединении нескольких больших блочных моделей в одну. Во втором случае часто происходит аварийное наложение ячеек друг на друга, а это, в свою очередь, вызывает ошибки при использовании такой модели в других процессах (например, при оценке запасов). Наложение ячеек бывает также следствием заполнения блоками взаимно пересекающихся каркасов в одном запуске процессов TRIFIL или WAREFILL.

Такие ситуации могут быть исправлены оптимизацией субъячеек модели процессом PROMOD. Он будет копировать входную модель в новый файл, и при этом выполнять следующие функции:

- Для каждой субъячейки определяется ее «родительская» ячейка
- Ликвидируются наложенные субъячейки в «родительских» ячейках
- Маленькие субъячейки объединяются без ухудшения точности модели по 10 ключевым полям.

Задаются от 1 до 10 ключевых полей. Субъячейки объединяются, если значение поля в них одинаково, а параметр OPTIMISE=1 или 2.

Параметры:

- **DENSITY** - плотность руды, если это поле отсутствует во входном файле.
- **X(Y,Z)INCMIN** – минимальный размер подъячейки в данном направлении. Любые подъячейки с размером, меньшим чем указанный, будут объединяться с соседними (если OPTIMISE=1 или 2 и, если это возможно) при совпадении значений ключевых полей.
- **OVERLAP** – способ проверки и устранения наложений подъячеек (по умолчанию – 0):
 - =0: программа сообщает о наличии наложений и прекращает работу.
 - =1: программа сообщает о наличии наложений и переносит их без изменения в выходной файл.
 - =2: все наложения будут исправлены, как это делает процесс ADDMOD, т.е. 2-я подъячейка будет перезаписывать содержание 1-й подъячейки.
- **OPTIMISE** – способ объединения подъячеек (по умолчанию – 2):
 - =0: - Объединения не делается.
 - =1 - Подъячейки объединяются только тогда, когда они полностью заполняют «родительскую» ячейку.
 - =2 - Подъячейки объединяются для минимизации их количества.
- **TOL** – допуск (в % к величине) для сравнения значений ключевых полей в субъячейках. Если различие в смежных субъячейках будет меньше допуска, то они объединяются (если OPTIMISE=1 или 2). По умолчанию – 0.001.

На рис.3.47. показаны результаты оптимизации модели золоторудного месторождения по ключевому полю AU с допуском 1%. Минимальный размер подъячеек был установлен 2.5*2.5 м в плане. Размер «родительской» ячейки 10*10 м. В процессе оптимизации было исправлено 140 наложений подъячеек.

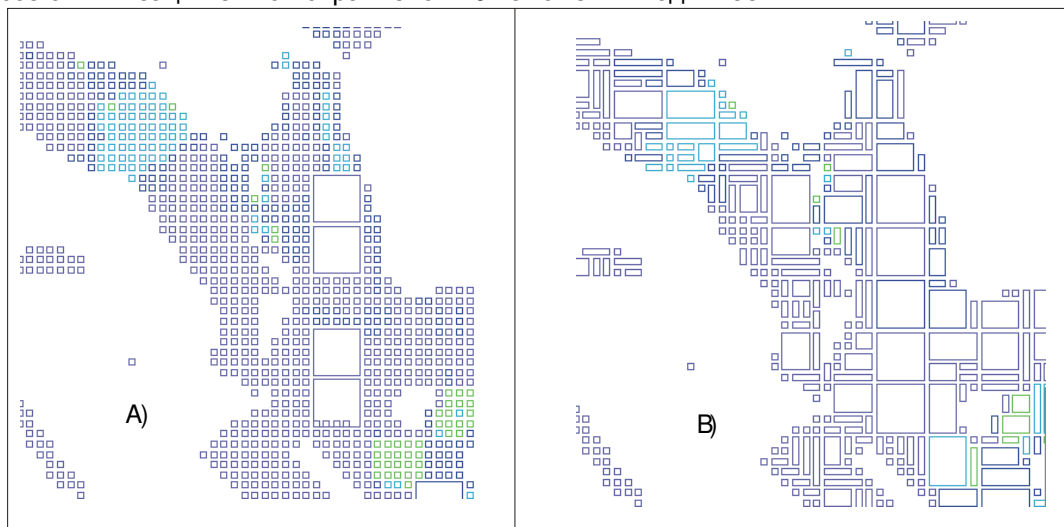


Рисунок 3.47. План блочной модели до (А) и после (В) оптимизации

В Датамайн имеется еще один процесс - SLIMOD, который исправляет ситуацию, когда субъячейки выходят за пределы «родительской» ячейки. Это осуществляется путем «разрезания» таких субъячеек границами их «родительской» ячейки. Он может также использоваться, если необходимо изменить прототип для существующей модели. Однако, если Вы укажете в исходных данных тот же прототип, какой используется в исправляемой модели, то произойдет только корректировка наложенных субъячеек.

3.4.5.2 Дополнение моделей новой информацией

При поступлении новой информации о месторождении (как правило, за счет эксплоразведки и доразведки) необходимо внести изменения в существующие модели. Здесь могут быть 3 варианта:

- Контуры минерализации не изменяются. Изменяется только распределение качества руды
- Контуры минерализации в некоторых местах расширяются
- Контуры минерализации в отдельных местах сужаются

В первом, самом простом случае достаточно дополнить файл проб новой информацией (см. главу 3.2), и с полученным новым файлом опробования провести повторную интерполяцию всей (или только измененной части) модели с помощью процессов GRADE или ESTIMA. Если Вы считаете нужным, то пересчитайте вариограммы в измененной части модели и, соответственно, измените параметры процессов интерполяции. Если свойства массива после дополнения новой информацией существенно не изменились, то можно применять для интерполяции все прежние параметры.

Когда контуры минерализации в результате появления новой информации расширились, то можно или исправить существующую каркасную модель полностью, или (что намного легче) сделать новую каркасную (а затем и блочную) модель только измененного участка. Затем дополняется файл опробования, и из него выбираются пробы, попадающие в новый каркас. Для новой части модели производится интерполяция содержаний с прежними или измененными параметрами. Полученная таким способом новая модель с полями, соответствующими старой модели (это надо обязательно проверить!), процессом ADDMOD накладывается на существующую модель и (если необходимо) подвергается оптимизации процессом PROMOD.

Когда контуры минерализации сужаются, то обычно приходится корректировать весь каркас существующей модели, т.к. при наложении измененной (более узкой) части часть ячеек прежней модели будет оставаться не перезаписанной, отражая нереальную информацию. Далее необходимо повторить весь процесс заполнения нового каркаса ячейками и интерполяции содержаний. При сохранении информации о прежних установках процессов и макросов это занимает минимум времени.

Можно пойти и другим путем. Как описано выше, создать новый каркас в измененной части, заполнить его ячейками и провести интерполяцию содержаний. Желательно, чтобы измененный каркас опирался на плоскости системы координат (XY, XZ и/или YZ) и хорошо совмещался в этих плоскостях с прежним каркасом. После этого из старой блочной модели с помощью фильтров выбирается только неизменная часть, которая затем объединяется процессом ADDMOD с новой частью модели.

На рис. 3.49. на вертикальном разрезе показан процесс модернизации блочной модели золоторудного месторождения. По данным эксплоразведки была создана новая каркасная модель верхней части залежи, блочная модель которой показана в части В рисунка.

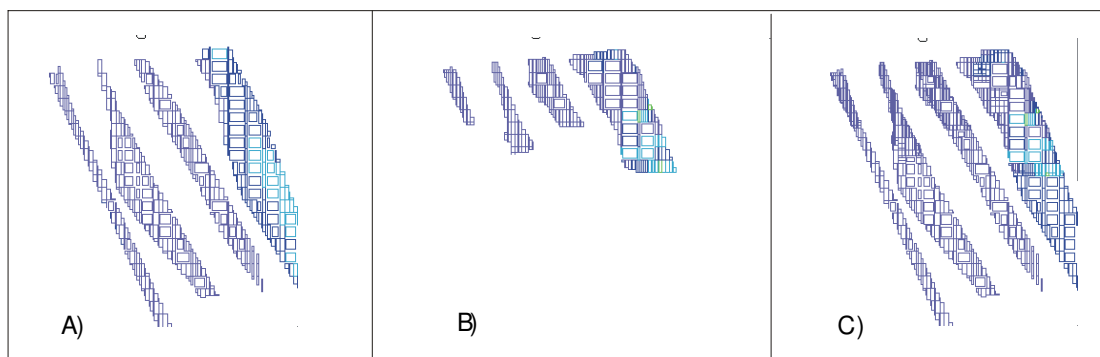


Рисунок 3.49. процесс дополнения блочной модели: А – старая модель, В – обновляемая часть модели, С – обновленная основная модель.

3.5 Оценка рудных запасов

Завершающим этапом моделирования месторождений является оценка их рудных запасов. Если Вы проделали всю предыдущую работу качественно, то эта операция доставит Вам удовольствие. Она делается очень быстро; можно в течение минут пересчитать тоннаж и содержание для нескольких бортовых содержаний и для всех рудных тел. Простота этого процесса обусловлена тем, что он выполняет только элементарное суммирование информации о всех блоках, соответствующих установленным Вами условиям.

Запасы можно оценивать не только по блочным моделям, но и (ориентировочно) по данным опробования залежей полезных ископаемых.

3.5.1 Процессы Датамайн для оценки запасов

3.5.1.1 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, WSTE (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 классифицированных 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.

3.5.1.2 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.

3.5.1.3 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.

3.5.1.4 Процесс PANELEST

Этот процесс был подробно описан в разделе 3.5.4.6. Он позволяет также оценить тоннаж и средние содержания компонентов в пространственных объемах, заданных замкнутыми контурами или множеством регулярных точек.

3.5.1.5 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.

3.5.2 Интерактивная оценка запасов в Окне проектирования Датамайн – Студио

В Датамайн существует много возможностей для интерактивной оценки запасов непосредственно в Окне проектирования .

3.5.2.1 Оценка по скважинам (блочной модели)

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.

3.5.2.2 Оценка по одной линии

Например, на рис. 3.50. 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.

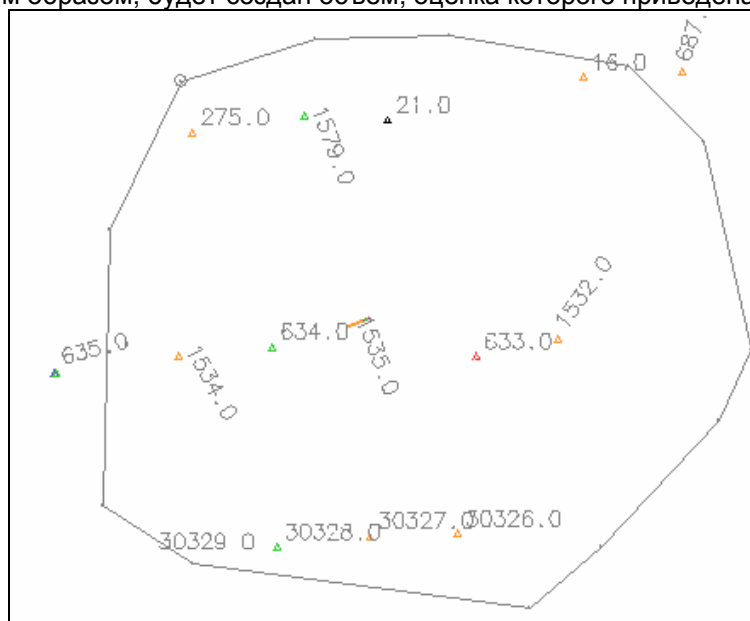


Рис. 3.50. Оценка запасов по одной линии, проецируемой на заданное расстояние от рабочей плоскости. Цифрами обозначены номера разведочных выработок (BHID).

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. 3.51.

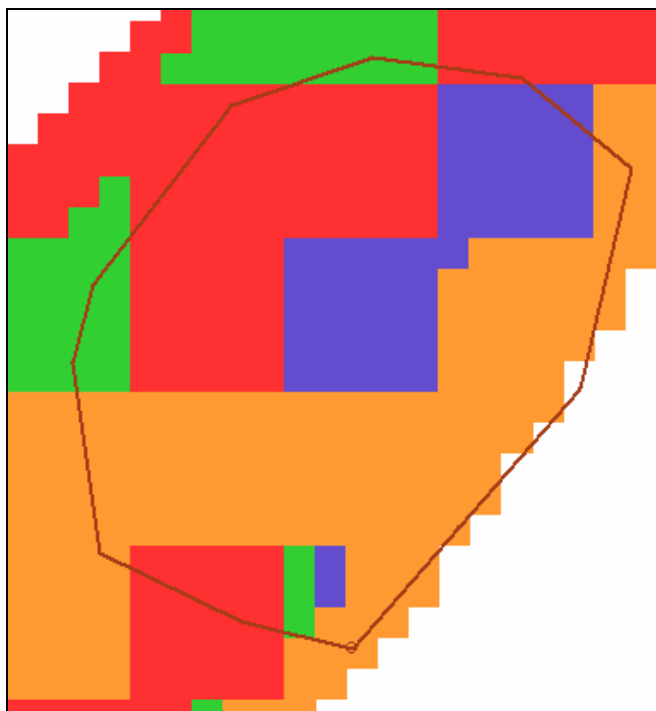


Рис.3.51. Оценка периметра по блочной модели.

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

3.5.2.3 Оценка по 2-м линиям

Можно оценивать запасы не только по одному периметру, но также и по двум, имеющим разную форму, площадь и ориентацию. В этом случае программа опять создает каркас и оценивает запасы по блокам, попадающим внутрь его.

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.

3.5.2.4 Оценка каркаса

Совершенно аналогично делается оценка каркасов. Единственная разница заключается в том, что каркасы могут иметь, значительно более изощренную форму, чем показано выше, рис.3.53.

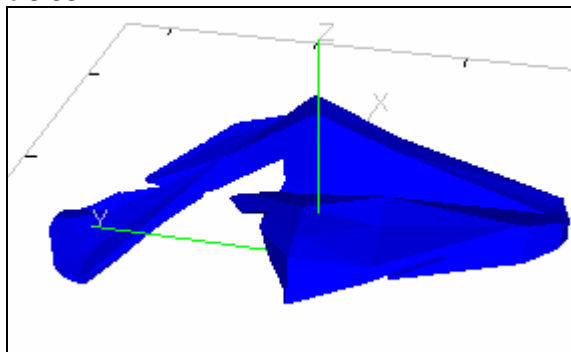


Рисунок 3.53. Вид оцениваемого каркаса.

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

3.5.3 Оценка извлекаемых запасов

3.5.3.1 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.

Теоретические основы оценки извлекаемых запасов излагаются в части 2. 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 взаимосвязанных 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, **целью 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.

3.5.3.2 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.

При разработке месторождений оценка качества руды делается уже для объемов значительно больших, чем объем керновой пробы (Рис.3.54). Таким образом, мы получим гистограмму, характеризующую реальные условия разработки месторождения.

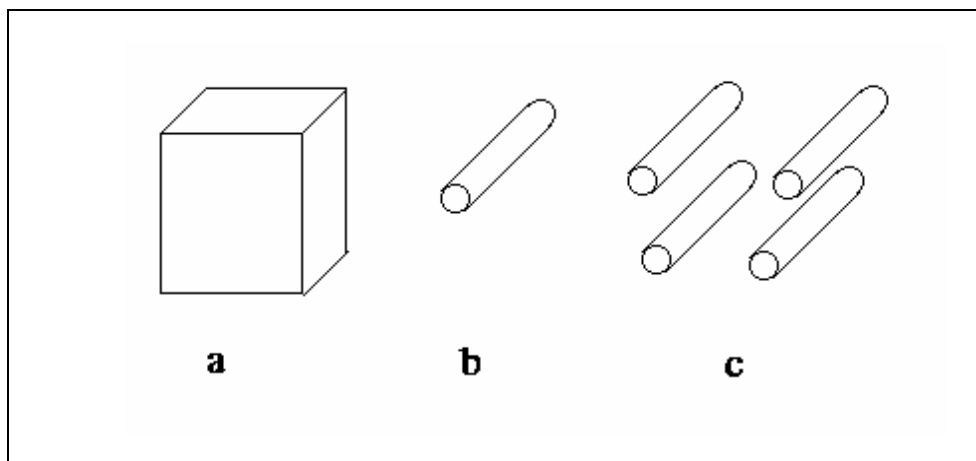


Рисунок 3.54. Различные основания для оценки запасов: а - выемочный блок, б - керновый образец, с- группа керновых образцов.

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

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

Из опыта геостатистической оценки месторождений следует, 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.

3.5.3.3 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.

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.

3.5.3.4 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 отрабатывать его с каким-то бортовым содержанием (рис 3.55).

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.

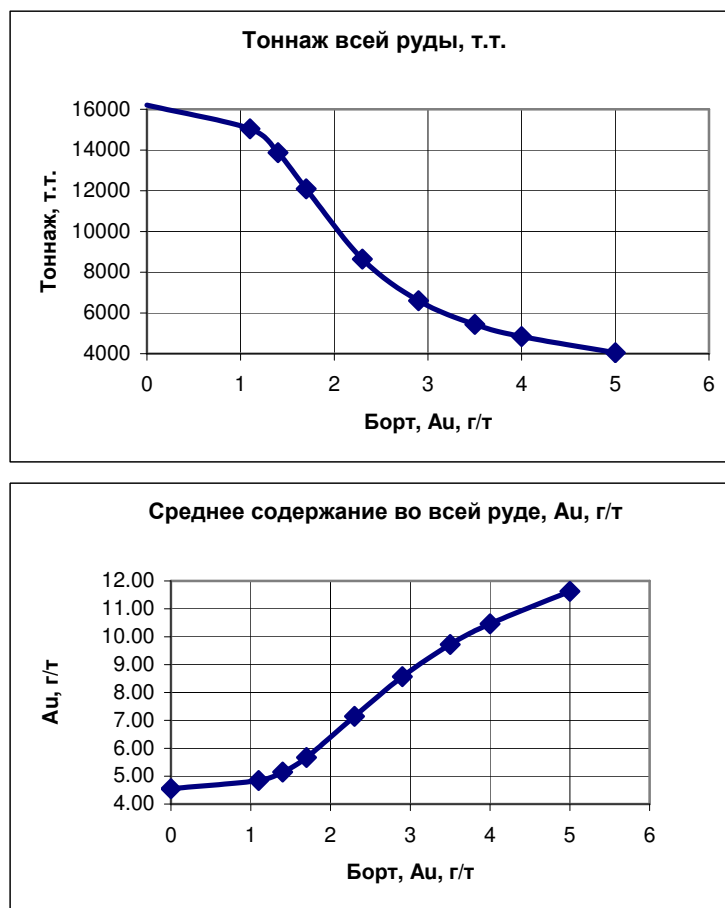


Рисунок 3.55. Кривые "Тоннаж-Содержание" для золоторудного месторождения

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: ядерная проба, валовая проба, выемочный блок и т.д.) характеристика запасов месторождения будет меняться. Теоретические основы этого явления (эффект основания) описаны в специальной литературе [1-3]. В системе Датамайн имеются специальные процессы, которые на основе 'Shortcut' метода (метод кратчайшего пути) позволяют определить тоннаж и содержание реальных извлекаемых запасов.

Процесс SMUHIS 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.

Перед детальным описанием метода необходимо ввести 2 новых термина.

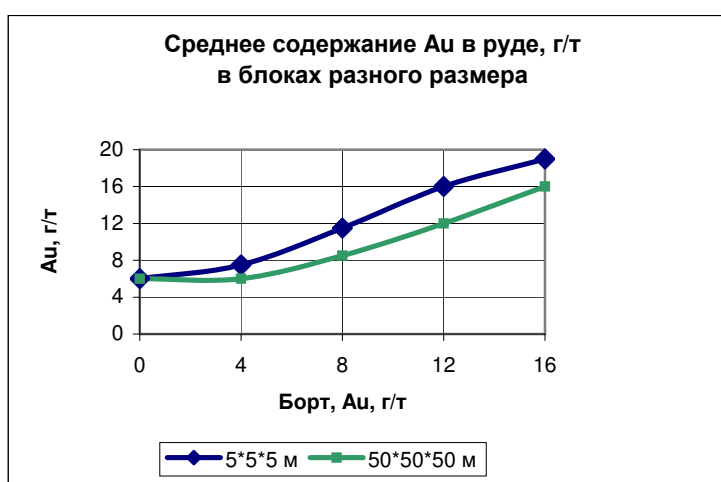
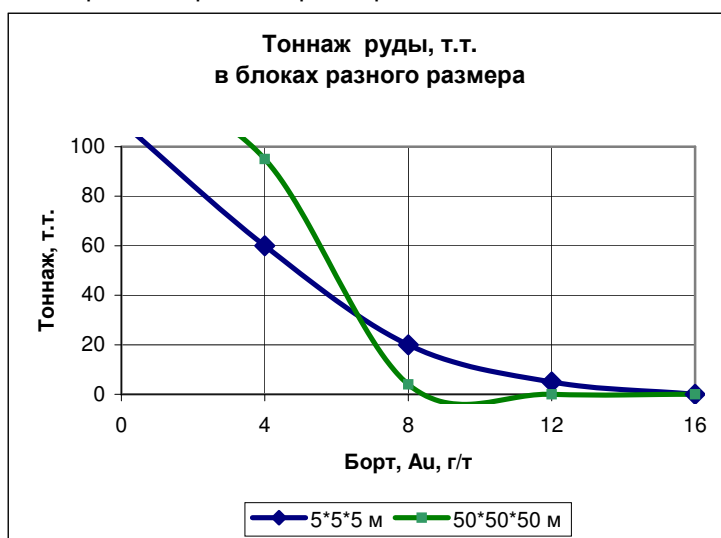
Блок геологических запасов – это ячейка или подъячейка блочной модели месторождения, которая характеризуется оценкой содержания и дисперсией этой оценки. Обычно интерполяция выполняется с помощью кригинга и созданной Вами вариограммной модели (см. гл. 3.5).

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. 3.56. показаны зависимости тоннажа и среднего содержания золота в руде от величины борта для разного размера ВГЕ.



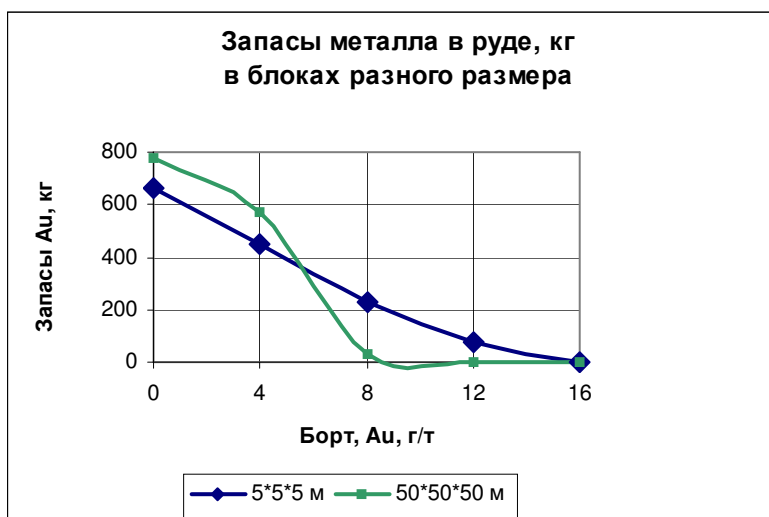


Рисунок 3.56. Зависимость тоннажа, среднего содержания и запасов золота в руде от борта для разных размеров ВГЕ.

Среднее содержание Au в руде месторождения равно 5.6 г/т. Первый график (рис. 3.56) показывает, что при борте ниже среднего содержания меньшие по размерам блоки дают меньшие извлекаемые запасы руды и золота. Это результат высокой степени сглаживания содержания 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 (см. Главу 3.2):

- 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. Более детальное рассмотрение этой темы Вы сможете найти в специальной литературе [1-3].

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 SMUHIS 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 предвительно 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.

3.5.3.5 Процесс SMUHIS

Процесс создает файл суммарной гистограммы извлекаемых запасов для нескольких вариантов заданных бортовых содержаний. Если используется параметр @RECOVERY, то программа будет учитывать установленный с его помощью уровень извлечения (от 0 до 1) запасов ячеек (подъячеек). Если фактическое извлечение для данного варианта борта будет больше установленного, то такая ячейка (подъячейка) будет полностью «извлекаться». Это позволяет Вам вводить, например, условие, при котором блок будет считаться полностью кондиционным, если он содержит более 90%

(@RECOVERY=0.9) запасов (ВГЕ) с содержанием выше бортового. Этот параметр предусматривает также, что, если количество кондиционных ВГЕ в блоке меньше 10%, то он считается полностью породным.

Можно ввести в процесс необязательный файл периметров. В этом случае программа будет рассчитывать отдельные гистограммы для каждого контура. Обычно таким способом оцениваются поуступные извлекаемые запасы руды. Отметка Z периметров должна находиться в пределах соответствующих отметок оцениваемого слоя (уступа) блочной модели.

Выходной файл гистограммы показан ниже (Табл. 3.12.).

Таблица 3.12. Выходной файл процесса SMUHS

LOWER	TONNE	AVGRADE	CTONNE	CGRADE	BRFTONNE	BRFGRADE	ARFTONNE	ARFGRADE	TOTONNE	TOGRADE
-	-	-	4307	6.83	0	-	0	-	4307	6.83
0.0	2	0.42	4307	6.83	0	-	0	-	4307	6.83
0.5	28	0.82	4306	6.83	0	-	2	0.42	4307	6.83
1.0	83	1.28	4278	6.87	0	-	30	0.80	4307	6.83
1.5	138	1.77	4195	6.98	0	-	113	1.15	4307	6.83
2.0	183	2.26	4056	7.16	0	-	232	1.50	4288	6.85
2.5	218	2.76	3873	7.39	0	-	259	1.86	4132	7.04
3.0	243	3.25	3655	7.67	0	-	138	2.40	3793	7.47
3.5	260	3.75	3412	7.98	0	-	189	2.82	3600	7.71
4.0	267	4.25	3152	8.33	0	-	193	3.24	3345	8.04
4.5	266	4.75	2885	8.71	0	-	261	3.60	3146	8.28
5.0	259	5.25	2619	9.11	0	-	71	4.04	2690	8.98
5.5	247	5.75	2360	9.53	0	-	49	4.44	2408	9.43
6.0	231	6.25	2113	9.98	0	-	0	-	2113	9.98
6.5	213	6.75	1882	10.43	0	-	0	-	1882	10.43
7.0	195	7.25	1669	10.90	0	-	0	-	1669	10.90
7.5	176	7.75	1474	11.39	17	12.20	0	-	1457	11.38
8.0	157	8.25	1298	11.88	142	12.51	0	-	1156	11.80
8.5	140	8.75	1141	12.38	321	13.02	0	-	820	12.13
9.0	124	9.24	1001	12.89	315	13.55	0	-	686	12.58
9.5	109	9.74	877	13.41	278	14.12	0	-	599	13.07

Название колонок таблицы переведено ниже:

- LOWER – нижнее значение столбца гистограммы (в данном случае – это борт)
- TONNE, AVGRADE – общий тоннаж и среднее содержание для данного интервала при полном извлечении (до применения параметра @RECOVERY)
- CTONNE, CGRADE - кумулятивный тоннаж и содержание при полном извлечении
- ARFTONNE, ARFGRADE – тоннаж и содержание в некондиционном материале, который считается рудой, т.к. фактическое извлечение в блоке больше, чем @RECOVERY.
- BRFTONNE, BRFGRADE - тоннаж и содержание в кондиционном материале, который считается породой, т.к. фактическое извлечение в блоке меньше, чем 1-@RECOVERY.
- TOTONNE, TOGRADE - общий кумулятивный тоннаж и среднее содержание для данного интервала после применения параметра @RECOVERY.

Первая запись в таблице показывает суммарный тоннаж запасов. В большинстве случаев она повторяет следующую строку таблицы.

3.5.3.6 Процесс SMUMOD

Этот процесс создает на выходе блочную модель (такую же как и на входе), но для каждой ячейки (подъячейки) дополнительно рассчитывает (с учетом заданного борта):

- Долю кондиционных запасов (ВГЕ)
- Среднее содержание для кондиционных запасов

Если требуется оценить извлекаемые запасы для более чем одного варианта борта, то процесс необходимо запускать несколько раз, используя выходной файл предыдущего запуска как входной для следующего. Если необходимо, то надо для каждого нового борта задавать новые имена полей *FRREC и *VALREC.

3.5.3.7 Процесс FFUNC

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.

3.5.3.8 Оценка извлекаемых запасов без модели месторождения.

Описанные выше процессы обычно работают с мелкоблочной моделью месторождения. Однако, иногда Вы располагаете только оценкой среднего содержания в залежи и вариограммной моделью. Даже в этом случае Вы будете способны оценить извлекаемые запасы для заданного размера ВГЕ.

1. Прежде всего, с помощью процесса PROTOM создайте псевдо-прототип блочной модели с одной ячейкой, которая имеет размеры Вашего месторождения.
2. Каким-либо процессом (например, PERFIL) создайте файл модели с одной ячейкой и с помощью процесса EXTRA или GENTRA введите в него значения среднего содержания и дисперсии (установить величину дисперсии = 0).
3. Затем используйте процесс SMUHIS для расчета гистограммы извлекаемых запасов.

Литература

1. Hustrulid W. Kuchta M. 1995. Open Pit Mine Planning & Design. A.A.Balkema. Rotterdam
2. Clark I. Practical Geostatistics, Applied Science Publishers Ltd, London 1979
3. Isaaks E.N. and Srivastava R.M. An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press, 1989
4. Капутин Ю.Е., Ежов А.И., Хенли С. Геостатистика в горно-геологической практике. Апатиты, ГИ КНЦ РАН, 1995, 190 с
5. Sichel H.S. The Estimation of Means and Associated Confidence Limits for Small Samples from Lognormal Populations. APCOM, 1966
6. Dowd P.A. Lognormal Kriging – The General Case. Mathematical Geology, 1982
7. Newton M.J. Variogram Calculation and Kriging for Folded Deposits. Mineral Resource Evaluation '95 Conference. April 1995, Leeds University, UK
8. Cressie N. Towards resistant geostatistics. – Geostatistics for natural resources characterization. Dordrecht, p.21-44, 1984
9. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд. Л, Недра, 1980, 360 с

4. Оптимизация и проектирование карьеров и подземных рудников.

4.1 Основные принципы компьютерного проектирования горных работ

Программное обеспечение для горного моделирования и проектирования сегодня превратилось в системы, которые отличаются интерактивной графикой, высокого качества визуализацией поверхностей и моделей объектов, а также дружественными интерфейсами пользователя. Недорогие настольные аппаратные средства ЭВМ теперь могут обеспечить сложное графическое и интерактивное автоматизированное проектирование. Самые современные компьютеры и программные средства помогают инженерам и геологам выполнять горные расчеты быстро и эффективно.

Проектирование рудника требует нескольких шагов при любом (ручном или автоматизированном) способе выполнения работы. Эти шаги известны каждому горному инженеру. Проектирование с карандашом, бумагой и калькулятором требует интенсивной многомесячной работы с результатами сложных расчетов, черчением, доводкой и “шлифовкой” частей проекта. В конце этого процесса Вы получаете только одно из возможных решений для развития горных работ. При получении дополнительной информации снова нужен длительный период для интенсивной работы по созданию нового варианта проекта.

Если в такой работе используется компьютер, то первый вариант модели месторождения и проекта карьера (или подземного рудника) также потребует многомесячной напряженной работы. Однако, в конце этого этапа Вы сможете иметь много вариантов развития горных работ. Поскольку вся информация становится легко доступной, то получить новый карьер (рудник) или требуемые его сечения можно в течение нескольких часов.

Когда горное предприятие небольшое и слабо механизированное, то ручное проектирование будет приемлемо, т.к. оно может быть выполнено в разумные и достаточные сроки для невысокого темпа производства. При более высоком уровне механизации и производительности горных работ проектные решения должны быть приняты в более короткие сроки, чтобы соответствовать увеличенным скоростям информационных потоков. Компьютер используется для облегчения и повышения эффективности передачи информации от геологов и специалистов по планированию к линейному производственному персоналу.

При компьютерном проектировании используются много таких же процедур, как и при ручном. Первые компьютерные программы были написаны, чтобы лишь автоматизировать ручные операции с той целью, чтобы геологи и горные инженеры могли ими пользоваться без переподготовки или с минимумом ее. Сегодняшние программы существенно отличаются от своих предшественников и представляют собой технологии, о которых можно было лишь мечтать 10 лет назад.

Сегодня пользователям доступно большое число программ, которые автоматизируют почти все расчеты и задачи по планированию, необходимые в современном горном производстве. Однако, каждая горная компания должна решить, какое программное обеспечение наиболее подходит к разрабатываемым ею типам месторождений, а также к особенностям производства, что позволит осуществлять планирование и управление горными работами более эффективно и быстрее.

Следующие шаги должны предшествовать такому планированию:

- **Должна быть сформирована Геологическая База Данных.** Для ее создания используется вся полученная к данному времени первичная геологическая информация.
- **Необходимо создать блочную модель месторождения.** Она может включать в себя содержания компонентов в руде, геологические структуры, экономические показатели или любые другие данные, которые должны помочь специалисту с максимальной точностью определять характеристики руды и вмещающих пород в любом месте месторождения. После создания такой модели можно приступить к проектированию (планированию).

Попытаемся сформулировать основные требования к компьютерным программам для проектирования (планирования) развития карьеров и подземных рудников:

- **Графическое изображение (3-х мерная визуализация) характеристик рудного тела.** Это должны быть 2-х мерные планы и сечения, а также 3-х мерное изображение объемных пространственных моделей.
- **Интерактивная графическая работа с геологической моделью.** При проектировании карьера или шахты инженер всегда хочет получить максимальные преимущества, т.е. - минимум коэффициента вскрыши, максимальное извлечение руды, лучшие экономические параметры в первый период работы и т.п. Графические изображения автоматически выводятся на плоттер, а инженер, пользуясь возможностями горных систем и CAD (Computer Aided Design), может интерактивно вносить на экране в проект требуемые корректировки.
- **Обеспечение автоматического выполнения некоторых задач, но с возможностью интерактивного вмешательства и корректировки на каждом шаге процесса.** Например, когда создается проект карьера, инженер может задать дно карьера, углы откоса бортов для разных его частей, расположение дорог, ширину берм, а также другие параметры. По мере автоматического проектирования инженер может оценивать каждый полученный уступ для того, чтобы решить, продолжать процесс в автоматическом режиме или внести в уже сделанную часть необходимые корректировки.
- **Предложение выбора разных технологий проектирования.** Многие современные карьеры и рудники спроектированы с помощью комбинации методов. Методы оптимизации создадут Вам лучший по экономическому критерию карьер, выберут наиболее выгодные очистные блоки, но они могут быть нереальны в действительной жизни. Например, оптимальный карьер не включает дороги, поэтому инженер должен достроить их и пересчитать результаты проектирования.

Автоматизированные методы проектирования требуют предварительного задания характеристик руды и вмещающих пород в модели месторождения. Рудник может быть спроектирован или “вручную” на компьютерном экране, или полностью автоматически, что в основном относится к карьерам. “Ручное” проектирование может идти 2-мя путями даже при использовании компьютеров:

- Контуры каждого уступа карьера, трассы и очертания подземных выработок вводятся дигитайзером или мышью (на экране монитора) в компьютер. Полный набор всех контуров и трасс составляет в итоге окончательную форму поверхности карьера или схему предполагаемых выработок. Проект карьера может также включать в себя дороги. После каркасного моделирования карьера (рудника) вычисляются объемы извлекаемых руд и пород, а также качество всех видов добываемых руд.
- Начальный контур дна карьера оцифровывается (дигитайзером или мышью) и вводится в компьютер. Программа проектирования начинает построение карьера с введенного контура дна и отстраивает контур следующего вышележащего горизонта. Пользователь должен ввести ограничения, задав угол откоса борта карьера для каждой части месторождения. Большинство программ позволяют пользователю выполнять проект каждого нового уступа с различными параметрами (угол откоса, ширина бермы и т.д.). При проектировании пользователь может наблюдать на экране геологическую модель с тем, чтобы иметь возможность вносить коррективы в проект. Дороги можно добавлять в процессе такого проектирования или вставлять позже. Аналогичный процесс используется и при проектировании карьера сверху вниз.

Оба “ручных” метода позволяют спроектировать карьер (рудник), который в принципе не является оптимальным. Этот процесс может быть повторен любое количество раз до тех пор пока не будет получен объект с максимально возможными экономическими параметрами.

Карьерные дороги могут быть спроектированы автоматически или вручную. Известные программы предлагают для этой работы разные методы. Наиболее часто используется технология, при которой пользователь задает начальную и конечную точки, уклон и ширину дороги, а программа сама вставляет контур дороги в каждый уступ по мере проектирования карьера. Карьер также может быть первоначально спроектирован без дорог, которые «вставляются» в него позже.

“Автоматические” методы обычно используют результаты одного из методов оптимизации для определения конечных границ карьера или контуров наиболее выгодных очистных блоков. При оптимизации применяются различные экономические и физические критерии, например, оптимальные карьеры или очистные блоки могут быть получены для разных уровней цен на металл, уголь или другие полезные ископаемые. Понятно, что результаты оптимизации не могут быть непосредственно использованы для управления горными работами, т.к. они, как правило, не учитывают размеров оборудования, других горных ограничений и т.п. Это – прежде всего основа для последующего детального проектирования горных работ.

Для карьеров обычно используются 2 метода оптимизации. В методе “плавающего” конуса каждый выемочный блок руды в модели рудного тела имеет “конус” материала сверху, который должен быть удален перед извлечением данного блока. Этот метод учитывает количество руды и породы, содержащееся внутри всех возможных конусов в месторождении. Результатом является форма карьера, которая дает максимальные значения выбранного критерия во всех конусах.

Метод Лерча-Гроссмана основан на теории графов. Для каждого блока модели месторождения рассчитываются экономические параметры (обычно - прибыль), а затем программа выбирает комбинацию блоков, которая дает максимальное значение прибыли. Этот метод также предполагает предварительное удаление материала, лежащего сверху каждого анализируемого блока руды. Более подробно этот метод будет рассмотрен позже.

Оптимизация размещения на модели месторождении очистных блоков подземного рудника обычно производится по одному из экономических критериев с учетом горных ограничений.

Прошли времена проектирования рудников с карандашом и калькулятором. Компьютерные технологии в корне изменили этот процесс. Уровень информационных технологий непрерывно возрастает, и они становятся более доступными для пользователей. Графические возможности компьютеров становятся все больше и существенно упрощают работу проектировщиков. *Графика бесполезна и вводит в заблуждение, если данные неправильны или не были корректно обработаны.* Красивые цветные картинки хороши лишь на заключительном этапе, а реальная мощь систем проявляется в создании моделей и проектных вычислениях, выполняемых грамотными исполнителями.

4.2 Оптимизация предельных границ карьеров

Этой теме посвящены сотни публикаций, и любой любознательный читатель сможет легко найти всю интересующую его информацию (любого уровня сложности) в ближайшей доступной ему технической библиотеке горного профиля или в Интернете. Мы же сошлемся лишь на одну из последних книг, посвященную проектированию карьеров [1], в которой теория и практика оптимизации изложены очень подробно.

Что касается компьютерных технологий, то в последнее десятилетие в мире главным образом использовались 2 алгоритма оптимизации предельных контуров карьеров:

- Плавающего конуса и
- Лерча-Гроссмана

Первый из них больше встречался на Американском континенте, а второй - на остальной территории, связанной с горными работами. К сожалению, мы опустим здесь разбор математического аппарата этих методов и отметим только, что в основном они дают не слишком расходящиеся результаты.

Не так давно каждая «уважающая себя» горная интегрированная система имела в своем составе или каждую из вышеупомянутых программ, или интерфейсы для использования программ других специализированных компаний. Сейчас ситуация

несколько изменилась, и второй метод, благодаря в основном компании Whittle Programming (сейчас она приобретена фирмой Gemcom), завоевал лидерство в мире.

Кроме упомянутой выше австралийской компании Whittle Programming, выпустившей на рынок такие широко известные продукты, как Three-D, Four-D, OptiCut, Four-X, появилась новая компания Earthwork, которая выпустила несколько горных приложений высокого уровня и в т.ч. программу оптимизации карьеров по методу Лерча-Гроссмана – MaxiPit, которая вошла в состав пакета (системы) NPV Sheduler. Этот пакет предлагает сегодня набор высокотехнологичных компьютерных инструментов для проектирования и планирования открытых горных работ с широким использованием различных методов оптимизации. Он имеет удобный интерфейс пользователя, и мы остановимся на его рассмотрении чуть позже.

4.2.1 Программа Four-D(X)

Австралийская компания Whittle Programming долгое время была мировым монополистом в решении задач, связанных с оптимизацией карьеров. Большинство консультационных фирм использовали в работе ее пакеты по всему миру, и в конце концов они стали своеобразным стандартом, несмотря на неудобный интерфейс пользователя и сравнительно медленное обновление продукции.

Ниже в качестве примера приведена последовательность действий при оптимизации одного из карьеров программой Four-D.

Рассматривается зона минерализации, имеющая нерегулярную форму, развитая на глубину 110 м, и простирающуюся на 108 м с Севера на Юг и на 240 м с Запада на Восток. Поверхность зоны слабо опускается на Запад. В ней были установлены 2 типа минерализации:

-С высоким содержанием /Руда А/, которая содержит 119 988 т запасов. Содержания в этой зоне, имеющей форму колпака над зоной с низкими содержаниями, распределены логнормально со средним 7.95 г/т и максимумом 9.66 г/т.

-С низким содержанием /Руда В/, содержащая 1 058 904 т запасов. Она распространяется главным образом на глубину. Содержания распределены также логнормально со средним 3.18 г/т и максимумом 3.75 г/т.

Для оптимизации была использована блочная модель месторождения с блоками 6х6х10 м. Вся модель содержит $59 \times 41 \times 12 = 29\,028$ блоков, что обеспечивает приемлемое время расчетов. Плотность руды - 2.2 т/куб.м.

Были использованы только 3 угла откоса борта карьера (программа позволяет задавать до 160 различных углов откоса) – табл. 4.1. Наклон восточного борта позволяет разместить на нем дороги при последующем детальном проектировании карьера.

Таблица 4.1. Параметры углов откоса карьера

Азимут, град	Угол откоса от горизонтали, град
80.0	43.0
180.0	58.0
280.0	53.0

Для оптимизации требуется построить экономическую модель месторождения, добавив в имеющуюся геологическую модель соответствующие параметры. В данном примере были использованы следующие показатели:

- Цена золота 12.5 доллара за грамм.
- Затраты на выемку 1 тонны горной массы - 1.5 доллара.
- Затраты на обогащение 1 тонны руды - 10.5 доллара.
- Годовая начальная производительность карьера - 1 млн тонн горной массы.
- Начальная производительность ОФ - 200 тыс тонн в год.
- Компания, владеющая месторождением, хочет получить значение Net Present Value (NPV см. главу 2), на основе 10% учетного процента.

После ввода исходных данных программа начинает работать и через 5 минут выдает Вам (в данном учебном примере) информацию о 48 «вложенных» карьерах, которые получаются, если последовательно уменьшать цену металла (ов) до какого-то минимума с заданным интервалом. Лучший карьер выбирается по максимуму NPV, и в данном случае – это карьер № 37. Рассчитывается также график, где для каждого карьера приводятся 2 значения оценки:

- наилучшая, когда углы рабочего и нерабочего бортов карьера равны и
- наихудшая, когда угол рабочего борта минимален

Понятно, что реальная оценка, как и карьер, находится где-то посередине. На выходе также формируется таблица, в которой приводятся все характеристики (в т.ч. и экономические) для каждого из «вложенных» карьеров. Вы можете повторить запуск программы сколько угодно раз с новыми экономическими параметрами для того, чтобы оценить возможные ситуации, связанные с колебаниями цен металлов, не подтверждением информации о качестве и количестве руды и т.п.

В итоге анализа Вы, как эксперт, сможете выбрать предельный карьер, который позволит Вам получить максимальную величину NPV в результате отработки запасов месторождения при не очень высоком уровне риска от возможного снижения мировых цен на металлы и не подтверждения геологической информации.

Далее Вы сможете импортировать полученную блочную модель выбранного Вами карьера в одну из горных графических систем (например, в Датамайн) и по ней спроектировать детальный карьер с дорогами, который не должен существенно отличаться по форме от оптимального карьера.

Не так давно появилась новая программа оптимизации карьеров – Four-X, которая распространяет свое влияние уже на процесс планирования и оптимизации бортовых содержаний по критерию – максимуму NPV. Эта программа оперирует на основе расчета оптимальной последовательности выемки запасов месторождения.

Пакет Four-X Analyser представляет собой набор средств стратегического планирования горных работ, спроектированный для профессиональных горных инженеров. Имеется расширяющийся набор модулей, которые могут быть добавлены к основному ядру, еще больше увеличивая его производительность и полезность.

В частности Модуль Multi-element расширяет возможности Four-X Analyser, позволяя определять в модели месторождения до десяти различных элементов (содержаний). Этот модуль весьма полезен для анализа рудников по добыче многокомпонентного сырья. Каждый из продуктов может иметь независимую функцию извлечения для одного или более способов переработки. Каждый элемент может иметь различную структуру затрат и ограничений. С помощью модуля Multi-element можно смоделировать и отслеживать также ядовитые или вредные минералы и примеси.

Вы можете существенно улучшить экономические характеристики выбранного Вами «оптимального» карьера за счет использования поэтапной отработки, т.е. выбора такой последовательности этапов (с использованием максимально возможных углов откоса бортов в каждом из них), которые дадут Вам максимум NPV. Английский аналог термина этап – Pushback. Программа включает в себя возможность разделения жизни карьера на этапы с учетом оптимальной последовательности их отработки и соблюдения горнотехнических ограничений.

4.2.2 Программа Maxipit

Появившийся в последние 5 лет и интенсивно развивающийся программный комплекс NPV Scheduler создан американским специалистом Болеславом Толминским и включает в себя много функций, автоматизирующих процессы проектирования и планирования карьеров. Комплекс имеет развитый современный интерфейс пользователя и имеет возможность двустороннего импорта и экспорта информации, а также развитую современную графику с 3-х мерным визуализером.

Первой частью комплекса является программа Maxipit, которая также использует алгоритм Лерча-Гроссмана (ЛГ) и выдает результаты в общем не отличающиеся от результатов программы Four-D. Оптимизация может быть произведена по одному из 3-х критериев:

- **Максимум потока наличности (cash flow).** Программа будет создавать стандартный предельный карьер в соответствии с алгоритмом ЛГ. Здесь же можно использовать ограничения, связанные с определением границ перехода на подземные работы.

- **Максимум извлекаемых запасов.** Программа будет создавать карьер, включающий всю руду и породу, которая должна быть для этого удалена. Этот случай может встретиться при отработке месторождений очень ценного сырья (алмазов, драгоценных камней и т.п.).

- **Работа в заданных границах карьера.** Вместо создания нового карьера программа будет использовать имеющиеся границы карьера. Вы должны предварительно импортировать в программу поверхность Вашего карьера. Такая ситуация может случиться, если вам, например, потребуется проверить (и улучшить) экономические параметры уже спроектированного карьера.

Кроме того, в процессе оптимизации может быть определена оптимальная (по критерию Максимум NPV) последовательность извлечения блоков модели по одному из 2-х критериев:

- **Максимум NPV.** Программа будет искать последовательность извлечения блоков (внутри всех оболочек карьеров), которая дает самый высокий NPV.

- **Оптимизация усреднения руд.** Программа будет искать последовательность извлечения блоков (внутри всех оболочек карьеров), которая позволяет выполнить установленные Вами ограничения по качеству добываемой руды (однородность, содержание вредных примесей и т.п.).

На выходе из программы для каждого «вложенного» карьера рассчитывается:

- Экономическое бортовое содержание для всех полезных ископаемых
- Поток денежных средств (CashFlow), \$
- Количество горной массы в контуре карьера, тонн
- Количество руды разных видов с учетом разубоживания, потерь и бортового содержания, тонн
- Количество всех извлекаемых металлов *после переработки руды*
- Оценка NPV, \$
- Время работы карьера, лет

Рассмотрим работу этой программы на примере оптимизации одного из золоторудных карьеров.

4.2.2.1 Краткие сведения о месторождении.

Месторождение золота расположено в холмистой местности и представляет собой свиту крутопадающих рудных тел и зон (11) мощностью от 2 до 20 и более метров. Верхняя часть залежи представляет собой окисленную зону, мощностью до 30-50 м, в которой золото находится в несвязанной форме. Ниже располагаются основные запасы металла, где золото связано с сульфидами. Месторождение разведано до глубины почти 350 м от поверхности. Среднее содержание золота в окисленной зоне – 2.5 г/т, сульфидной – 3.5 г/т, содержание серебра соответственно – 0.7 и 2.5 г/т. Месторождение разведано скважинами колонкового и шарошечного бурения, канавами и подземными горными выработками.

Предварительным Технико-экономическим обоснованием предусматривается раздельная во времени отработка разных типов руд; сначала будут извлекаться и перерабатываться кучным выщелачиванием окисленные руды, а затем – сульфидные – с предварительным использованием биологического выщелачивания.

Моделирование месторождения начиналось с создания каркасных моделей 11 рудных тел, которые затем заполнялись ячейками (блоками). Размер основного блока модели – 10м (вкрест простирания)*20*20м. На контактах рудных зон с целью

соблюдения реальных их очертаний блоки делились на суб-блоки со значительно меньшими размерами.

Трехмерная интерполяция содержаний золота и серебра производилась обычным кригингом и (в некоторых случаях) методом обратных расстояний с показателем степени 3. Чтобы исключить влияние подземных геологоразведочных, на блочную модель месторождения была наложена трехмерная модель разведочных выработок, внутри которой значения содержаний золота и серебра были приняты равными 0.

4.2.2.2 Создание экономической модели месторождения

Все оптимизационные расчеты проводятся на блочной модели месторождения, которая обычно импортируется в специализированную программу из горной компьютерной системы, где она была создана. При импорте из Датамайн, например, модель, имеющая подъячейки, становится регулярной.

Программа – оптимизер, используя исходные данные, рассчитывает для каждой ячейки модели дополнительную экономическую характеристику. Это – величина чистой прибыли, которую получит предприятие, если оно добудет руду данного блока, переработает ее и продаст все извлеченные полезные компоненты по установленным ценам на рынке. Затраты на вскрышные работы здесь пока не учитываются.

Оценка блока может быть как положительной, так и отрицательной (пустые и вмещающие породы, бедные руды).

Программа с помощью входной информации (цены – затраты) рассчитывает экономическое бортовое содержание (для предельного карьера), при котором можно добывать руду с нулевой прибылью. Далее по блочной модели оцениваются все запасы с содержанием выше бортового (руда) и количество пустой породы. Эта модель будет использоваться во всех процессах оптимизации.

Если на входе заданы несколько полезных компонентов, содержащихся в комплексных рудах, то программа оценит полную экономическую ситуацию, и для каждого блока модели рассчитает полную экономическую характеристику. Естественно, что в этих условиях не может быть рассчитано отдельных экономических бортов для каждого полезного компонента.

4.2.2.3 Определение производительности карьера

Чтобы запустить программу оптимизации (правильнее - определения предельных контуров карьера) необходимо предварительно оценить размер ежегодной добычи руды. Этой проблеме посвящено так много работ в отечественной и иностранной литературе, что мне остается только направить интересующегося этим вопросом читателя к любому справочнику по открытым горным работам, где он найдет ответы на свои вопросы и обширную библиографию.

Понятно, что теоретически возможно точно рассчитать оптимальную производительность рудника. Чтобы сделать это, необходимо иметь точные сведения о тоннаже и содержаниях в извлекаемой в разные периоды времени руде (с учетом изменений борта во времени), производственных затратах и ценах на материалы и металлы в течение всего срока работы предприятия. Естественно, что эта информация не может быть полностью получена, особенно на ранних стадиях освоения месторождения.

Даже, если вся эта информация имеется, то все равно теория оптимизации не может дать однозначного ответа даже в этих условиях. Использование разных критериев приводит к различным оптимумам, а в условиях неопределенности исходной информации - единого оптимума существовать не может. Речь может идти лишь об оптимальной зоне. Следовательно, точные математические методы редко применяются для решения данной задачи. Для этой цели должны быть использованы другие способы.

Самый простой метод расчета состоит в прогнозировании потребностей рынка в планируемой продукции и делении на эту величину объема кондиционных запасов месторождения с учетом всех возможных потерь и извлечения на всех стадиях производства.

Более точный и очень популярный на Западе метод был разработан в 80-х годах Тейлором (Taylor) [2], который предложил очень полезный практический способ определения срока существования горного предприятия.

Слишком низкая производительность рудника отодвигает получение возможной прибыли от проекта далеко в будущее. С другой стороны, слишком большая производительность приводит к риску не возвращения чрезмерно больших капиталовложений в короткое время работы предприятия. Чрезмерно большое предприятие в ряде ситуаций не сможет полностью продать свою продукцию на рынке, а короткий срок работы его может быть неприемлем по социальным мотивам.

Должна быть упомянута и еще одна опасность для предприятия с коротким сроком жизни. Цикл изменения цен на цветные металлы составляет 4-7 лет. Поэтому при сроке отработки запасов 4 года можно остаться в проигрыше, оказавшись в пределах "провала" цикла.

В реальной жизни размеры конечной продукции горного предприятия находятся под строгим ограничением различных производственных факторов. Одним из наиболее важных из них является размер рабочего пространства карьера или шахты. Рудник реально может увеличить свою производительность за счет расширения рабочего пространства.

На карьерах рабочее пространство для оборудования (а следовательно и производительность) измеряется единицами площади (кв. метры), в то время как тоннаж связан с объемами руды (куб. метры). Следовательно, можно ожидать, что производительность для рудных тел с более или менее одинаковой формой будет пропорциональна запасам руды в степени 2/3. Следовательно, срок отработки будет пропорционален кубическому корню из этого тоннажа.

Тейлор в 1977 г исследовал много реальных проектов с самыми разными горно-геологическими условиями, для которых запасы месторождений были хорошо известны. Он обнаружил, что производительность рудника оказалась пропорциональной запасам в степени 3/4, а не 2/3, как это могло казаться. Проектные сроки работы предприятия (T_m) оказались пропорциональны корню 4-ой степени от запасов руды (Q_r).

Таким образом, получена простая и полезная формула для расчета срока отработки запасов:

$$T_m \cong 0.2 \sqrt[4]{Q_r} \quad (4.1)$$

Но в этих расчетах удобнее оперировать с запасами, выраженными в млн. тонн. Кроме того, оказалось, что практический интервал значений находится в пределах 0.8 - 1.2, поэтому формула может быть переписана в виде

$$T_m \cong (1 \pm 0.2) 6.5 \sqrt[4]{Q_r} \quad , \quad (4.2)$$

где Q_r выражено в млн.тн.

На предварительной стадии количество руды может оказаться недостаточным для получения приемлемых результатов расчета, однако на последующих стадиях в эти объемы могут полностью войти все категории запасов, включая С1 и т.д. (но не прогнозные).

Данное правило обеспечивает приемлемые результаты для приблизительных расчетов интервала производительности рудника на предварительной стадии оценки месторождения. В этом интервале затем может быть выбрано одно из реальных значений, которое далее будет использовано в ТЭО и проекте.

4.2.2.4 Исходные параметры оптимизации карьера

Было выполнено в общей сложности 4 серии расчетов с различными параметрами:

- Цены золота,
- Углов откоса бортов карьеров

- Производственных затрат на обогащение руды
- Извлечения золота при переработке руды
- Потерь и разубоживания руды при добыче.
- Годовой производительности рудника и нормы дисконтирования

Окончательный вариант исходных данных для оптимизации карьеров приведен в таблице 4.2. Углы откоса борта карьера приняты с учетом расположения карьерных автодорог на западном борту.

Таблица 4.2 Параметры оптимизации карьера

Параметры	Ед. измерения	Значения
Угол откоса – запад (карьер окисл.руд)	Градусы	38,00
Угол откоса – восток (карьер окисл.руд)	Градусы	45,00
Угол откоса – запад (карьер сульфидных руд)	Градусы	38,00
Угол откоса – восток (карьер сульфидных руд)	Градусы	45,00
Цена на золото (карьер окисленных руд)	\$/унц.	275,00
Цена на золото (карьер сульфидных руд)	\$/унц.	350,00
Цена на серебро	\$/унц.	5,00
Извлечение серебра (карьер окисленных руд)	-	0,50
Извлечение серебра (карьер сульфидных руд)	-	0,50
Роялти	%	3,00
Потери руды при добыче (карьер окисленных руд)	-	0,05
Потери руды при добыче (карьер сульфидных руд)	-	0,10
Разубоживание (Au в пустой породе= 0.2 г/т) (карьер окисленных руд)	%	5,00
Разубоживание (Au в пустой породе= 0.2 г/т) (карьер сульфидных руд)	%	10,00
Стоимость добычи руды (карьер окисл. руд)	\$/т	1,10
Стоимость добычи руды (карьер сульфидн. руд)	\$/т	1,16
Стоимость переработки (карьер окисл. руд)	\$/т	4,51
Стоимость переработки (карьер сульфид. Руд)	\$/т	13,30
Извлечение золота (карьер окисленных руд)	-	0,80
Извлечение золота (карьер сульфидных руд)	-	0,88
Стоимость выемки пустых пород (карьер окисленных руд)	\$/т	0,90
Стоимость выемки пустых пород (карьер сульфидных руд)	\$/т	0,92
Накладные расходы	\$/т	3,00
Ставка дисконтирования	%	13,00
Количество рабочих дней в году	Дни	350,00
Затраты на продажу металла	\$/т	0,01
Производительность (карьер окисленных руд)	Млн.т/год	1,50
Производительность (карьер сульфидных руд)	Млн.т/год	2,50

4.2.2.5 Определение углов откоса бортов карьера для оптимизации

Это одна из основных задач подготовки исходных данных для оптимизации. На данном этапе работа делается приблизительно и с некоторым запасом, т.к. Вы не можете совершенно точно привязать к карьере дороги, бермы и т.п. Однако, если Вы далеко отойдете от реальности, то Ваш проектный карьер будет сильно отличаться от

оптимального, а значит, он уже не будет таковым. Обычная процедура задания этих параметров состоит из:

- Изучения геомеханических характеристик горных пород и расчета устойчивой формы и углов наклона бортов карьера.
- Исследования вариантов транспортной схемы карьера для разных этапов его развития.
- Корректировки полученных ранее бортов с учетом размещения на них трасс внутренних транспортных потоков.
- Привязка полученной информации в пространстве и формирование исходных данных в табличной форме, как этого требует оптимизационная программа.

Зная устойчивые расчетные углы откоса для разных участков бортов Вашего карьера, Вы должны проверить, насколько соответствуют этим параметрам принятые для проектирования углы откоса уступов, число объединяемых уступов, размеры и конструкция предохранительных и транспортных берм. Это делается с помощью простых геометрических построений или расчетов в программе Excel.

Теперь необходимо прикинуть, на каком борту у Вас будут размещаться транспортные магистрали, и еще раз откорректировать с учетом их ширины и уклона тот или иной участок борта.

Для квалифицированного использования программы оптимизации Вы должны располагать следующей информацией:

- Координаты, ограничивающие каждый регион, где Вы хотите использовать особые углы откоса борта карьера
- Азимуты направлений и углы откоса борта в каждом направлении

Для большого карьера со сложной геомеханической ситуацией может быть задано несколько регионов (как правило, по высоте или для отдельных фаз развития), в каждом из которых для многих направлений могут быть установлены особые углы откоса борта, учитывающие характеристики вмещающих пород и конструкцию борта.

В данном примере для относительно неглубокого карьера предусмотрены одинаковые углы откоса бортов для окисленных и скальных пород. Размещение автодорог планируется на западном борту карьера, поэтому он выполнен более пологим.

4.2.2.6 Результаты расчетов

Программа оптимизации (как и пакет Four-D) позволяет рассчитать заданное количество «вложенных» оболочек оптимальных карьеров, каждый из которых характеризуется своей величиной рыночных цен на металлы, содержащиеся в руде. Можно задать минимальное значение цены и шаг, с которым цена будет увеличиваться. Для каждого такого шага процесс будет выстраивать свой оптимальный карьер. Далее по графикам (обычному и кумулятивному) изменения объемов горной массы и руды, а также извлекаемых металлов, потока наличности и NPV эксперт может выбрать оболочку, наиболее соответствующую его представлениям об оптимальном карьере.

В данном случае рассчитывались 10 оболочек, а выбраны наибольшие контуры карьеров, которые давали максимальные значения экономических параметров. Блочные модели этих карьеров были импортированы в систему Датамайн для последующего проектирования и подсчета извлекаемых запасов руды. Интерактивное построение карьеров снизу вверх (на этом этапе пока без встраивания автодорог) производилось в графическом редакторе системы (Рис. 4.2, 4.3).

Параметры проектирования карьеров:

- Высота уступов – 12 м
- Угол наклона бортов уступов:
 - Карьер окисленных руд - 70°
 - Карьер сульфидных руд - 75°
- Ширина бермы безопасности – 5 м

В процессе предварительного (укрупненного) проектирования карьеров были рассчитаны объемы и качество извлекаемых запасов руды с учетом разубоживания и потерь. Это позволило оценить экономические параметры проекта и выполнить календарное планирование горных работ.

Карьер сульфидных руд был разделен программой на 3 этапа отработки, которые примерно равны по объемам производства, позволяют учесть все горные ограничения и имеют такую последовательность извлечения запасов руды, которая дает максимальный экономический эффект. Примерная продолжительность одного этапа – 5 лет.

На рисунках 4.4, 4.5 приведены графики изменения важнейших показателей работы карьера по этапам.

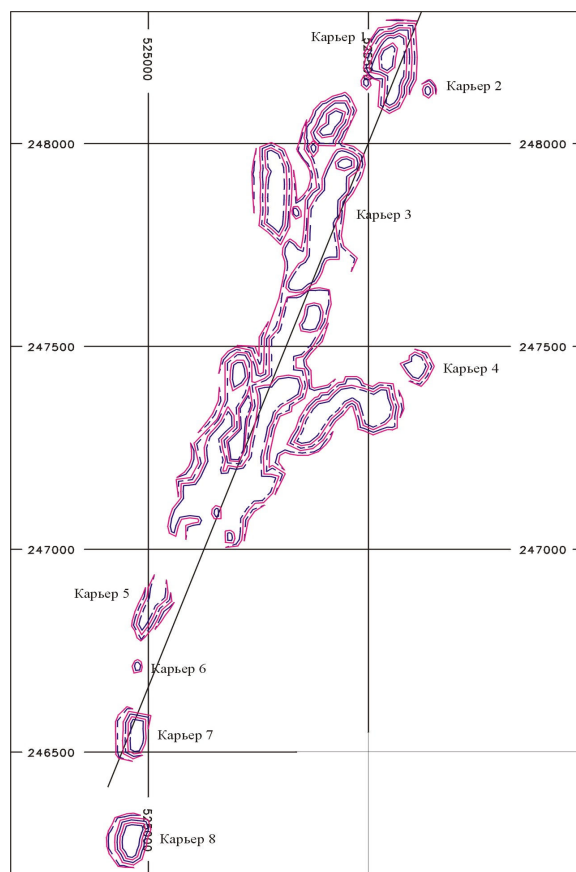


Рисунок 1. План карьеров окисленных руд

Рисунок 4.2. План карьеров окисленных руд

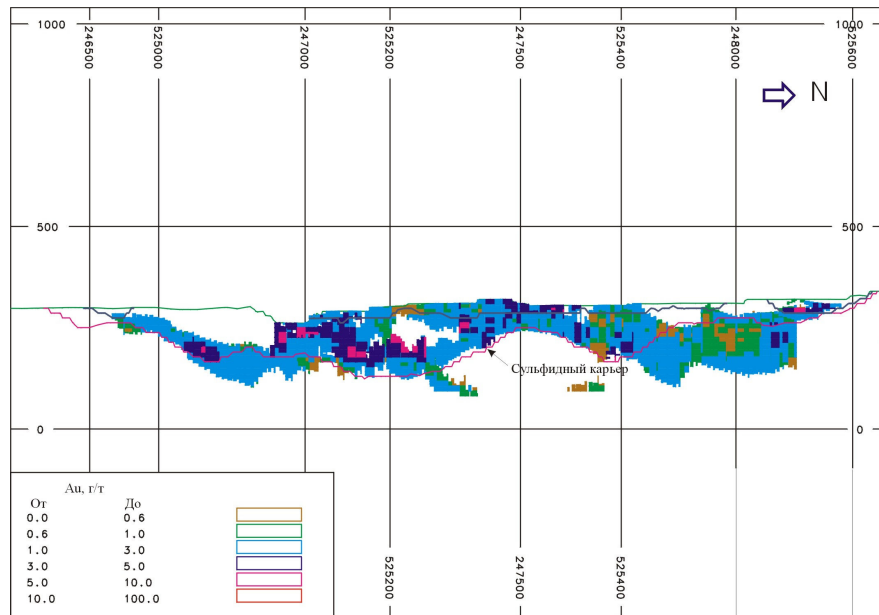


Рисунок 4.3. Разрез геологической модели месторождения с контурами оптимальных карьеров

В предварительном ТЭО не ставилась задача точного календарного планирования горных работ на карьере, поэтому в данном примере приводятся результаты предварительных расчетов только для карьера сульфидных руд.

В качестве критерия для используемого программой процесса динамического программирования был выбран наиболее простой – минимальное отношение объемов горной массы к объему руды всех типов. В принципе может быть использован любой другой критерий, который может быть вычислен из показателей, имеющих в экономической модели месторождения. Программа рассчитывает наиболее выгодный (по критерию максимума NPV) реальный вариант последовательности отработки месторождения с учетом введенных ограничений.

План был составлен на весь период отработки сульфидного карьера (примерно 16 лет). На рисунках 4.6, 4.7 показан вид карьера на конец 10 и 16 года отработки. На рисунке 4.8 показан график изменения основных показателей для этого варианта исходных данных, критериев и ограничений.

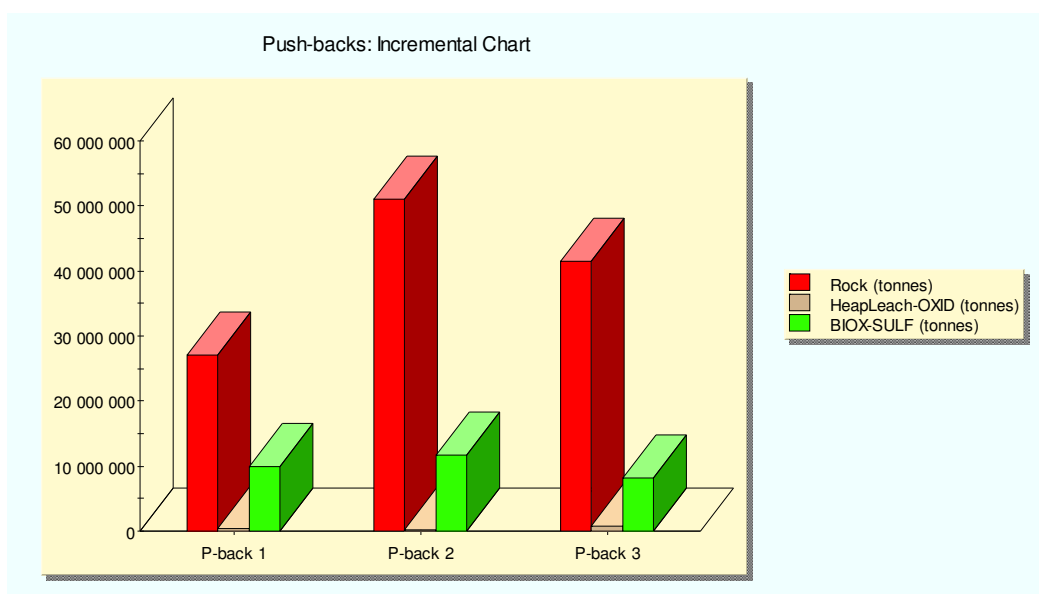


Рисунок 4.4. График изменения объемов горной массы, окисленной и сульфидной руды по этапам отработки карьера сульфидных руд

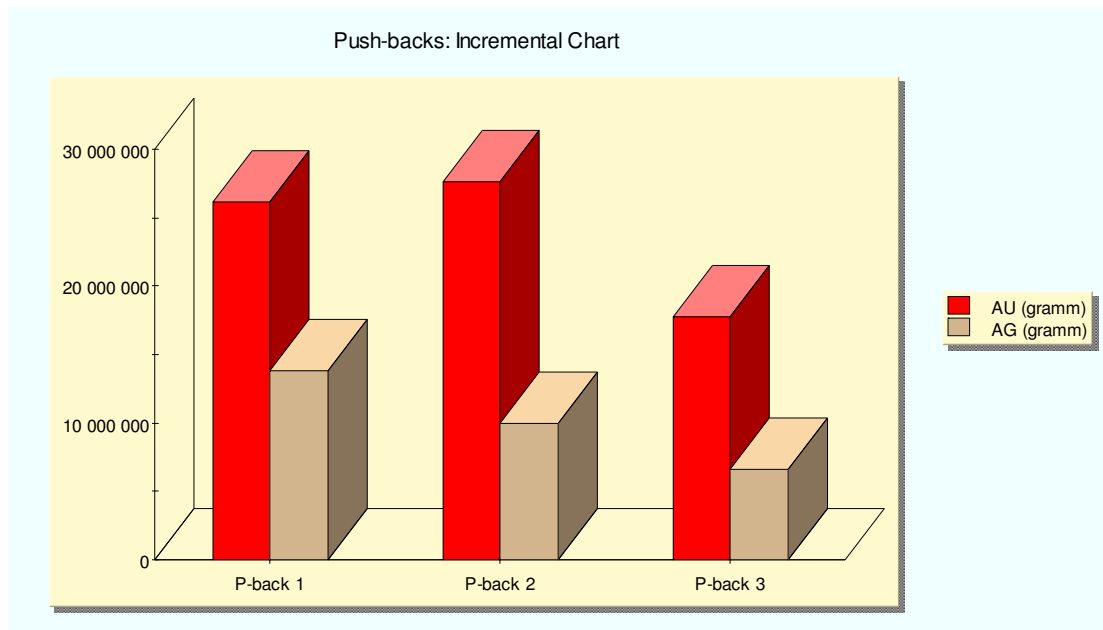


Рисунок 4.5. График изменения объемов извлекаемых золота и серебра по этапам отработки карьера сульфидных руд

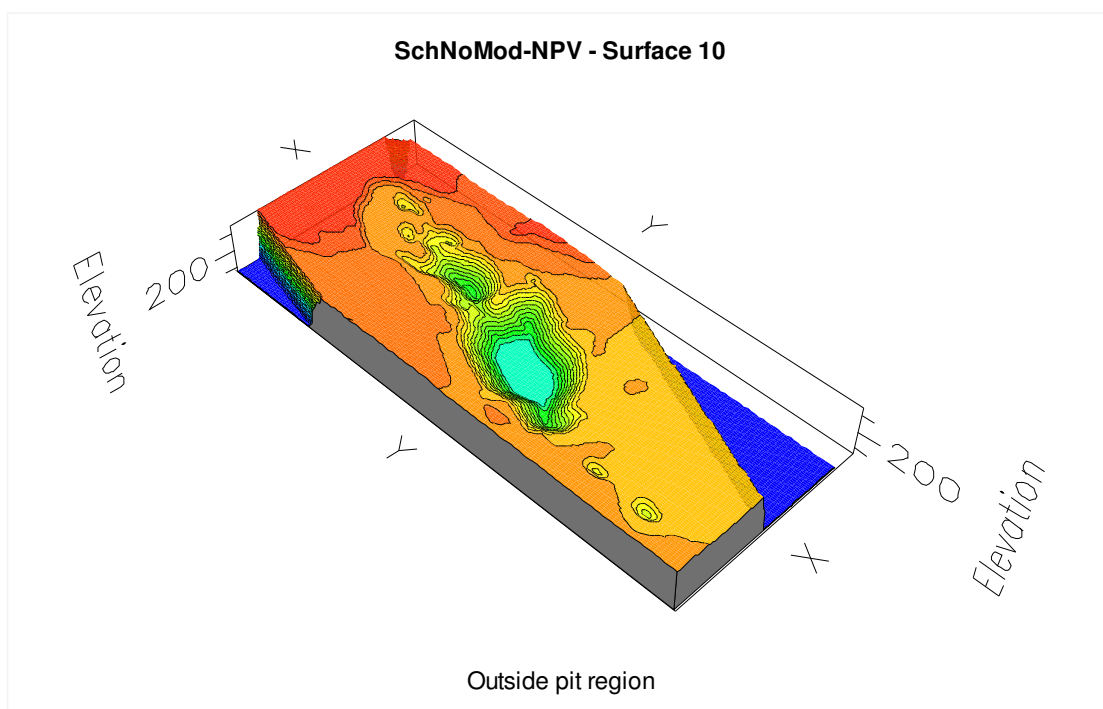
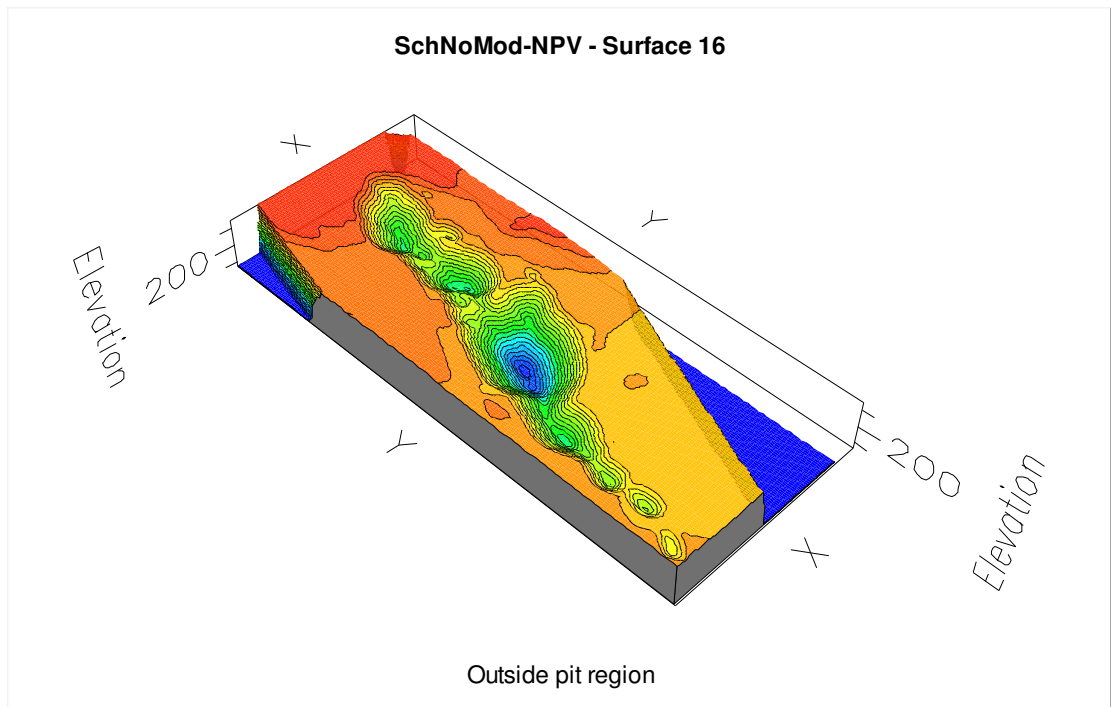
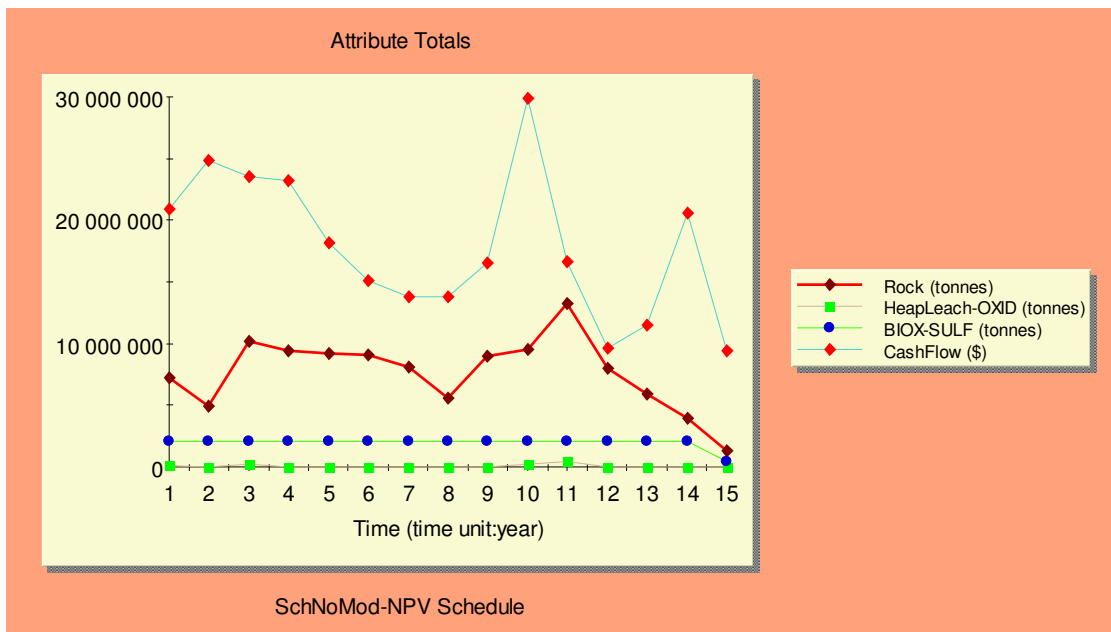


Рисунок 4.6. Вид карьера сульфидных руд на конец 10 года отработки



4.7. Вид карьера на конец 16 года отработки



Рисунок

Рисунок 4.8. График изменения во времени объемов добываемой горной массы, руды и денежной наличности.

4.3 Этапы развития карьера

Второй стадией оптимизации карьера является разбиение всего срока его отработки на этапы. Основная разница между фазами (или «вложенными» оболочками) карьера и этапами (pushback) заключается в том, что фаза это условная, а не реальная стадия развития карьера, какой является этап. Фазы создаются без всякого учета горных ограничений, могут размещаться в разных местах месторождения, иметь различные размеры, нереальные границы. Они создаются просто как набор оптимальных карьеров, которые получаются при изменении цен металлов.

В свою очередь, этапы отображают реальную последовательность отработки запасов и следуют всем введенным Вами ограничениям и условиям, например – наилучшему усреднению руды.

Программа NPV Scheduler создает этапы делением (и небольшой последующей корректировкой) оптимальной последовательности извлечения блоков модели месторождения. Она объединяет в этап те блоки последовательности, которые близки территориально, позволяют удовлетворить ограничения по доступу горной техники и другие введенные пользователем условия.

Для начала работы надо ввести в программу исходные данные:

- Число этапов: от 1 до 20. Программа может откорректировать Вашу установку, если оптимальный карьер не позволяет иметь столько этапов
- Можно указать на необходимость совмещения последнего этапа с контуром ранее рассчитанного предельного карьера
- Минимальное расстояние между границами смежных этапов для свободного размещения горной техники
- Минимальное количество блоков в остатке, допустимое между границей последнего этапа и предельным контуром карьера
- Указать, если необходимо, чтобы каждый следующий этап полностью включал в свои границы все предыдущие
- Можно ограничить последний этап одним из блоков оптимальной последовательности их извлечения

Программа позволяет задать еще целый ряд дополнительных параметров, которые производят более точную настройку процесса. В частности Вы можете контролировать взаимное расположение этапов, их форму и последовательность.

Ниже в качестве примера приведен расчет этапов работы карьера на одном из золоторудных месторождений (Рис. 4.9).

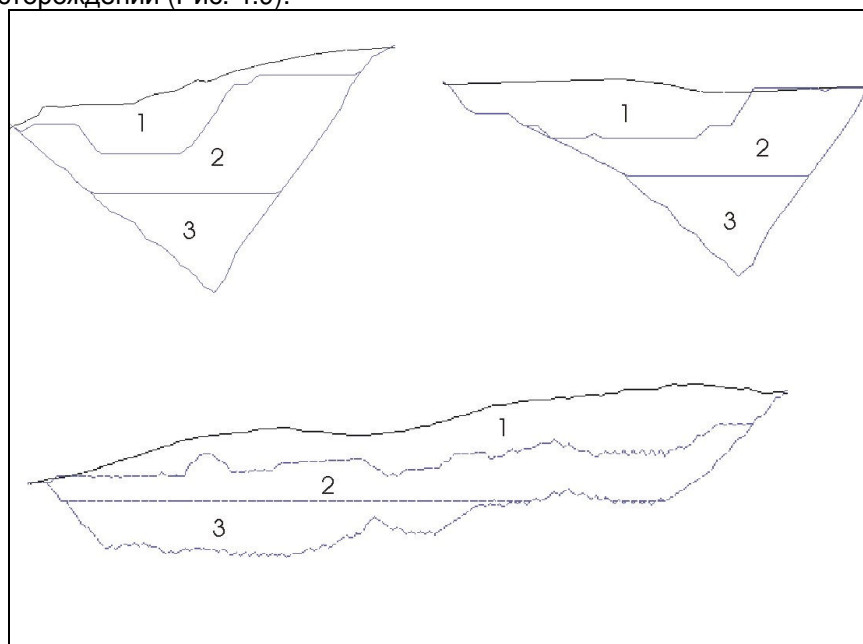


Рис. 4.9. Поперечные и продольный разрезы оптимального карьера с нанесением границ этапов отработки.

4.4 Проектирование карьеров на компьютерах

4.4.1 Основные операции

Перед началом проектирования мы должны иметь оптимальный карьер, полученный одной из специализированных программ (см. выше) и показывающий экономические границы проектирования.

Этот карьер импортируется в программу проектирования в виде регулярной трехмерной ячеистой модели, каждый блок которой содержит следующую информацию:

- Значение экономической оценки блока
- Фаза («вложенная» оболочка)
- Этап отработки (если он определялся на этой стадии)
- Номер блока в оптимальной (по критерию максимума NPV) последовательности извлечения запасов

Эта модель будет служить нам компасом для правильного проектирования горных работ.

Далее, процесс проектирования будет рассмотрен на примере системы Датамайн.

Импортируйте и загрузите модель окно проектирования, установив в нее значение плотности по умолчанию (это может понадобиться для правильной оценки запасов руды). На рис. 4.10 показан трехмерный вид регулярной блочной модели предельного карьера одного из золоторудных месторождений. При необходимости можно рассмотреть любое сечение этой модели и опросить любой блок.

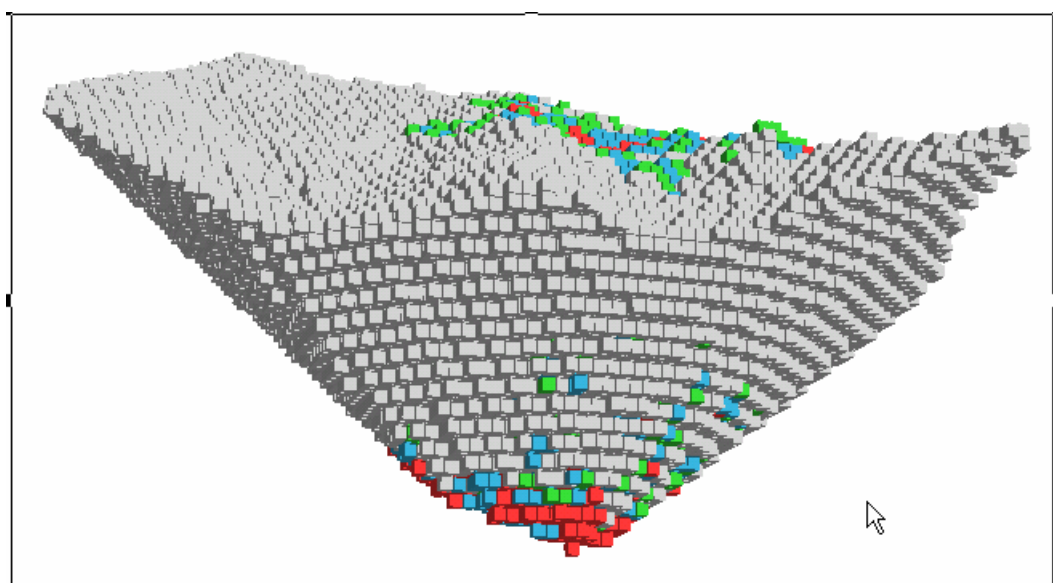


Рисунок 4.10. Вид блочной модели предельного карьера после оптимизации

Для того, чтобы начать проектирование, следует загрузить каркасную модель топографии (рис. 4.11). Проектирование можно начинать как от поверхности, так и от нижней отметки блочной модели (дна карьера). Мы будем использовать второй вариант.

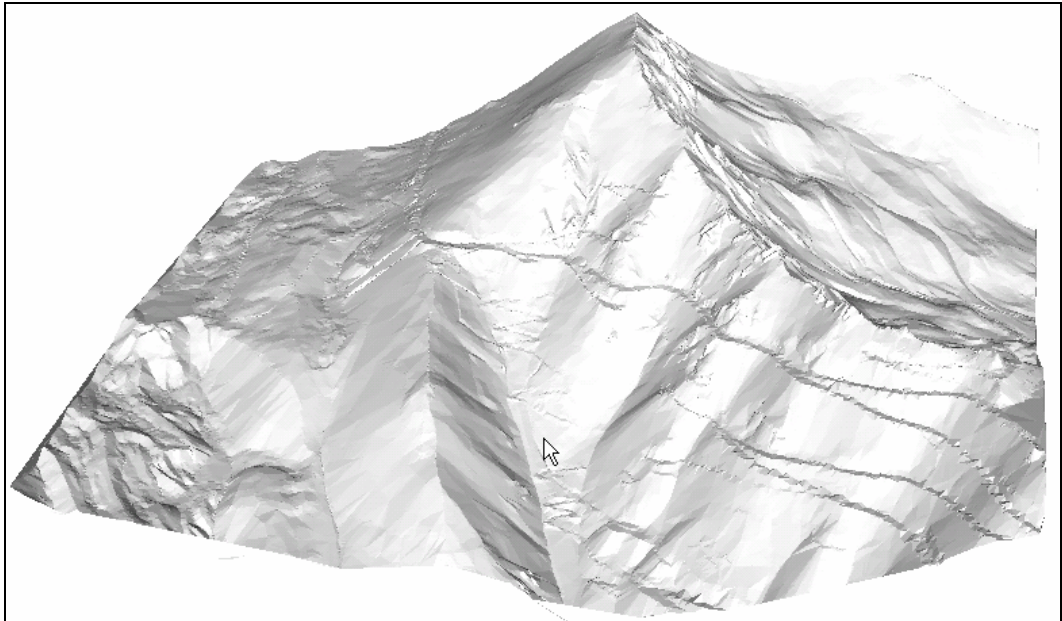


Рисунок 4.11. Общий вид топографии района месторождения

Далее необходимо установить на экране горизонтальное сечение блочной модели и переместиться на самый ее низ. Это отметка +3350 м. Создадим замкнутый контур подошвы самого нижнего уступа карьера (рис. 4.12).

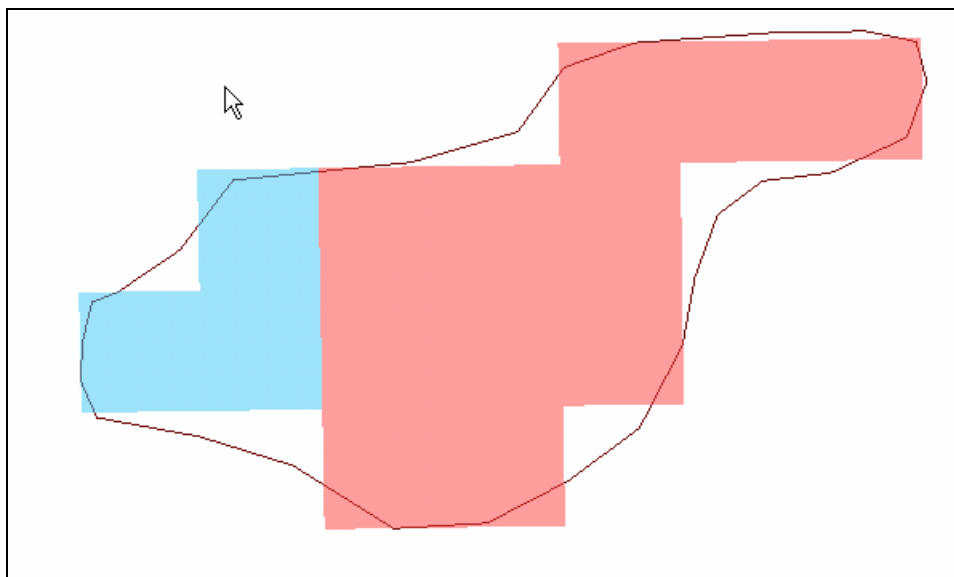


Рисунок 4.12. Контур дна карьера на отметке +3350 м.

На нижнем горизонте не будем делать съезда, т.к. предполагаем, что он будет обрабатываться экскаватором с обратной лопатой. Следовательно, надо только спроецировать контур дна карьера вверх на высоту уступа под требуемым углом.

Но перед этим необходимо установить параметры проектирования, которые будут автоматически поддерживаться (выполняться) программой. В Датамайн уклон дороги выражается в процентах, а угол наклона откоса уступа – в градусах.

Установим угол наклона откоса уступа 70 градусов, ширину бермы 3 м, высота уступа 10 м (лучше, если она будет кратной вертикальному размеру блока), ширину дороги 10 м для нижних 2-х уступов и 18 м – для остальных, ее уклон – 10 %. Эти параметры могут быть изменены в любое время.

Переместимся наверх на 10 м (следующий уступ) и увидим, что размеры карьера здесь намного шире, чем верхняя бровка нижнего уступа. Чтобы правильно отстроить нижнюю бровку следующего уступа надо или автоматически нарисовать 4-х метровую

берму, а затем ее вручную раздвинуть до границ блочной модели, или сразу нарисовать эту линию вручную. Примем второй вариант.

Следующий шаг – построить дорогу (съезд) на вышележащий горизонт. Пользуясь командами проектирования Датамайн, построим дорожный сегмент на горизонт +3370 м (рис. 4.13).

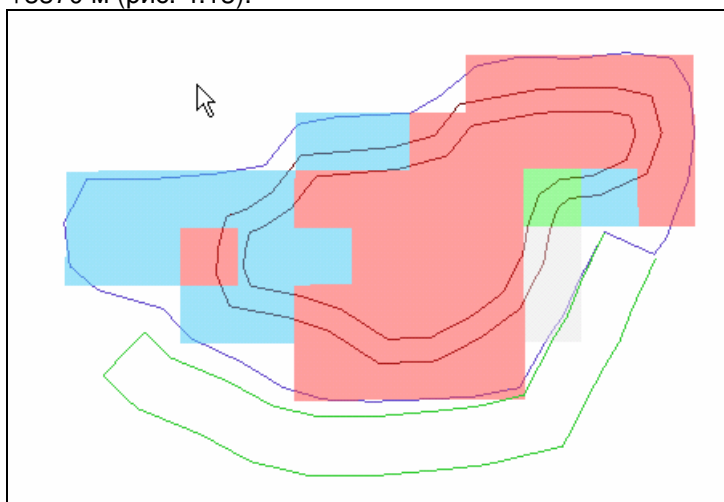


Рисунок 4.13. Вид дорожного сегмента (съезда) на горизонт 3370 м.

Теперь следует построить нижнюю бровку уступа на отметке 3370 м. Это также автоматически делается системой Датамайн. Рекомендуется запоминать все созданные линии карьера на каждом горизонте. Это в будущем позволит Вам при необходимости вернуться на тот этап проектирования карьера, с которого Вы хотите изменить Вашу стратегию. Процесс проектирования – интерактивный, поэтому часто приходится возвращаться вниз и начинать все заново.

Завершив построение линий на отметке 3370 м, проверим, что у нас получилось с помощью визуализера, создав предварительно каркас готовой части карьера (рис. 4.14). Запомним созданные линии в файле 'dpit3370.dm'.

Если вид созданной дороги Вам почему-то не нравится, то следует удалить эту линию, исправить форму линии нижней бровки и повторить процесс создание дорожного сегмента. Сам контур дороги – 3-х мерный, поэтому его исправлять не рекомендуется.

Переместимся снова на 10 м выше, автоматически создадим берму и откорректируем ее в соответствии с границами блочной модели на этом уровне. Теперь построим сдвоенный уступ высотой 20 м, шириной дороги 15 м и с различным углом его откоса в направлениях с азимутами: 170° (угол - 80° , берма – 6 м) и 350° (угол - 60° , берма – 8 м). Здесь следует использовать так называемые «розетки»,

с помощью которых можно задать особые параметры проектирования для разных участков карьера. В данном случае распространим действие розетки на слой с минимальной и максимальной отметками 3370 и 3390 м. Полученный карьер (который следует также сохранить, как промежуточный результат в файле 'dpit3390.dm') показан на рис. 4.15.

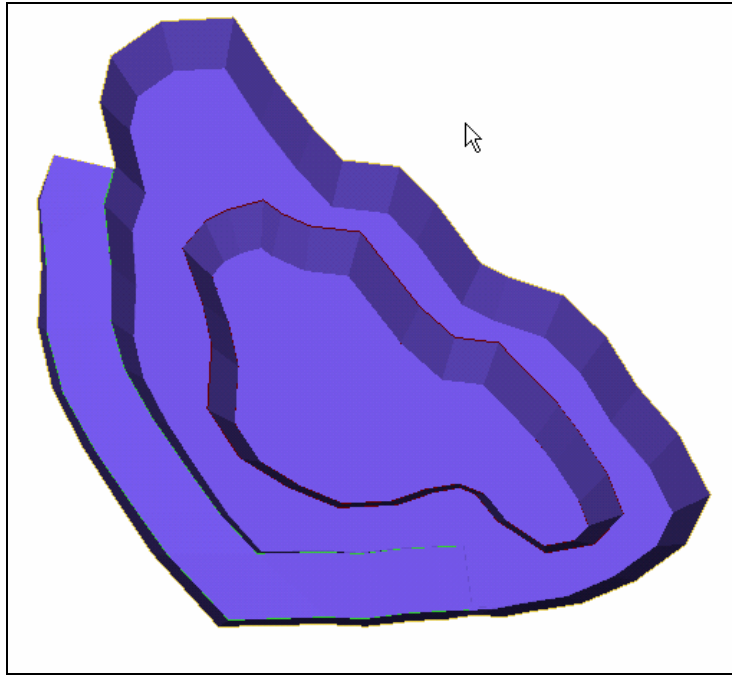


Рисунок 4.14. Каркас карьера до отметки 3370 м.

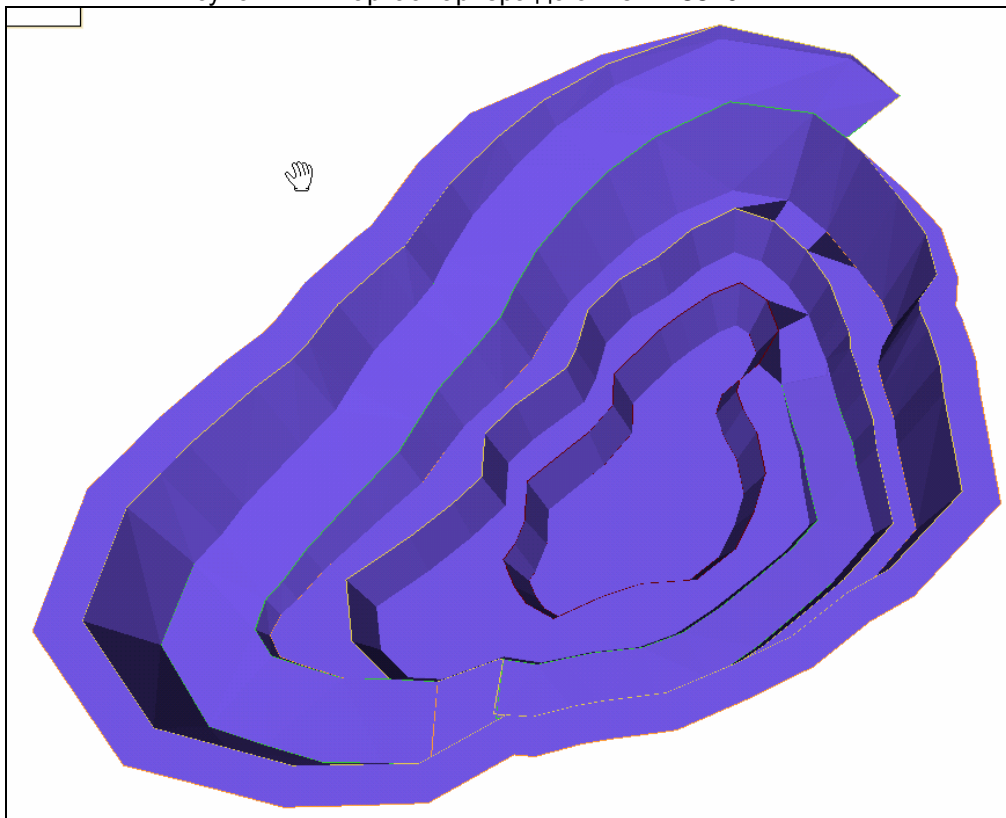


Рисунок 4.15. Вид спроектированного карьера до отметки 3390 м.

Программа автоматически учла разные углы наклона уступов и ширину бермы в разных направлениях. Каждый раз при проектировании следующего уступа необходимо сверяться с блочной моделью предельного карьера. При серьезных отклонениях Вашего карьера от «оптимального» надо разобраться в причинах и заново выполнить проектирование предыдущего этапа либо, задав новые параметры углов откоса борта карьера, повторить оптимизацию карьера.

Следующий уступ высотой 10 м спроектируем с разворотом дороги (рис. 4.16). Заметьте, что «розетка» здесь уже не действует, и программа использует ранее введенные параметры. Для того, чтобы выполнить площадку для разворота

самосвалов, необходимо откорректировать внешнюю линию бермы (нижнюю бровку следующего уступа). Последовательность действий здесь та же, надо только указать обратное направление дороги в ответ на запрос программы.

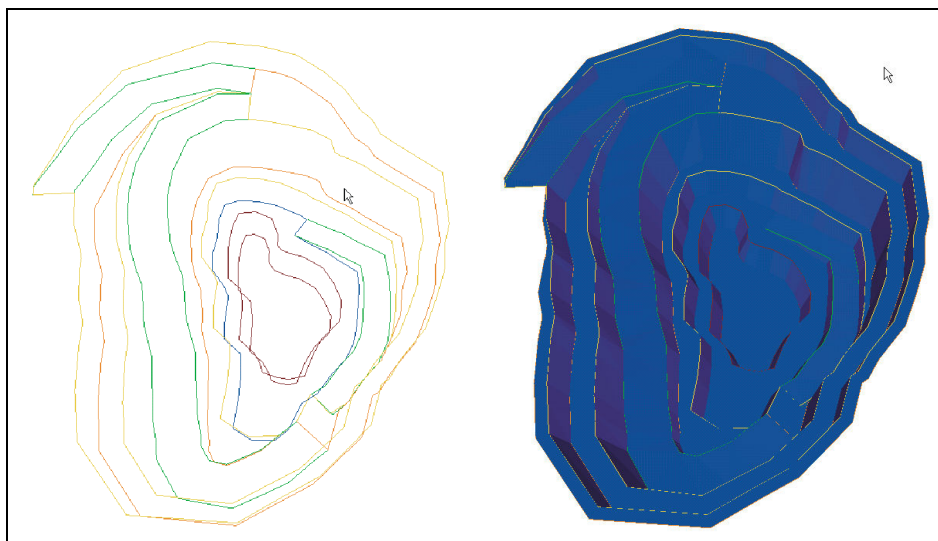


Рисунок 4.16. Вид спроектированного карьера до отметки 3400 м

Основную роль в таких отклонениях от «оптимальности» играет правильное размещение трасс карьерных дорог. Они могут быть вписаны в карьер десятками вариантов, поэтому поиск лучшего из них – одна из главных задач компьютерного проектировщика. Особенно это актуально для карьеров сложной формы, имеющих внутри несколько вложенных карьеров и оставленных породных целиков. Каждый раз, когда дорога выходит не туда, куда требуется или «не встречается» с другой дорогой в положенном месте, приходится возвращаться назад и, изменив начальные условия, перепроектировать «трудный» участок. Понятно, что в идеальном случае дорога должна выходить на поверхность в самой низкой точке пересечения каркасов карьера и поверхности.

При переходе к проектированию следующего уступа автодорога может размещаться в любом месте горизонта. Надо только обеспечить свободное пространство (транспортную берму) для перемещения грузовиков от нижележащего к проектируемому съезду. С очередного уступа может начинаться сколько угодно новых съездов.

Далее процесс проектирования карьера идет с помощью повторения описанных выше операций и периодического сохранения результатов после контроля корректности каждого пройденного этапа.

4.4.2 Маленькие хитрости

Чтобы карьер выглядел достойно, надо следить за тем как программа в автоматическом режиме создает контуры и линии. Качественное каркасное моделирование обеспечивается тем, что соединяемые в каркас линии имеют примерно одинаковую длину составляющих их отрезков. Очень узкие участки контуров не будут давать возможности размещать там горную технику и т.п. Это достигается процессом обусловливания линий.

Например, Вы можете задать условие, чтобы контуры бровок содержали требуемое количество точек (были достаточно плавные) и не создавали бы слишком острых углов между смежными отрезками. Например, приемлемые параметры для обусловливания контуров бровок уступов могут быть:

- Минимальная длина отрезка линии – 4 м
- Максимальная – 20 м
- Минимальный угол

Для малых карьеров с подходящей топографией часто для вскрытия бывает удобнее использовать внешние траншеи.

В случаях, когда карьер проектируется на очень сложном месторождении, бывает очень полезным объединять блочные модели рудных тел и предельного карьера в один файл. Дальнейшее проектирование ведется на этой совмещенной модели. В этом случае, Вы будете гарантированы от того, чтобы оставить «за бортом» руду с очень высоким содержанием или от того, чтобы включить в контур карьера очень много пустой породы. При таком объединении модель рудных тел (модель содержаний) накладывается на модель оптимального карьера. Проектирование контуров карьера ведется по одному из полей модели карьера (это позволяет четко видеть ячейки данной модели), а контроль построений каждый раз выполняется по полю содержаний главного компонента в модели рудных тел.

При совмещении уступов для более гибкого «управления» дорогами следует проецировать бровки уступов на высоту одинарного уступа, а затем, после задания новой трассы дороги, повторять операцию столько раз, сколько одинарных уступов у Вас объединяется. Рекомендуется делать ширину промежуточных берм не 0, а, например, 0.1 м, что дает возможность более удобной работы с близко расположенными линиями.

При стыковке вплотную 2-х сегментов дороги линия торца предыдущего сегмента должна иметь угол (А) с продолжением линии бермы не менее 90 град. Чтобы обеспечить это условие, следует редактировать линию бермы (рис. 4.17).

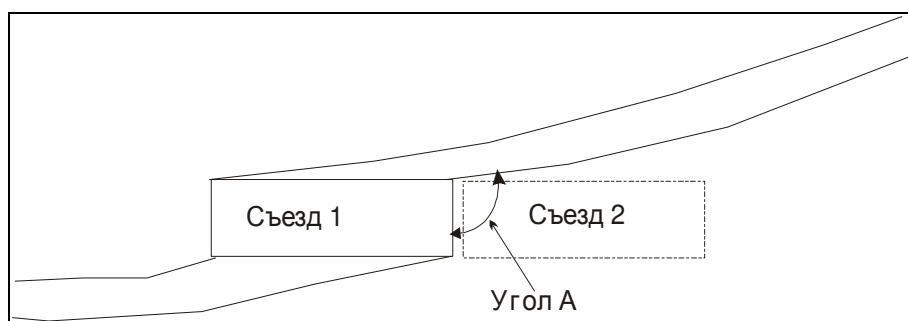


Рисунок 4.17. Присоединение смежных съездов.

Лучше не следует оставлять бермы на участке между 1-2 предыдущими сегментами дороги и проектируемым сегментом (рис. 4.18)

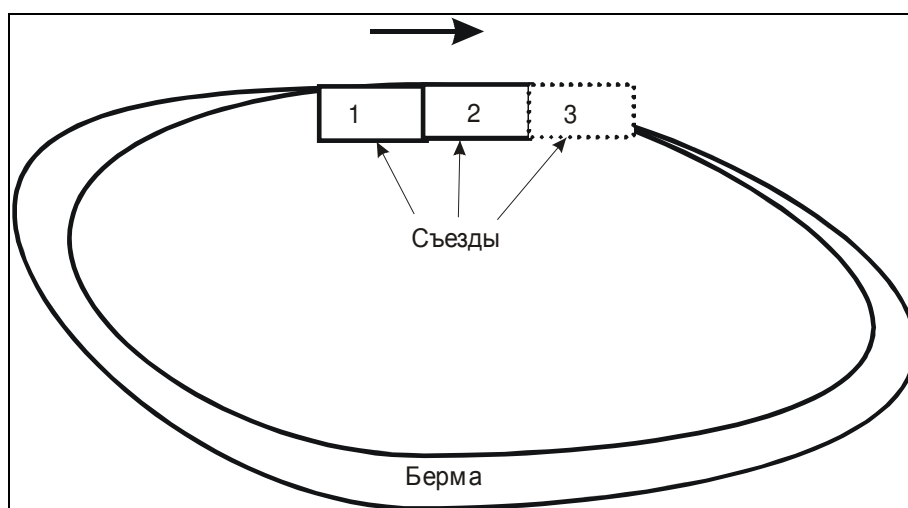


Рисунок 4.18. Порядок создания берм на участках с объединенными съездами

Для предотвращения ошибок и экономии времени проектирования необходимо после каждого этапа (уступа) сохранять файл линий, строить каркас поверхности карьера и проверять его на вертикальных сечениях и в окне визуализера. При этом каркас лучше рассматривать вместе с линиями.

Если размер точек выделенных и других линий мешает нормальному рассмотрению карьера, то его следует уменьшить или совсем превратить в ноль.

Если дорожный сегмент по какой-то причине повернут внутрь карьера, удалите его, приведите в порядок измененную линию нижней бровки и поменяйте ее направление. Во многих случаях это помогает.

4.4.3 Совмещение каркасной модели карьера с топографией

После того, как карьер достигнет поверхности, его следует с ней объединить. Первой должна достигнуть поверхности дорога. Ее следует вывести за пределы рельефа, задав заведомо более высокую точку вышележащего уступа. После этого надо продолжить проектирование (но уже без дорог) карьера до тех пор, пока все части его бортов не пересекут рельеф. Это легко контролируется в окне визуализера. В этой части полезно увеличивать высоту уступа в 2 и более раз с одновременным расширением размеров берм.

Сейчас нужно стереть линии, которые выходят выше поверхности. Для этого выполним каркасное моделирование поверхности карьера, и в месте пересечения этой модели с каркасом топографии создадим линию пересечения.

Перед использованием ее для обрезания проектных контуров карьера необходимо выполнить небольшое ее преобразование, чтобы быть уверенным, что она не имеет «бракованных» отрезков и т.п. В частности, она должна быть замкнута. Лучше, если она имеет длину отрезков от 1 до 10 м и минимальный угол между смежными отрезками – 10 градусов. Также надо удалить любые самопересечения линии специальной командой (**Trim Crossovers**).

Теперь надо вывести на экран проектные контура, и удалить все их части, выходящие за пределы линии пересечения моделей. После необязательной корректировки полученных контуров проект карьера в линиях будет готов.

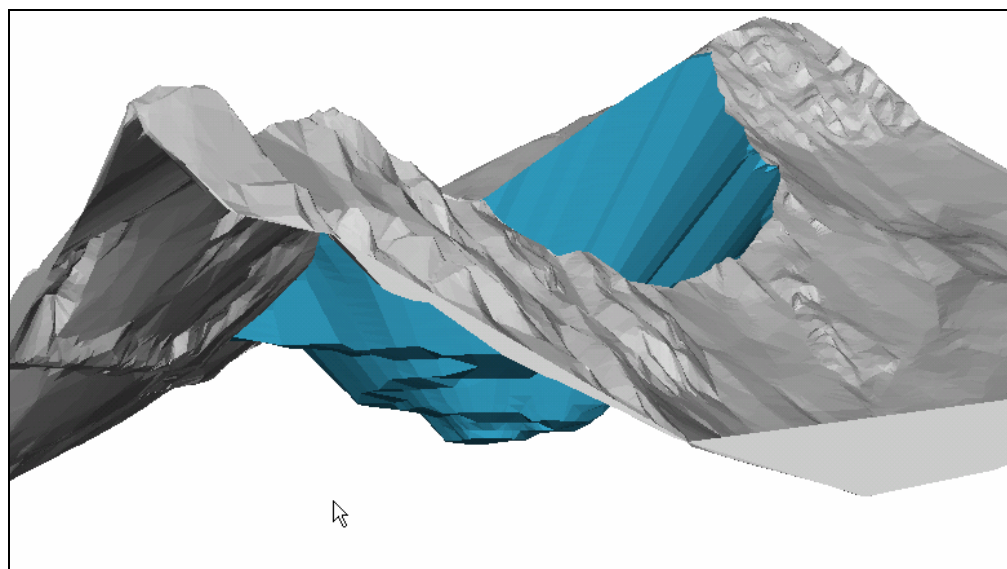


Рисунок 4.19. Модель карьера, совмещенная с топографией

На следующем этапе по этим линиям строится каркасная модель поверхности карьера. За внешний контур принимается линия пересечения каркасов.

Теперь нужно отредактировать поверхность топографии. Это делается с использованием файла изолиний топографии. Аналогично удалите все отрезки линий внутри контура карьера, а затем создайте каркас поверхности топографии с «дыркой» вместо карьера. Для этого выберите линию контура карьера (линию пересечений каркасов), как внутреннюю границу создаваемой каркасной поверхности. Объедините 2 полученных каркаса, предварительно покрасив их в разные цвета. В итоге Вы будете иметь каркас карьера, вписанный в каркас топографии (рис. 4.19).

Существует, по крайней мере, 1 альтернативный метод для выполнения такого объединения.

Выведите на экран каркасы топографии и полного карьера, пересекающего рельеф. Используйте команду объединения (MERGE) каркасов. Программа будет разрезать оба каркаса по линии их пересечения. Теперь очень аккуратно удалите

лишние, не нужные Вам части и сохраните то, что Вам необходимо. В итоге Вы получите ту же картинку (рис. 4.19).

Таким образом, проектируется любая стадия (этап) развития карьера. За основу опять принимается блочная модель оптимального карьера, но уже после разделения его на этапы отработки (pushbacks). Модель будет совершенно аналогична, используемой в приведенном выше примере, но в ней для каждого блока будет приведена еще одна переменная PUSHBACK, с помощью которой можно получить для проектирования только те блоки, которые относятся к проектируемому этапу жизни карьера.

Те, кто предпочитает работать не с блочной моделью, а с линиями (контурами), могут экспортировать такой файл из программы оптимизации.

4.4.4 Оценка запасов руды в карьере

Эта очень простая операция завершает проектирование карьера. Вы должны закрыть файл блочной модели карьера и загрузить геологическую модель рудных тел с содержаниями полезных компонентов и значениями плотности руды. Создается требуемая легенда, и каркас оценивается по блочной модели способами, рассмотренными в главе 3.

Если запасы руды, ее качество и коэффициент вскрыши значительно отличаются в худшую сторону от аналогичных показателей оптимального карьера, то всю последовательность операций по проектированию, скорее всего, потребуется повторить с изменением тех или иных параметров.

4.5 Компьютерное проектирование подземных рудников

Из всего многообразия задач проектирования подземных горных работ с помощью компьютеров могут быть решены практически все. Здесь не будут из-за недостатка пространства рассматриваться вопросы проектирования отдельных технологических процессов, вентиляции, крепления выработок, водоотлива и т.п. Для каждого из названных направлений существует свое программное обеспечение и методология компьютерного проектирования. Часть таких программ была упомянута в главе 1. Остановимся главным образом на следующих основных задачах:

- Оценка запасов месторождения и оптимизация размещения выемочных блоков
- Проектирование вскрытия и подготовки
- Проектирование очистных работ
- Оценка извлекаемых запасов руды

Календарное планирование будет рассматриваться к следующей главе как часть общего процесса планирования горных работ. В качестве примеров будут приведены некоторые результаты использования модуля подземного проектирования системы Датамайн.

4.5.1 Оценка запасов месторождения и оптимизация размещения выемочных блоков

Для начала компьютерного проектирования подземного рудника необходимо располагать блочной моделью месторождения (см. главу 3), каркасной моделью рельефа поверхности, информацией о существующей сети подземных выработок (каркасной моделью этой сети), а также большим набором технико-экономической информации о районе месторождения, ситуации на рынке металлов, экологических ограничениях и т.п. и т.д.

Лучше, если блочная модель содержит не только информацию о качестве и плотности руды, а включает в себя геомеханические параметры массива, сведения о гидрогеологии и другие – жизненно важные данные для подземного рудника.

Блочная модель месторождения позволяет с высокой степенью достоверности оценить его геологические запасы (см. главу 3) и сделать предварительный вывод о целесообразности отработки этих ресурсов подземным способом.

Если месторождение предполагается обрабатывать комбинированным способом, то для первичной оценки глубины перехода от открытых к подземным работам можно использовать рассмотренную выше (см. раздел 4.2.3) программу MaxiPit. В этом случае экономические показатели подземной добычи могут оказать воздействие на границы открытых горных работ. При такой оптимизации экономическая оценка блоков модели будет предварительно пересчитана следующим образом:

- Новая оценка блока = оценка при открытой добыче - оценка при подземной добыче. Эта новая оценка используется только для определения оптимальных границ открытых работ. В расчете статистических параметров полученного карьера учитываются только полностью «карьерные» исходные оценки блоков модели.

Для начала такого расчета Вы должны задать, по крайней мере, один тип руды и один метод ее переработки для подземной добычи. Несколько замечаний:

1. Если блок модели содержит подъячейки руды и породы, то для подземной добычи используется только его рудная часть.
2. При расчете себестоимости руды из подземного рудника затраты на добычу должны быть включены в сумму общих затрат на переработку руды.
3. При таком расчете (только для подземной руды) будут игнорироваться следующие исходные данные: все коэффициенты изменения себестоимости добычи и переработки руды, имеющиеся в модели, разубоживание, потери руды при добыче и затраты на рекультивацию. Поэтому, если эти показатели играют определяющую роль, то они должны быть учтены другим способом.
4. Если подземным способом предполагается добывать только определенный тип руды, то Вы должны будете установить для него особое название и единственный способ добычи – подземный.

В результате расчетов Вы получите предельный карьер, дно которого будет размещаться на глубине, где экономически целесообразно перейти на подземный способ добычи руды.

4.5.2 Программа Orefinder

Программа использует алгоритм плавающего очистного забоя, который является аналогом метода плавающего конуса, используемого для оптимизации карьеров. Она способна быстро оценить плюсы и минусы новых схем освоения месторождений, а также создать экономически приемлемые границы очистных рудных блоков. Возможности программы:

1. Импорт блочных моделей из разных горных систем
2. Оптимизация границ очистных забоев для разных исходных параметров отработки по одному из критериев:
 - Максимум извлекаемой руды
 - Максимум содержание полезных компонентов в руде
 - Максимум извлекаемого металла в руде
 - Максимальный комплексный показатель (введенный пользователем)
3. Определение минимальных (только рудных) и максимально допустимых границ блоков с учетом частичного извлечения пород
4. Оптимизация извлечения, как основных блоков, так и междублочных целиков
5. Исключение из оптимизируемой модели целиков капитальных выработок и других – по указанию пользователя.
6. Создание отчетных статистических данных по результатам оптимизации

7. Экспорт полученных блочных моделей очистных блоков для дальнейшего использования в горных системах для проектирования

Первым шагом оптимизации является импорт блочной модели из какой-то горной системы, например, из Датамайн. При импорте Вы оставляете в модели нужные для Вас показатели (поля), а также указываете поле для оптимизации (обычно – одно из содержаний или какой-то комплексный показатель). Кроме того, на этом этапе вводится поле, содержащее преобладающее (желательное) содержание оптимизируемого компонента в поставляемой на фабрику руде.

Здесь Вы можете указать поле модели, в котором указано, будет ли данный блок когда-то обрабатываться, или он находится в охранном целике и т.д. Далее вводится требуемая для отчета информация.

Теперь Вы можете задать также:

- Границы оптимизации по координатным осям. Например, можно рассмотреть только один горизонт или часть шахтного поля
- Минимальные размеры очистной выработки по координатным осям
- Размер шага увеличения размеров блока при оптимизации
- Минимальные или максимальные размеры очистного пространства Вы хотите получить. Оптимум, как правило, находится посередине этих значений.
- Минимальный процент руды в блоке
- Бортовое содержание оптимизируемого компонента в руде
- Способ добычи руды: с отделением породы от руды или совместная добыча
- Параметры разубоживания и потерь руды
- Способ интерпретации пустот в блочной модели: как воздух или порода.

На выходе процесса Вы получаете блочную модель оптимальных очистных блоков(рис. 4.20) , а также – набор статистических показателей, собранных в таблицу (табл. 4.3).

После экспорта – импорта модели в систему Датамайн ее можно рассмотреть в окне проектирования, визуализере (рис. 4.20) и, далее, использовать в детальном проектировании подземного рудника.

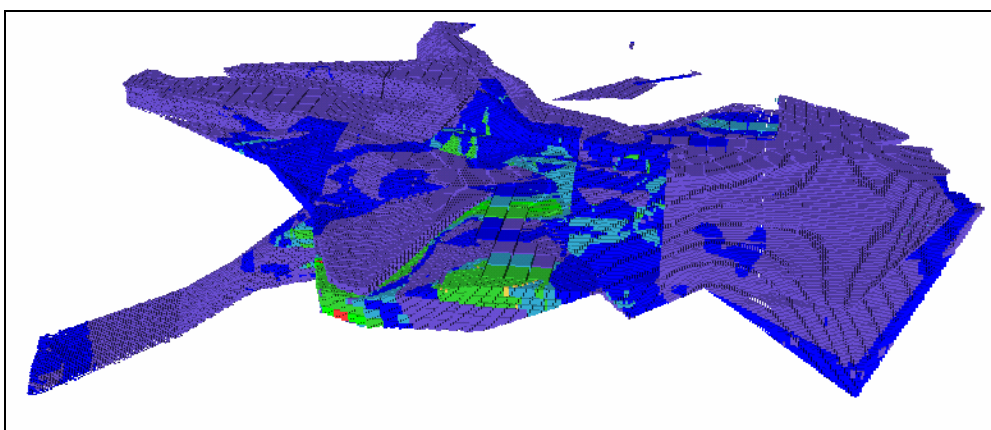
Таблица 4.3. Информация на выходе программы

Название проекта:	Case 1		
Входная модель:	MODELN2A.DM (блочная модель)		
Критерий оптимизации:	Максимум металла		
	Минимальное очистное пространство		
	Мин. % руды в блоке = 70 %		
	Бортовое содержание AU = 2.300 г/т		
Выемка:	Селективная (только руда)		
	Разубоживание: 10 %		
	Содержание в добавляемой породе: 1.0 г/т		
	Плотность добавляемой породы: 2.6 т/м3		
	Потери руды: 10 %		
Входные поля:	Оптимизация по полю: AU		
Плотность:	DENSITY		
По умолчанию:	Содержание в добавляемой породе:	1.000 г/т	
	Плотность	2.600 т/м3	
	Среднее содержание на ОФ:	5.000 г/т	
	Содержание в породе:	1.000 г/т	
	Плотность породы:	2.600 т/м3	
	Отсутствие блоков в модели интерпретируется как порода		
Размеры очистного пространства:	X	Y	Z
Минимальное пространство:	10	10	5
Пропорция возможного уменьшения размеров:	2	2	1
Размер шага уменьшения размеров:	5	5	5

Начало модели:	57850	35200	-100			
Размеры модели:	1150	1600	150			
ВХОДНАЯ МОДЕЛЬ:						
	Всего	Порода	Руда	Порода/Руда		
Объем (м3)	8028	4261	3767	1.131		
Плотность руды (т/м3)	2.240	2.253	2.225			
Тоннаж (т)	17980	9598	8382	1.145		
Содержание Au,(г/т)	3.833	1.095	6.969			
Металл (кг)	68922	10512	58410			
ИНФОРМАЦИЯ ПО ИНТЕРВАЛАМ:						
	ВНУТРИ ИНТЕРВАЛА			ВЫШЕ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ		
Содержание	Объем	Тоннаж	Содержание	Объем	Тоннаж	Содержание
Au, г/т	м3	т	г/т	м3	т	г/т
< 0.0	-	-	-	8028	17980	3.833
0.0 to 2.3	4261	9598	1.095	8028	17980	3.833
> 2.3	3767	8382	6.969	3767	8382	6.969
ВЫХОДНАЯ МОДЕЛЬ (ОЧИСТНЫЕ БЛОКИ):						
	Всего	Порода	Руда	Порода/Руда		
Объем (м3)	323	47	275	0.172		
Плотность руды (т/м3)	2.528	2.583	2.518			
Тоннаж (т)	816	122	694	0.176		
Содержание Au,(г/т)	9.476	1.049	10.959			
Металл (кг)	7731	128	7603			
ИНФОРМАЦИЯ ПО ИНТЕРВАЛАМ:						
	ВНУТРИ ИНТЕРВАЛА			ВЫШЕ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ		
Содержание	Объем	Тоннаж	Содержание	Объем	Тоннаж	Содержание
Au, г/т	м3	т	г/т	м3	т	г/т
< 0.0	-	-	-	323	816	9.476
0.0 to 2.3	47	122	1.049	323	816	9.476
> 2.3	275	694	10.959	275	694	10.959

В данном случае мы задали очень жесткие параметры оптимизации, в частности – очень большое минимальное очистное пространство, высокое среднее содержание во входном потоке на фабрику и выборочную (селективную) выемку руды.

По этим критериям может быть добыто только 8% руды и 13% металла.



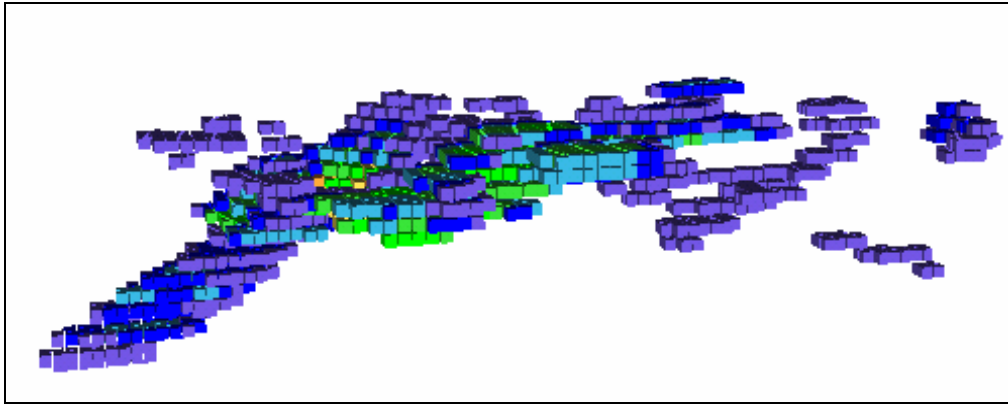


Рисунок 4.20. Вид блочной модели с ячейками и подъячейками до оптимизации (вверху) и после (внизу).

Из рисунка видно, что программа оптимизации, исполняя слишком жесткие начальные условия, выбрала для отработки только небольшое количество блоков. Выходная модель имеет регулярную структуру и состоит только из «родительских» ячеек.

4.5.3 Проектирование вскрытия и подготовки

Существующие горные компьютерные системы позволяют качественно и очень быстро создавать многовариантные схемы подземного вскрытия месторождений, оценивать их эффективность и выбирать наилучший вариант по тому или иному критерию.

Далее производится интерактивное построение 3-х мерной сети подготовительных выработок любого сечения и протяженности. Часть операций по созданию сети выработок автоматизирована, особенно это касается спиральных съездов. Для любого спроектированного штрека или восстающего может быть моментально оценено количество извлеченной породы и попутно добытой руды

Ниже в качестве примера приведена краткая инструкция по использованию возможностей модуля подземного проектирования системы Датамайн.

Используя этот модуль Вы сможете создать на экране линии нужной длины, в требуемом направлении, с заданным радиусом поворота и уклоном. Хотя изначально они трактуются как центральные линии будущих выработок, но инструменты для их создания могут быть с успехом применены и в других направлениях подземного проектирования.

После создания осей выработок и объединения их (если необходимо) Вы можете выбрать (или сами построить) для них требуемые сечения и расставить их по длине выработок в нужных местах. Далее программа (по Вашему требованию) объединит эти детали в единую каркасную модель, которая даст Вам массу новых возможностей для создания полноценного проекта.

4.5.3.1 Создание осевых линий выработок

Выберите цвет и тип линии, а также ее начальную точку в заданном месте пространства (плоскости проектирования). Установите уклон выработки, радиус поворота, если она этого требует, длину и направление. Программа (команда **Centreline – Create (car)**) создаст для Вас требуемую линию.

Таким образом, были созданы осевые линии для разных типов вскрывающих выработок, показанные на рис. 4.21. Исходные данные для проектирования приведены в таблице 4.4.

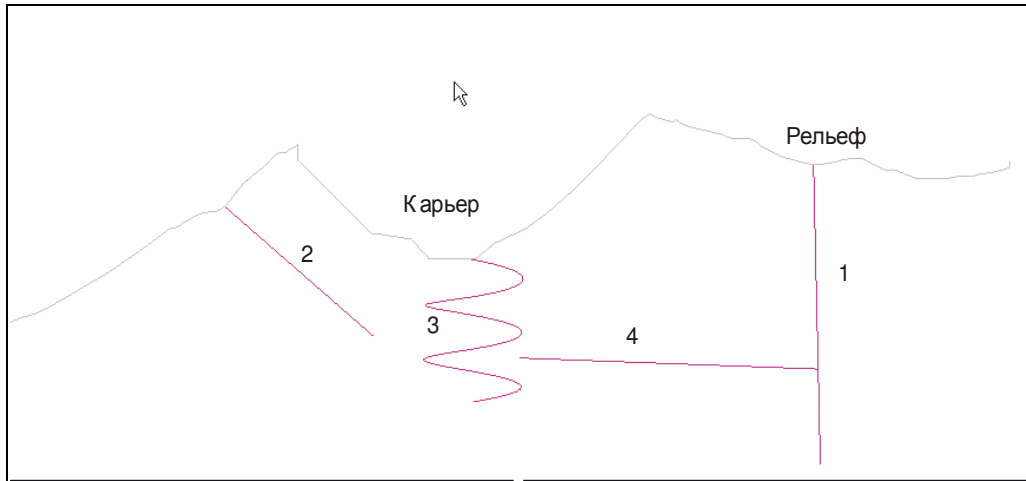


Рисунок 4.21. Пример проектирования осевых линий вертикального (1), наклонного (2) стволов, спирального съезда (3) и квершлага (4)

Таблица 4.4. Исходные данные для проектирования вскрывающих выработок.

Показатели:	Верт. ствол	Накл. ствол	Спир. Съезд*	Квершлаг
Азимут	0	40	40	220
Уклон	-90	-40	-10	2
Радиус	-	-	50	-
Длина	300	200	800*	300

*При задании радиуса съезда Вы должны будете выбрать, до какой точки будет продолжаться Ваша выработка. Возможные варианты:

- Четверть окружности
- Половина окружности
- Конечный азимут
- Длина выработки

В данном случае выбрана длина выработки.

Можно также доверить программе создать ось выработки полностью автоматически (команда **Centreline – Automatic (ar)**). В этом случае она соединит 2 имеющиеся оси 3-й линией. Вы можете задать уклон или радиус этой линии (рис. 4.22).

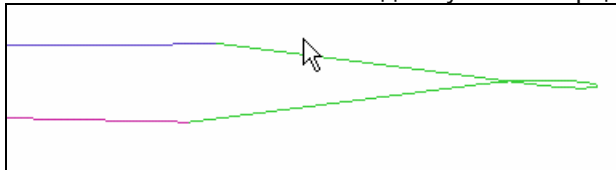


Рисунок 4.22. Автоматическое соединение 2-х осей спиральным съездом.

Кроме того, можно легко соединить 2 осевые линии закруглением требуемого радиуса (команда **Centreline – Fit Curve (fr)**), рис. 4.23., а также выполнить любое другое соединение с заданными условиями (уклоном, направлением и т.д.), (команда **Centreline – Connect (cog)**)рис. 4.24.

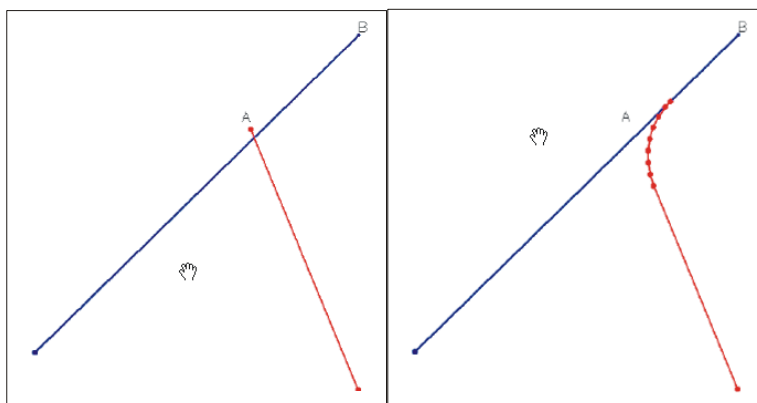


Рисунок 4.23. Соединение 2-х осей закруглением

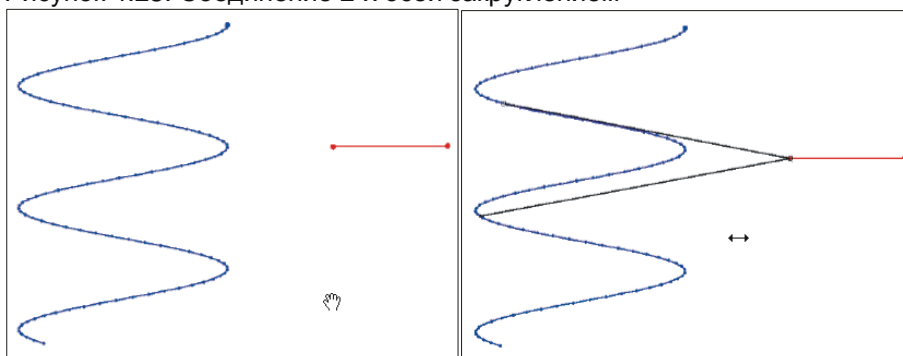


Рисунок 4.24. Соединение оси штрэка с осью спирального съезда двумя линиями (осями).

Естественно, что в качестве оси выработки может быть использована любая созданная Вами (произвольным способом) линия.

Для того, чтобы создавать линии с заданным уклоном, Вы можете использовать измерения в градусах, процентах или с помощью отношения 1:N. Установив требуемое значение уклона, достаточно просто кликнуть на выбранной оси выработки, чтобы она получила заданный уклон (команда **Gradient Adjust To (at)**). Этой командой можно изменять уклон любой части линии. Программа может также по требованию выполнить сглаживание уклона оси выработки между указанными точками (команда **Gradient Smooth (sg)**).

На рис. 4.25. показана интерполяция контура кровли выработки (3) с помощью маркшейдерской линии (2) и контура подошвы (1) (команда **Interpolate Elevation (fe)**).

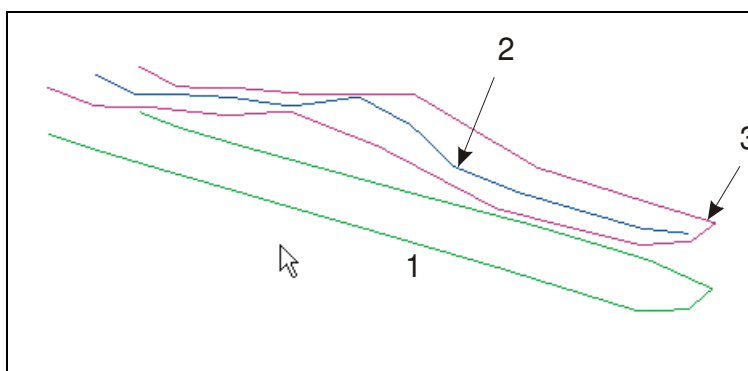


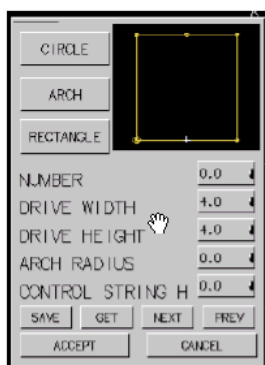
Рисунок 4.25. Интерполяция контура (3) по заданной линии (2).

4.5.3.2 Создание каркасов выработок

В каждой горной компьютерной системе имеется целый набор инструментов для создания каркасов горных выработок. Но прежде необходимо выполнить необходимые установки в меню SETUP для удобства будущей работы:

- Назначить цвета для линий сечений, стенок, кровли и подошвы выработок
- Задать режим указания на экране точек, где вы расставляете сечения выработок
- Определить максимальное расстояние между точками линий и т.д.

Вы можете выбрать стандартные сечения выработок в специальном окне.



Доступные сечения: круглое (или эллипс), арочное и прямоугольное. Далее Вы указываете ширину и высоту сечения, а также радиус арки. Кроме того, необходимо указать высоту созданной вами оси выработки от ее подошвы. Это требуется для правильной установки выбранного сечения выработки на ее центральной линии. Созданные Вами стандартные сечения могут быть сохранены и вызваны на экран в любое время.

Одна из самых полезных команд «**Link By - Centrelines (Ic)**» позволит Вам создать каркас выработки с одним сечением (рис. 4.26). Если Вы зададите плотность породы, то программа сразу же рассчитает для созданного каркаса объем и тоннаж.

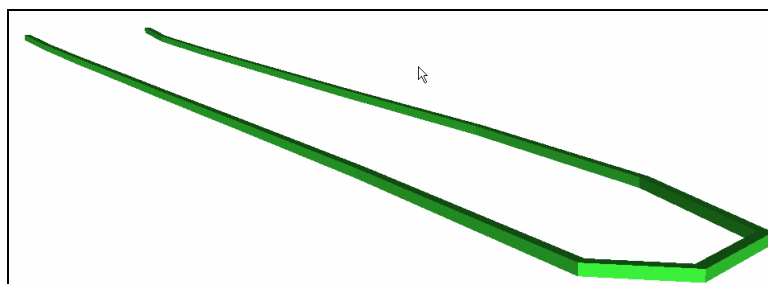


Рисунок 4.26. Каркас выработки квадратного сечения

Команда «**Outline - Link Single (Iso)**» бывает полезна, когда надо создать каркас по имеющемуся контуру (или 2-м контурам – команда «**Outline - Link Pair (Io)**») выработки в подошве или кровле (рис. 4.27).

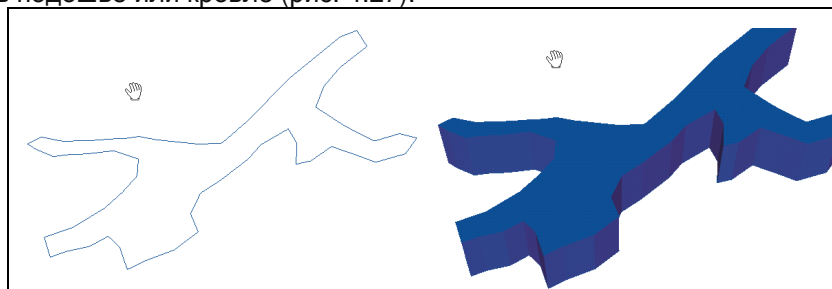


Рисунок 4.27. Каркас выработки, созданный по контуру ее подошвы.

Следующий способ соединения – расстановка требуемых сечений по длине выработки и последующее их объединение в модель (команды «**Link by - Sections (Id)**» и «**Section - Assign (ax)**»), рис. 4.28. Иногда для более качественного объединения соседних (существенно отличающихся) сечений в каркас требуется предварительное соединение их наиболее характерных точек с помощью линий связи (см. гл. 3).

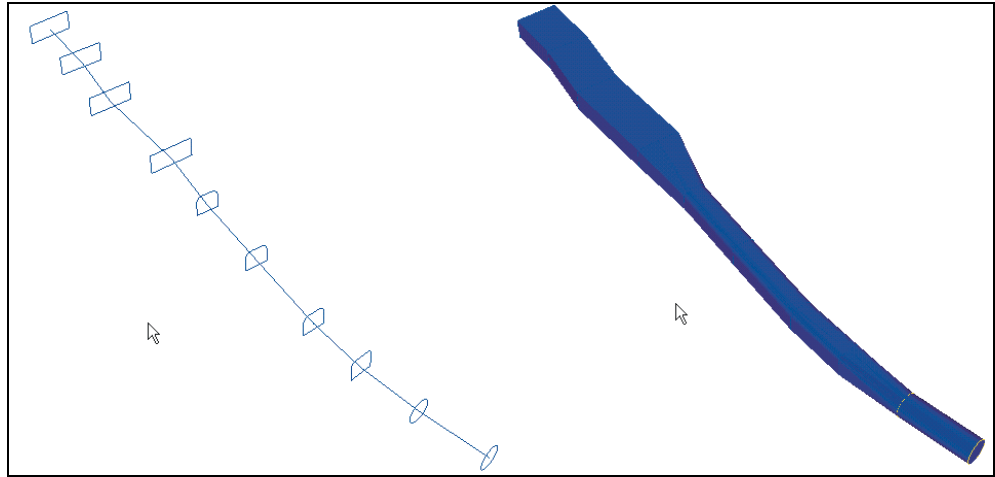


Рисунок 4.28. Каркас выработки, с разными сечениями по длине

Команда «**Section - Align (ae)**» позволяет Вам задать ориентацию сечений для точной подгонки соединяющихся выработок. В этом случае вы должны будете выбрать режим привязывания к линиям, соединить ось присоединяемой выработки к стенке главной и правильно сориентировать выбранное сечение в месте контакта выработок (рис. 4.29).

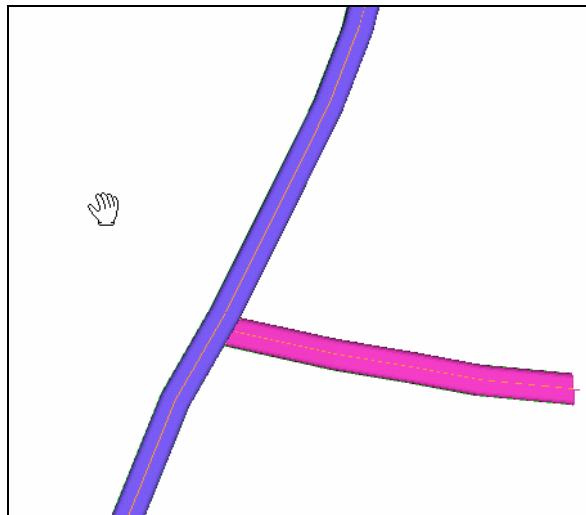


Рисунок 4.29. Соединение каркасов выработок.

Команда «**Section - Align (ae)**» даст Вам возможность автоматически подобрать требуемые сечения выработки, если у Вас имеется только контур подошвы и маркшейдерская линия кровли (рис. 4.30). В этом случае необходимо соединять сечения каркаса известной командой каркасного моделирования «**Link – strings (lst)**».

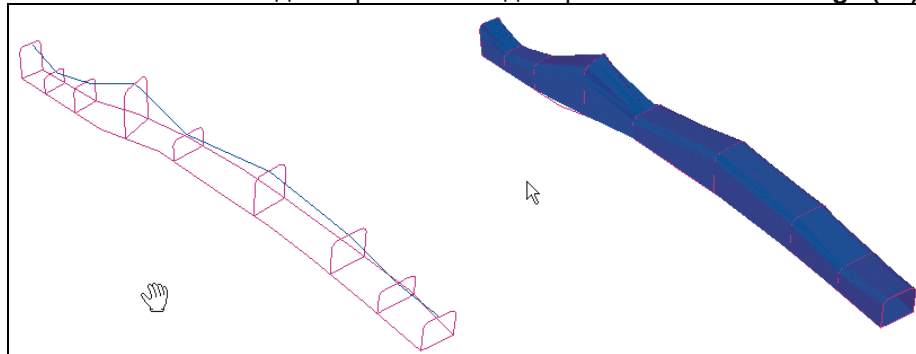


Рисунок 4.30. Создание каркаса по контуру подошвы и линии кровли

После того, как будет создана система всех капитальных и подготовительных выработок, программа моментально рассчитает Вам всю необходимую статистику для оценки этого варианта, и Вы можете смело переходить к следующему.

4.5.4 Проектирование очистных работ

Пространственное размещение блоков кондиционной руды можно получить или с помощью программы OreFinder (см. 4.5.2), или с помощью простой выборки с указанием фильтра или критерия. Например, если Вы установите фильтр $Au > 5.0$, то из модели, показанной на рис. 4.20, получите модель, изображенную на рисунке 4.31. Видно, что программа оставила в модели только те блоки, которые соответствуют поставленному условию, невзирая на размер блока.

Таким образом, при использовании этого варианта Вам придется оконтуривать полученные участки кондиционной руды в блоки самостоятельно. Иногда, эта задача становится достаточно сложной, поэтому во многих случаях лучше иметь дело с уже оптимизированной регулярной моделью, импортированной из программы OreFinder. На рисунке 4.32 показан план горизонта +20 м в двух вариантах: левый - полученный с помощью фильтра ($Au > 5$ г/т) из точной модели рудного тела и правый – импортированный из программы OreFinder. Понятно, что со второй моделью работать будет более удобно.

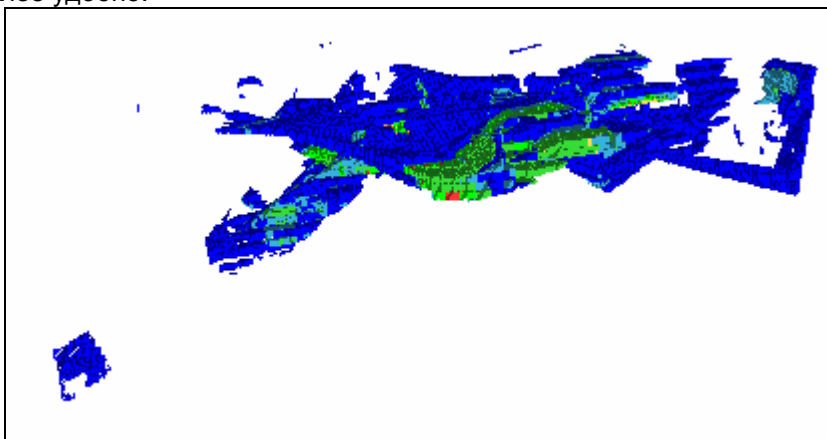


Рисунок 4.31. Вид блочной модели после исключения из нее блоков некондиционной руды.

После выбора для Вашего рудника наиболее подходящей системы разработки (или систем) Вы будете знать основные размеры очистных блоков. У Вас уже спроектирована система вскрытия и подготовки запасов для каждого горизонта. Теперь, дело за созданием каркасных моделей очистных блоков и оценкой тоннажа и содержаний по каждому блоку.

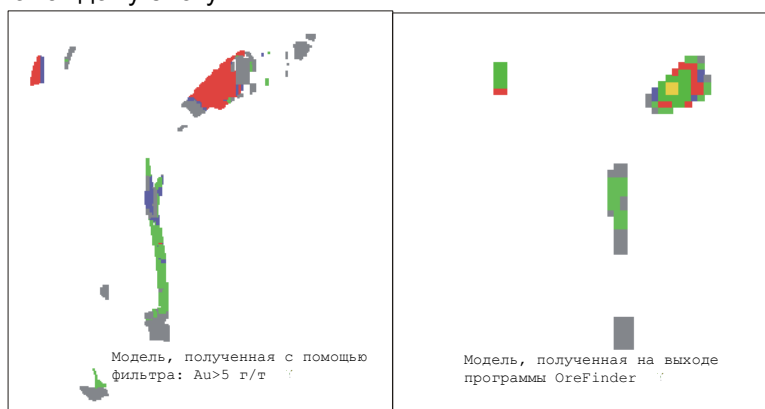


Рисунок 4.32. План блочной модели на отметке +20 м, подготовленный для проектирования очистных блоков.

На стадии проектирования необходимо только оценить извлекаемые запасы руды по горизонтам. Поблочная оценка производится обычно на стадии планирования.

Таким образом, бывает достаточно создать каркасные модели кондиционной руды для каждого горизонта (или общую модель с последующей разбивкой ее на части с помощью фильтров).

Каркасные модели кондиционной руды делаются обычным способом, который описан в главе 3. Создается множество периметров (обычно по каждому слою блочной модели) в наиболее подходящей плоскости, а затем эти периметры объединяются в замкнутый каркас (рис. 4.33, 4.34).

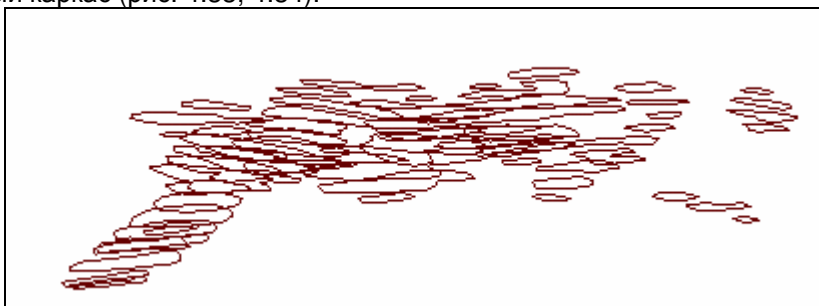


Рисунок 4.33. Замкнутые периметры, созданные вокруг блоков кондиционной руды оптимальной модели на каждом из 5-ти метровых горизонтов.

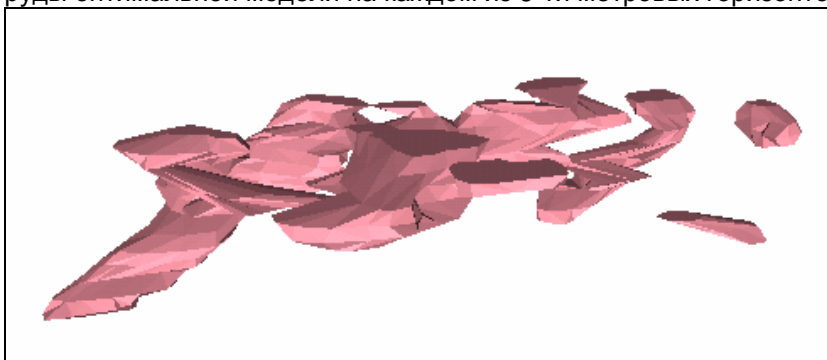


Рисунок 4.37. Каркасная модель кондиционных блоков руды, созданная по периметрам рисунка 4.33.

Теперь по этой модели легко подсчитать извлекаемые запасы руды, используя для оценки точную модель рудных тел с ячейками и подъячейками. В итоге мы получим таблицу, аналогичную, показанной ниже (табл. 4.5)

Таблица 4.5. Результаты оценки запасов по каркасной модели

Борт, г/т	.Au, тыс.м3	Объем, тыс.т	Тоннаж руды,		Золото, кг	Серебро, кг
			тыс.т	Au, г/т		
Горизонт 20-50 м						
0	140.00	352.00	9.52	9.37	3351.04	3298.24
1.6	125.00	313.00	10.58	10.15	3311.54	3176.95
2.7	119.00	299.00	11.01	10.48	3291.99	3133.52
3	118.00	296.00	11.07	10.53	3276.72	3116.88
5	106.00	267.00	11.84	10.99	3161.28	2934.33
8	66.00	165.00	15.05	13.66	2483.25	2253.90
10	54.00	135.00	16.45	15.47	2220.75	2088.45
Горизонт -10 -20 м						
0	78.00	195.00	12.26	5.73	2390.70	1117.35
1.6	74.00	186.00	12.78	5.84	2377.08	1086.24
2.7	73.00	182.00	13.03	5.86	2371.46	1066.52
3	71.00	177.00	13.31	5.89	2355.87	1042.53
5	65.00	163.00	14.08	5.86	2295.04	955.18
8	50.00	125.00	16.37	4.77	2046.25	596.25
10	39.00	96.00	18.59	3.78	1784.64	362.88

Горизонт -40- (-20) м							
0	38.00	99.00	7.42	3.48	734.58	344.52	
1.6	38.00	99.00	7.42	3.48	734.58	344.52	
2.7	38.00	98.00	7.49	3.49	734.02	342.02	
3	36.00	92.00	7.77	3.43	714.84	315.56	
5	28.00	73.00	8.85	3.29	646.05	240.17	
8	17.00	44.00	10.31	3.32	453.64	146.08	
10	10.00	25.00	11.60	3.17	290.00	79.25	
Итого по руднику							
0	256.00	646.00	10.03	7.37	6476.32	4760.11	
1.6	237.00	598.00	10.74	7.71	6423.20	4607.71	
2.7	230.00	579.00	11.05	7.84	6397.47	4542.06	
3	225.00	565.00	11.23	7.92	6347.43	4474.97	
5	199.00	503.00	12.13	8.21	6102.37	4129.68	
8	133.00	334.00	14.92	8.97	4983.14	2996.23	
10	103.00	256.00	16.78	9.89	4295.39	2530.58	

На рис. 4.35 для иллюстрации показана каркасная модель большого подземного рудника, включающая и очистные блоки.

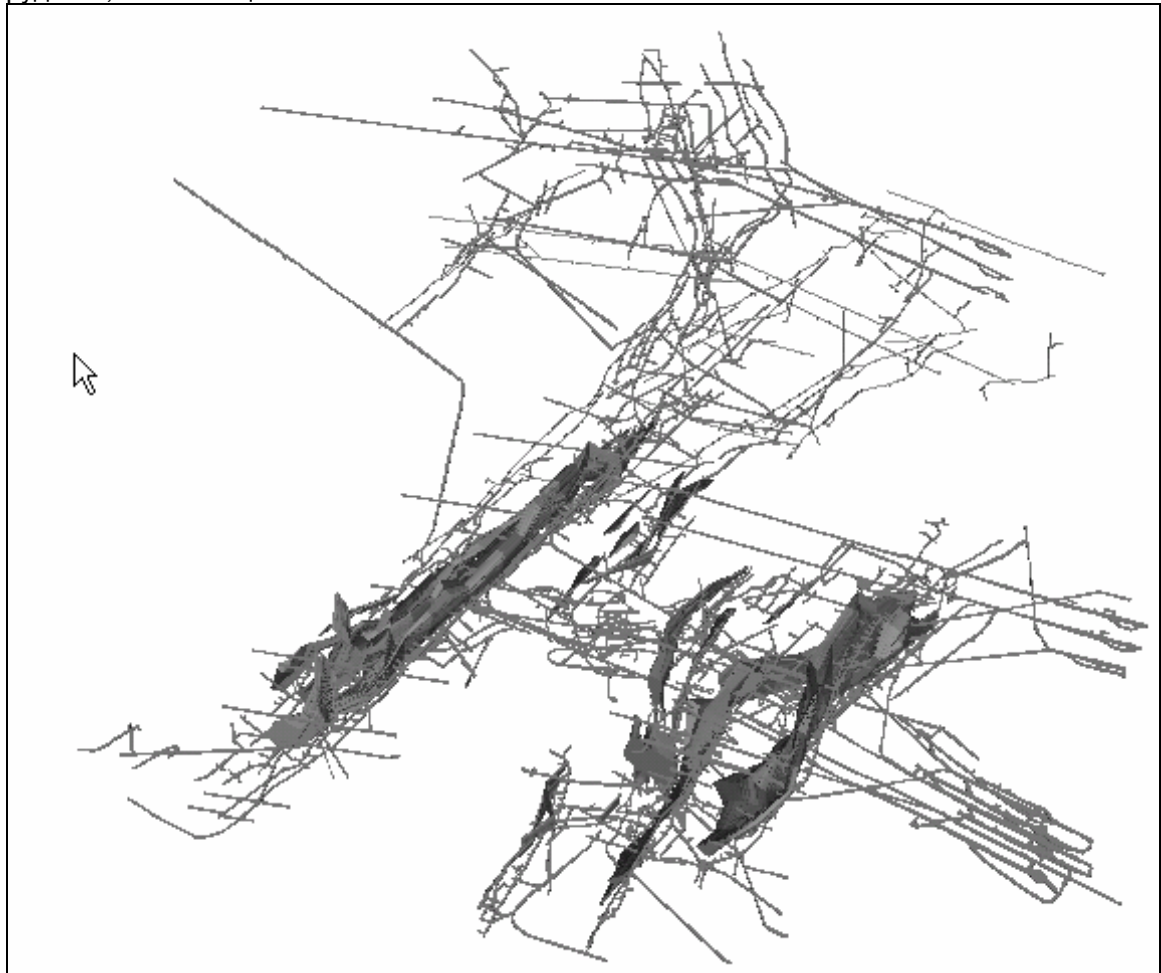


Рисунок 4.35. Каркасная модель большого подземного рудника.

5. Планирование горных работ на компьютерах

5.1 Основные принципы планирования горного производства

5.1.1 Введение

В этом разделе приводится (с некоторыми комментариями) перевод главы о планировании из книги [1], в которой рассматривается принятая на Западе идеология планирования горного производства на карьерах. Поскольку основные принципы планирования открытых и подземных работ, в общем, достаточно схожи, то приведенная далее информация будет, я надеюсь, полезна для большинства читателей.

Основные цели и задачи планирования хорошо изложены у Mathieson [3]:

-Необходимо отработать месторождение таким образом, чтобы затраты на производство 1 кг металла каждый год были минимальными, т.е. философия горного дела - каждая следующая порция руды - лучшая.

-Поддерживать развитие горных работ таким образом, чтобы обеспечивать доступ ко всем забоям и максимальное удобство в работе.

-Иметь необходимые резервы на случай переоценки тоннажа и содержания, что особенно важно в первые рискованные годы работы рудника.

-Максимально отсрочить во времени удаление вскрыши и обеспечить относительно спокойный режим работы оборудования и персонала.

-Разработать логическую и легкую программу начальных действий с включением в нее обучения персонала, монтажа и обкатки оборудования, создания инфраструктуры производства, чтобы минимизировать риск задержки получения прибыли от данного проекта.

-Максимизировать в соответствии с геомеханическими исследованиями проектный угол откоса борта карьера и в процессе планирования учитывать риск возможной неустойчивости бортов.

-Относиться с уважением к экономическим последствиям альтернативных вариантов производительности карьера и бортового содержания.

-Чтобы убедиться в правильности стратегии развития горных работ, выбора оборудования и т.п. необходимо каждый раз проверять условие "что если" перед тем, как начать следующий этап планирования.

Планирование, таким образом, является непрерывным процессом в течение всего срока работы предприятия. Планы составляются на разные периоды времени. Имеется 2 вида планирования производства, которые соответствуют разным временным интервалам.

-Производственное или краткосрочное планирование, которое необходимо для нормальной работы рудника.

-Долгосрочное планирование обычно выполняется на стадии ТЭО или финансирования проекта. В ходе его выполняется **проектирование карьера** и оценка извлекаемых запасов руды. Эта стадия является важным элементом в процессе принятия важных решений по будущему проекту.

Специалист, выполняющий планирование, должен мысленно поставить себя на место Управляющего рудником и постараться придерживаться следующих принципов [4-**Couzens (1979)**]:

1. Необходимо ясно видеть цели составляемого плана и быть готовым к внесению в него изменений.

2. Надо быть предельно коммуникабельным. Если план непонятен тем, кто принимает решения и выполняет их, то он будет или не выполнен, или проигнорирован.

3. Следует всегда помнить и четко представлять себе, что происходит с объемами горной массы в процессе планирования последовательности отработки. Геометрия должна играть для планировщика роль арифметики.

4. Специалист по планированию должен всегда помнить, что он делает со временем. Объемы горной массы должны перемещаться в запланированное время. Правильное использование времени будет определять эффективность проекта и производственных затрат.

5. Необходимо сделать план предельно реальным, чтобы он стал целью компании, а не только идеями его разработчика.

5.1.2 Планирование направления использования извлекаемого материала

В основе такого планирования обычно лежит критерий разделения добываемой горной массы на руду и породу – «бортовое содержание» (на Западе) или «минимальное промышленное содержание» (в России). В дальнейшем будем придерживаться западной терминологии. К сожалению, и там этот термин очень слабо описан в горной литературе.

Главная причина этого явления - то, что имеется много разных бортов. Более того, их значения изменяются со временем, развитием технологии и т.п. Борт - это содержание, которое используется для того, чтобы определить место назначения порций добываемого материала.

Это направление со временем может изменяться. При перспективном планировании руда может или быть оставлена в недрах, или вывезена на поверхность. Если выбрана поверхность, то должно быть указано - куда на поверхности будет направлен материал. В далеком прошлом имелось только 2 возможности: Обогажительная Фабрика (ОФ) и отвал.

Для выбора места назначения использовалась величина содержания основного компонента в руде. Граница между ОФ и отвалом называлась "бортом ОФ". Позже при добыче стали выделяться забалансовые руды, которые могли пригодиться в будущем. Поэтому разделение горной массы на руду и породу уже шло по минимальному содержанию в забалансовых рудах.

Следовательно, для горной массы использовалось уже 3 назначения:

Назначение	Разделитель
- на ОФ	Борт ОФ
- на склад забалансовой руды	Породный борт
- в отвал	

Сегодня существует намного больше возможных назначений для горной массы, т.к. наши возможности в управлении потоками материала и выборе технологии его переработки существенно увеличились. В частности, для извлечения металлов из бедных руд широко используется кучное выщелачивание.

Немного меньше распространены промежуточные аккумулирующие и усреднительные рудные склады.

В этом разделе будут описаны некоторые примеры использования добытой горной массы в разных направлениях. Однако, читатель должен помнить, что мы не можем перечислить все возможные на практике и многообразные направления использования извлекаемого из недр материала.

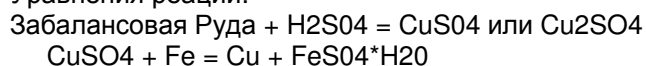
Для медных и некоторых других руд установки кучного выщелачивания являются основным местом назначения добываемых руд в дополнение к ОФ и породному отвалу.

Здесь при добыче обычно определяются два борта:

1. Породный отвал - борт выщелачивания.
2. Отвал выщелачивания - борт ОФ.

В процессе выщелачивания меди через штабель забалансовой руды просачивается серная кислота. Медь извлекается в виде сульфидов. Затем в специальных емкостях к этому раствору добавляется железо, которое замещает медь в солях и выделяет ее в чистом виде.

Уравнения реакций:



Затем полученная медь направляется на металлургическую переработку. Скорость и производительность извлечения меди зависят от многих причин. С помощью технологических испытаний устанавливают предельное содержание, при котором процесс выщелачивания еще может приносить прибыль. Например, для горной массы могут быть установлены следующие бортовые содержания:

НАПРАВЛЕНИЕ	СОДЕРЖАНИЕ МЕДИ
-в породный отвал:	< 02%
-в отвал выщелачивания:	>= 02%

Конечно, должно устанавливаться и другое бортовое содержание для руды, отправляемой на ОФ. Чтобы определить его надо для каждого класса содержаний рассчитать извлечение меди (как функцию времени) и возможную прибыль для обеих возможных процессов переработки руды: выщелачивания и обогащения на ОФ. Таким образом, получают предельное содержание, при котором на ОФ еще можно получить прибыль от извлекаемых компонентов. Пример таких вычислений показан на рис. 5.1. Правда каждый раз надо иметь в виду, что полученные графики справедливы только для данного уровня рыночных цен на медь и эксплуатационных затрат. При их существенном изменении графики должны пересчитываться.



Рисунок 5.1. Схема к расчету борта Обоганительной фабрики.

Для иллюстрации предположим среднее содержание в выщелачиваемой руде 0.55% Cu. Затраты на добычу и транспорт руды примем равными аналогичным затратам для руды, поставляемой на ОФ. Так как этот материал должен быть извлечен из недр в любом случае, то эти затраты будут "дармовыми" затратами. В результате расчетов оказывается, что при использовании выщелачивания мы получим прибыль \$2.07 на тонну руды.

Аналогичные расчеты были выполнены для переработки этого же материала на ОФ. Получено значение прибыли - \$2.75 на тонну руды. Очевидно, что такая руда должна отправляться на ОФ.

В данном примере, после подробных расчетов для разных классов руды было найдено граничное содержание для этих процессов - борт ОФ равен 0.45% Cu.

Из таких достаточно простых расчетов вытекают 2 важнейших вывода:

1. Основной объем капитальных затрат связан с ОФ, и поэтому включение этих затрат в расчеты будет увеличивать борт ОФ.
2. Однако, за счет дополнительного извлечения на ОФ ценных попутных компонентов из руд значение этого фактора может быть уменьшено. Поэтому при детальной оценке должны учитываться оба этих фактора.

Может случиться также, что возможности ОФ могут быть увеличены с возрастанием содержания ценных компонентов в руде. В таком случае можно использовать еще одно назначение для руды - активные склады. Здесь также управление рудопотоками идет с помощью бортовых содержаний.

В течение жизни горного предприятия используется несколько значений бортовых содержаний. На первом этапе отработка ведется с высокими бортами для того, чтобы

как можно быстрее окупить капиталовложения. При ограниченной производительности ОФ этой цели можно достичь быстрее за счет переработки только богатой руды.

Следовательно, начальный борт ОФ может быть высоким. При достижении горным предприятием зрелости этот борт может быть снижен. Предположим, что борт для карьера, рассчитанный с учетом всех производственных и общих затрат, равен 0.3%. Если для доступа к глубокозалегающим богатым рудам требуется попутно извлекать бедные, то борт для добываемых руд может быть установлен даже ниже 0.3%. Но так как производительность ОФ ограничена, а капиталовложения надо окупить возможно скорее, то борт ОФ установлен равным 0.7%. Поэтому большое количество материала с содержанием 0.3% - 0.7%, которое в будущем пойдет в переработку на ОФ, сейчас должно временно складироваться как забалансовые руда.

Можно конечно направить такой материал на выщелачивание для быстрого возмещения горных затрат. В этом случае не требуется перелопачивание складов с дополнительными затратами, а также дополнительных хлопот по организации места хранения.

Есть несколько неудобств, связанных с организацией рудных складов:

- 1. Необходимо перелопачивать руды, что приводит к значительным дополнительным затратам.**
- 2. Для размещения штабелей руды разного качества требуется много места, которое не всегда имеется на предприятии.**
- 3. Дополнительные затраты также вызываются транспортированием складированного материала, его опробованием, контролем и т.д.**

По этим и некоторым другим причинам склады непопулярны на большинстве рудников.

Отвал выщелачивания является разновидностью рудного склада. Однако, в нем обычно не делается перелопачивания руды. Сегодня число чисто породных отвалов сокращается за счет улучшения технологии извлечения, и есть все основания верить, что процесс выщелачивания будет использоваться даже на породных отвалах, создаваемых сегодня.

Преимущества рудных складов:

- 1. Они могут использоваться для усреднения, которое положительно влияет на извлечение компонентов при обогащении.**
- 2. Они могут использоваться как буферные емкости для сохранения постоянства производительности ОФ. Наличие буферов делает проект более гибким. Для примера, буфер может позволить сократить количество дорог в карьере и за счет этого увеличить откосы борта карьера**
- 3. Извлечение металла на ОФ обычно намного выше, чем при выщелачивании. В этом случае общие затраты делятся на большее количество конечной продукции, делая ее дешевле.**

Ожидается, что в будущем склады будут играть более важную роль в жизни рудников. При сложных транспортных схемах современных рудников дополнение нового конечного пункта не вносит серьезных проблем для погрузочно-транспортных работ. В этих случаях необходимо совершенствовать методы управления эффективной работой многих складов с оптимизацией их суммарного рудопотока.

Обычно на рудные склады отправляется руда, содержание в которой ниже используемого в данный период борта ОФ и ниже единого борта для всего проекта. В одном штабеле складировается руда одного класса содержаний.

Например, для управления складами могут быть применены варианты:

1. Решение, посылать или нет руду со склада на ОФ, принимается с учетом прибыли, дающей складироваемым материалом и прибыли от переработки руды, поставляемой непосредственно из карьера. Если прибыль от переработки руды со склада будет выше, то на ОФ будет поставляться руда из обеих источников. Сравнение выполняется для одних и тех же интервалов содержаний в рудах. Если для примера в карьере обрабатывается руда с содержанием 0.4% - 0.7%, а на складе находится руда с содержанием 0.4% - 0.55%, то расчеты будут делаться только для материала с содержанием 0.4% - 0.55%. Если прибыль для складированных руд больше, то руда с таким интервалом качества будет отправляться на ОФ

только со склада. Руда с качеством 0.55% - 0.7% будет поставляться из карьера. Материал из карьера с содержанием 0.4% - 0.55% будет направляться на складирование. Такая система управления складами является динамической в смысле того, что в некоторые годы склады одновременно получают руду из карьера и посылают ее на ОФ.

2. Когда прибыль от переработки руды со склада больше чем из карьера, то ОФ принимает руду только из склада. Таким образом, руда здесь поступает на ОФ только из склада или только из карьера.

3. В этом варианте руда не отправляется со склада на ОФ в течение всего срока отработки карьера. Забалансовая руда складывается все время работы карьера. После его закрытия начинает работать склад, как новый забой карьера.

Все возможные варианты стратегий оцениваются по NPV, и за основу в данный период принимается технология, дающая максимум эффективности. При изменении ключевых исходных технико-экономических параметров (цены, затраты, производительность ОФ и т.п.) эти расчеты повторяются.

Варианты работы со складами должны всегда рассматриваться при планировании работы карьера. Потенциальный вклад складов в NPV зависит от целого ряда причин. В особенности это зависит от разброса содержаний в разрабатываемой руде и стратегии установления разных типов бортов.

Если этот разброс большой, то в проекте должны быть предусмотрены рудные склады.

5.1.3 Календарное планирование

Это очень важная часть процесса горного планирования. Технология его будет продемонстрирована на простом примере из открытых горных работ.

Предположим карьер, показанный первым на рис 5.2, состоящий из 10 рудных и 10 породных блоков. Производительность - 5 блоков в год независимо от содержания. Прибыль от добычи рудного блока - \$2, а затраты на извлечение блока породы -\$1. Общая стоимость извлечения породы - \$10, а общая прибыль от добычи руды - \$20.

Если руда и порода могут быть отработаны мгновенно, то NPV будет равно \$10.

Однако, на практике это невозможно. Более того, может быть предусмотрено несколько стратегий отработки запасов.

Сценарий 1. Удаление вскрыши до добычи руды.

Эта стратегия показана на рис. 5.2. NPV = \$5.66

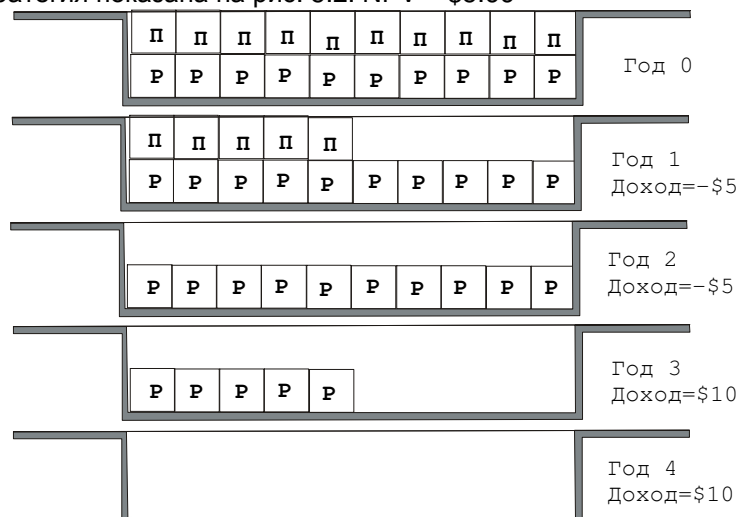


Рисунок 5.2. Стратегия №1 отработки карьера

Сценарий 2. В первый год удаляется только вскрыша (5 блоков), а затем ежегодно извлекается 3 блока руды и 2 блока породы. В последний год - 4 блока руды и 1 блок породы.(Рис.5.3). NPV = \$6.56.

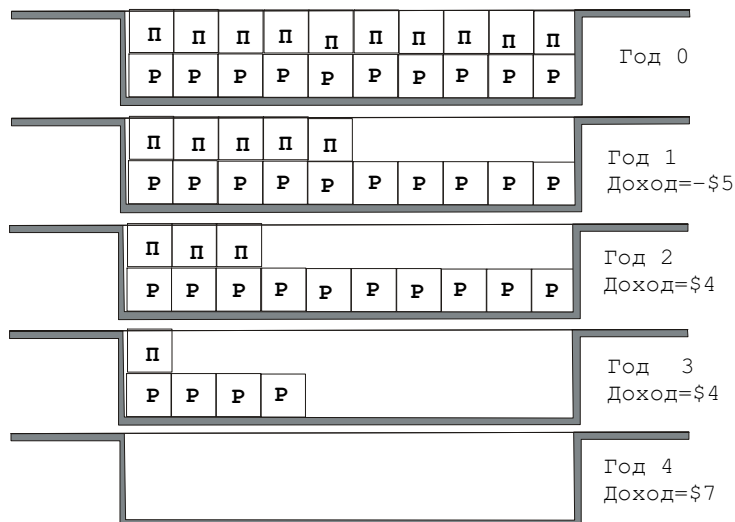


Рисунок 5.3. Стратегия №2 отработки карьера

Сценарий 3. В первый год извлекается 3 блока породы и 2 - руды, а затем - одинаковое количество руды и породы (рис.5.4). При сравнении вариантов 1 и 2 было отмечено увеличение NPV при сокращении временного лага между вскрытием и добычей руды. В 3-м варианте вскрыша опережает руду только на 1 блок, т.е. лаг сделан кратчайшим. NPV= \$7.59.

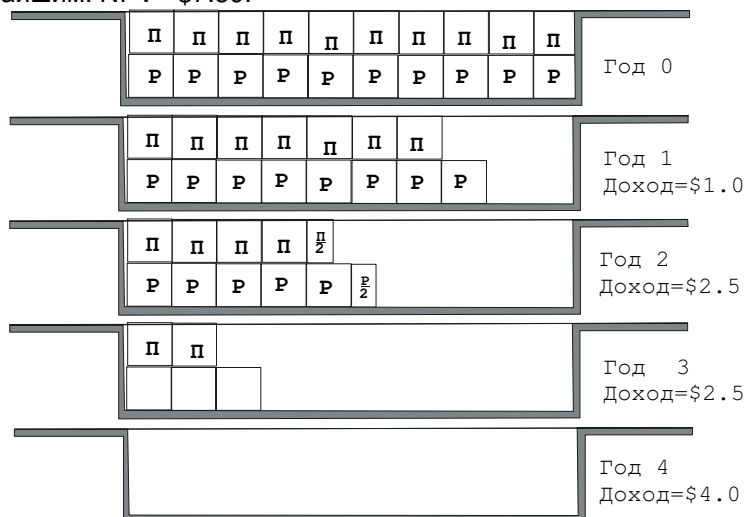


Рисунок 5.4. Стратегия №3 отработки карьера

Сценарий 4. Вскрыша опережает добычу только на 0.5 блока (Рис.5.5). Эта ситуация предположена для возможно большего сокращения разрыва между вскрышей и добычей. NPV= \$7.76.

Последний случай оказывается лучшим среди всех 4-х. Однако, в этом варианте производственные затраты увеличиваются на \$0.05/ блок из-за отсутствия достаточного рабочего пространства и других ограничений, связанных с уменьшением ширины рабочих площадок. Следовательно, затраты на извлечение породы возрастают до \$1.05, а прибыль для руды уменьшается до \$1.95. Таким образом, действительная величина NPV= \$6.96. Таким образом, пока лучшим остается вариант 3.

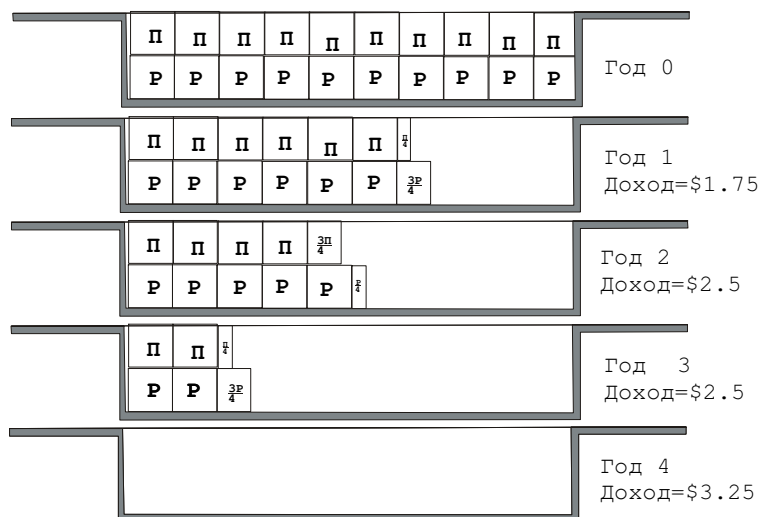


Рисунок 5.5. Стратегия №4 отработки карьера

Сценарий 5. Удвоение производительности отработки запасов.

Предполагается, что закупается больше оборудования и производительность предприятия увеличивается до 10 блоков в год. Дополнительные капиталовложения в оборудование отражаются в затратах. Таким образом, затраты на добычу породы = \$1.10/блок, а прибыль по руде = \$1.90/блок.

Порядок выемки соответствует варианту 3 (Рис. 5.6). NPV = \$6.82.

Как мы видим, третий вариант остается наилучшим. Если же дополнительные затраты в варианте 5 отсутствуют, то NPV = \$8.55, и тогда этот вариант становится наиболее эффективным.

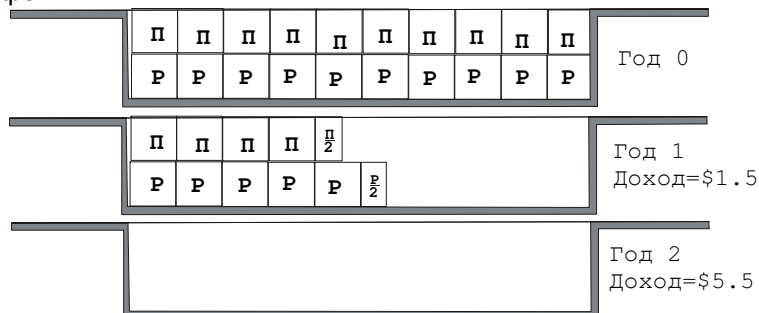


Рисунок 5.6. Стратегия 5 отработки карьера

Приведенный простейший пример демонстрирует некоторые важные аспекты календарного планирования. Размер NPV зависит от:

1. Интервала времени между выемкой породы и руды. Лучший результат получается при минимальном интервале. Но дополнительные затраты, вызванные отставанием вскрыши, могут привести к уменьшению NPV.
2. Увеличения производительности рудника. Но дополнительные затраты, вызванные покупкой оборудования и т.д., могут вызвать уменьшение NPV.

Значительно более сложные варианты календарных планов создаются в процессе компьютерной обработки информации, рассматриваемой в разделе 5.2.

В процессе календарного планирования инженер постоянно следит за ежегодными (квартальным, недельным...) изменениями коэффициента вскрыши, делая их более плавными. Если это осуществляется вручную, то обычно используются кумулятивные графики. Однако, таким методом можно рассмотреть только единичные варианты для не очень сложных случаев с небольшими ограничениями.

Каждый раз следует предусматривать резерв производительности по вскрыше на случай:

- неожиданного краха намеченной программы,
- сокращения объемов добычи руды,

- временного снижения борта для поддержания требуемого производства концентрата.

Значительно более сложные ситуации и многовариантные расчеты в сжатые сроки доступны только с помощью мощной компьютерной техники и современных горных программ для календарного планирования.

Большое значение имеет последовательность извлечения блоков руды и породы из месторождения. Чем раньше будут извлечены богатые руды и чем дальше отодвинута выемка вскрыши, тем больше прибыли получит горное предприятие.

Чтобы присвоить каждому блоку руды экономическую оценку необходимо решить куда будет направлен этот блок после отработки. Обычно могут встретиться 4 возможности:

- ОФ
- отвал выщелачивания
- склад руды
- породный отвал

Проблема состоит в определении такой последовательности извлечения блоков модели, которая дает максимум NPV. Эта задача обычно решается с помощью динамического программирования и будет рассмотрена в разделе 5.2.

5.1.4 Итоговые замечания

Выше рассмотрены только некоторые особенности процессов планирования горных работ. Не было необходимости детально разбираться во всех нюансах ручного планирования горного производства, тем более, что этого теперь уже никто не делает.

Стадии планирования, проектирования и ТЭО тесно переплетены, и в разных странах имеют отличающуюся терминологию. Автор не ставил перед собой задачу дать развернутое описание всего процесса планирования, т.к. не считает себя крупным специалистом в этой области. Приведены лишь те, на наш взгляд, важные моменты, которые несколько отличаются от традиционному «социалистического» подхода к этой сфере деятельности и должны быть известны и понятны специалистам в современных изменяющихся условиях российского горного производства.

Сама теория горного планирования сейчас переживает очередной качественный скачек. Появилось та называемое «стратегическое горное планирование», которое еще больше сближает финансовые цели производства и реальные горные инструменты, с помощью которых достигаются экономические цели планирования. Этот подход подробнее будет рассмотрен в разделе 5.5.

Интерактивная природа этапа планирования очень соответствует циклическому анализу. Весь процесс и его компоненты показаны на диаграмме - рис. 5.7.



Рисунок 5.7. Схема кругового (циклического) анализа, осуществляемого в процессе планирования горных работ.

1.1.1.1

5.2 Планирование работы карьеров с помощью пакета NPV Scheduler

В главе 4 читатель познакомился с пакетом программ NPV Scheduler, который позволяет решать целый комплекс задач, начиная от оптимизации предельных контуров карьера и кончая оптимизацией системы рудопотоков крупного предприятия или группы производств. Пакет непрерывно развивается, в него включаются все новые задачи, которые решаются современными эффективными математическими методами.

После того, как получены предельные границы карьера и этапы его развития, производится детальное проектирование карьера, т.е. создается его 3-х мерная модель (каркас) на конец каждого этапа отработки. Методология этих операций описана в главе 4. Затем эти поверхности снова импортируются в пакет NPV Scheduler, где создается календарный план отработки запасов, выбираются и оптимизируются системы рудопотоков предприятия, а также – его производительность и бортовые содержания основных компонентов.

5.2.1 Календарное планирование

Примем за основу учебный пример «Copper Gold Mine», поставляемый вместе с программой. Предварительно на основе экономической модели должен быть создан предельный карьер (или импортирован из Датамайн) и разбит на этапы отработки (pushbacks).

Предельный карьер в данном примере содержит около 50 млн т сульфидной руды, что при производительности Обоганительной фабрики (ОФ) 14 тыс т в день обеспечивает ее запасами на 10 лет. Руда в среднем содержит 0.68 г/т золота и 0.28 % меди. Забалансовые руды (имеется 2 сорта таких руд) планируется отправлять на Кучное выщелачивание (КВ). Наша цель - обеспечить производительность карьера по горной массе в разумных пределах, поэтому мы вводим ограничение на коэффициент вскрыши, который в данном случае определяется как $(\text{Порода} + \text{Руда на КВ}) / (\text{Руда на ОФ})$.

В качестве исходных данных для составления оптимального (по NPV) календарного плана будем использовать следующие:

1. Максимальная производительность ОФ – 14 тыс. т в день или 5.11 млн т в год
2. Максимально допустимая производительность карьера по горной массе – 33.6 тыс т в день (что соответствует коэффициенту вскрыши – 1.4 т/т) при плановой – 29.0 тыс т в день.

Далее следует заполнить все необходимые ячейки установочной таблицы.

1. Установить годовую производительность ОФ. Здесь можно задать только 1 вариант этого параметра.
2. Целевые переменные для оптимизации. Можно выбрать в качестве такой переменной любую из переменных, имеющих в экономической модели. В данном случае мы создаем новую переменную «MiningRatio», которая определяется, как описано выше, т.е. $=(\text{Порода} + \text{Руда на КВ}) / (\text{Руда на ОФ})$. Далее необходимо указать программе, как рассчитать эту переменную. Это делается установкой коэффициентов в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Установка коэффициентов для задания целевой переменной.

Переменные блочной модели	Numerator (коэф-т в числителе)	Denominator (коэф-т в знаменателе)
Profit (Прибыль)	0	0
Rock (Г.масса)	1	0
SULF1-Mill (Руда на ОФ)	-1	1

SULF1-Leach (Пуда 1 на KB)	0	0
SULF2-Leach (Пуда 2 на KB)	0	0
AU insitu (Запасы Au в массиве)	0	0
CU insitu (Запасы Cu в массиве)	0	0
AU recov. (Запасы Au извлеченные)	0	0
CU recov. (Запасы Cu извлеченные)	0	0

Установленная нами формула выглядит следующим образом.

$$\text{MiningRatio} = (1 * \text{Rock} + (-1) * \text{Mill}) / (1 * \text{Mill}) = (\text{Rock} - \text{Mill}) / \text{Mill}$$

Эта формула соответствует вышеприведенной, поскольку «Rock=Waste+Mill+Leach1+Leach2». Установив Rock=33.6 и Mill=14.0, получим MiningRatio=1.4 т/т.

3. Установить значения целевой переменной:

End time (Номер последнего года)	- 100*
Target (Плановое значение)	- 1.07
Minimum (Минимум)	- 0.0
Maximum (Максимум)	- 1.4

*Здесь задан заведомо больший срок действия данных ограничений. Программа будет распространять их на весь срок отработки запасов. Но Вы можете задать при необходимости любой период, а также – сколько угодно периодов, в каждом из которых будут действовать свои целевые переменные и ограничения.

Устанавливая плановое значение = 1.07 т/т, мы диктуем программе, чтобы она выбрала такую (наиболее эффективную по NPV) последовательность отработки запасов, чтобы полностью обеспечить ОФ рудой и при этом выдерживать коэффициент вскрыши возможно ближе к плановой величине. При невозможности достичь такой цели в течение всего периода жизни карьера, этот показатель не может быть выше 1.4 т/т.

4. Таким же образом, можно задать сколько угодно целевых переменных и периоды времени, в течение которых они будут действовать.

5. Теперь надо установить порядок отработки рассчитанных ранее этапов отработки карьера (pushbacks).

Конечно, лучшим вариантом по NPV будет последовательная отработка всех этапов, но с практической точки зрения в таких жестких рамках трудно выдержать ограничения по коэффициенту вскрыши, усреднению руд и экологии. Поэтому программа рассчитана на поиск оптимальной стратегии с возможностью одновременной работы в границах 2-х и более этапов.

На этой же стадии можно указать программе, чтобы она создала оптимальную последовательность извлечения запасов, которая затем будет использоваться на следующем этапе оптимизации (см. 5.2.2).

Установим для данного примера возможность одновременной работы в пределах границ 3-х смежных этапов. Кроме того, введем:

- "Maximum tree size" (Максимальный размер дерева графа) = **250,000.**
- "Number of atoms" (Число атомов) = **5.**

Изменять эти параметры, установленные по умолчанию, имеет смысл, если Вы хорошо знакомы с теорией динамического программирования. Остальные исходные параметры оставляются по умолчанию.

6. После ввода исходных параметров программа начинает работать.

Чтобы найти оптимальное решение для установленной целевой функции и ограничений, программа делит модель месторождения на элементарные объемы, называемые атомами и строит дерево (граф) возможных решений. Узлы этого графа иллюстрируют положение горных работ в данный момент времени, а дуги соответствуют атомам. Информация, полученная из первого дерева, используется для построения второго, где дуги связаны с временем больше чем атомы. Этот граф

включает все решения, которые удовлетворяют поставленным условиям оптимизации. Если решений не существует, а такое случается достаточно часто, то ограничения несколько ослабляются. Оптимальный план рассчитывается методом динамического программирования.

После окончания работы программа (если решение найдено) создает таблицу календарного плана, в которой для каждого года (отдельно и в нарастающем итоге) приведены все показатели движения объемов горной массы и каждого сорта руды.

Если решение не существует, попробуйте увеличить максимальное значение целевой функции. В данном примере решение было найдено, и оценка NPV для него составила 132.5 млн долларов.

На рис. 5.8. приведен график ежегодных объемов пустых пород и руды на ОФ, включенных в оптимальный календарный план. Вы можете вывести на экран любой вид графика любых используемых показателей, характеризующих календарный план.

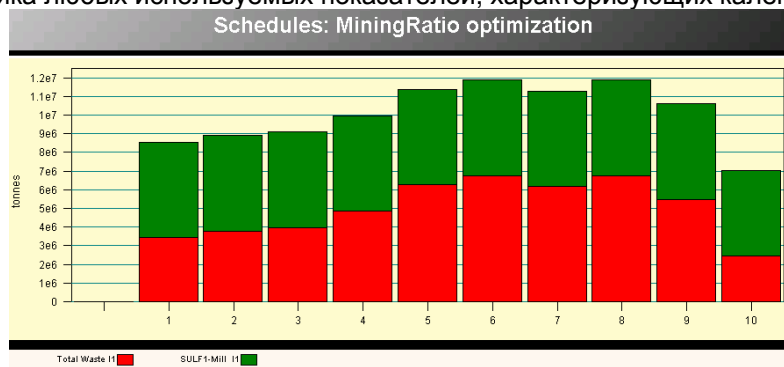


Рисунок 5.8. График изменения объемов горной массы по годам работы карьера.

Если параметры плана Вас не удовлетворяют, то, задав новые исходные данные, его легко пересчитать.

В результате, кроме таблицы, программа рассчитывает также новую модель карьера, в которой для каждого блока вписаны номера его начального и конечного годов отработки.

Программа создает несколько альтернативных планов:

- Вариант с максимумом NPV без учета целевых переменных
- Лучшие варианты для каждой целевой переменной

Если имеется несколько решений, удовлетворяющих всем Вашим требованиям, то на выходе Вы получите набор практически идентичных планов.

Вы сможете увидеть вид карьера в конце каждого этапа отработки в окне визуализера (рис.5.11) или просмотреть в графическом окне ее отдельные планы и сечения (рис. 5.9, 5.10).

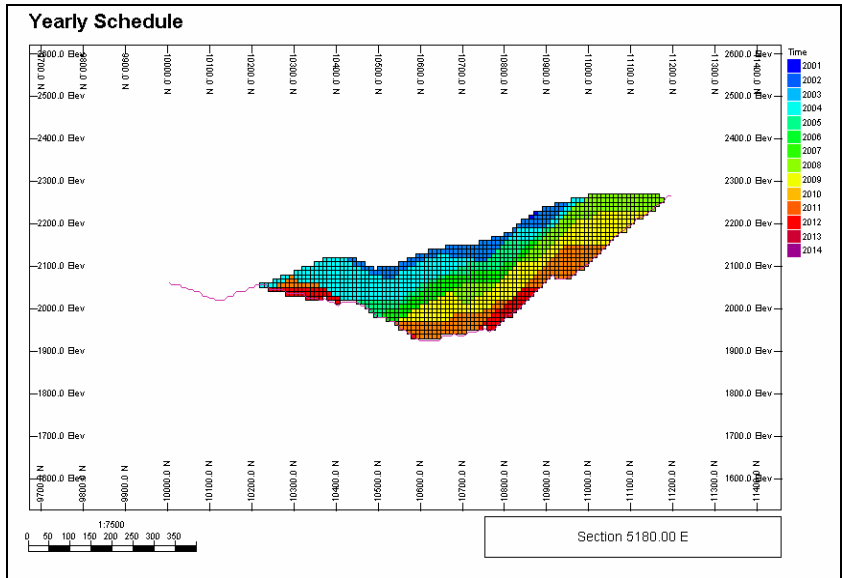


Рисунок 5.9. Вертикальное сечение оптимального карьера с нанесением границ годовой отработки.

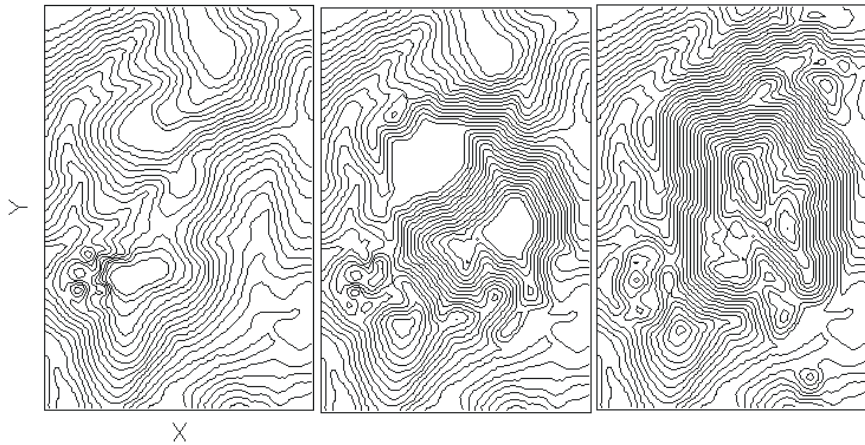


Рисунок 5.10. Вид карьера перед началом разработки, в конце 5-го года и на конец отработки запасов.

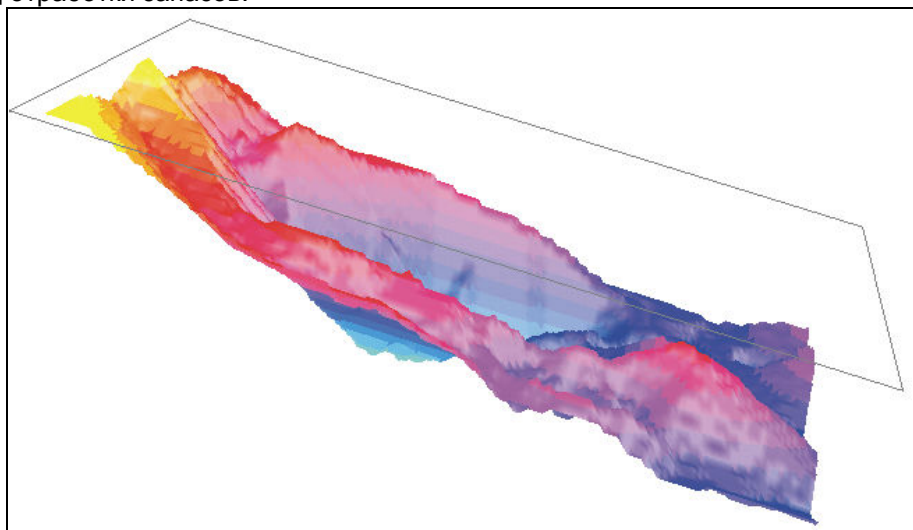


Рисунок 5.11. Вид поверхности карьера в конце отработки

Заканчивая рассмотрение примера, надо отметить, что период планирования может быть каким угодно: недели, месяцы, кварталы и т.д. Но, выполняя очень детальные расчеты, следует учитывать размер блоков используемой экономической

модели. Если он очень большой, то Вы не сможете гибко управлять запасами в небольших объемах, т.к. каждая ячейка модели имеет одинаковое качество и экономическую оценку. Для краткосрочного планирования следует работать на специально созданной модели с небольшим размером основного блока.

5.2.2 Оптимизация работы с рудными складами

В этой части мы также будем рассматривать учебный пример проекта «**Copper Gold Mine**», упомянутый в предыдущем разделе. До начала работы у Вас должен быть создан оптимальный Календарный план по методологии, описанной выше.

В процессе выполнения задачи используются оптимальные последовательности извлечения блоков модели, созданные предыдущим процессом. Рассматриваемый сейчас модуль оптимизирует распределение этих рудопотоков по вариантам переработки руды и имеющимся складам. Для этой работы программа использует метод линейного программирования. Оценки прибыли и NPV делаются на основе геологической модели и модернизированных экономических параметров в соответствии со временем реальной переработки и продажи произведенной продукции.

Эта программа должна работать совместно с модулем оптимизации календарного плана, чтобы увеличить эффективность горного проекта.

В процессе работы программа рассматривает один период за раз (временные единицы – те же, что и в календарном планировании), начиная от первого и заканчивая последним (если пользователь не задал разные параметры и ограничения для разных этапов).

В каждом периоде программа определяет и рассчитывает:

- текущие экономические условия,
- бортовые содержания (при этом материал, который в геологической модели был рудой, в процессе этих расчетов может становиться породой и наоборот),
- все входы материала: из карьера, складов, внешних источников.

Далее с помощью симплексного метода она находит оптимальное (по прибыли и NPV) распределение полученной руды по возможным направлениям использования: ОФ, КВ, рудные и породные склады. ***В некоторых случаях руда с содержанием выше экономического бортового может быть направлена в отвал, если имеющиеся мощности переработки и складирования уже полностью использованы.***

Полученный из предыдущего модуля календарный план соответствует производительности ОФ – 14.0 тыс т в день и производительности карьера по горной массе – 33.6 тыс т в день. При этом формируется различный во времени (и по объему) рудопоток на установку КВ. Руда перед укладкой требует дробления. Производительность дробильной установки 2.2 тыс т в день. Часть добываемой руды (для КВ), которая не сможет быть сразу измельчена, будет временно складироваться на рудном складе SULF2. На реальных предприятиях таких складов может быть несколько.

Установка параметров склада начинается с ввода нормы дисконтирования (в нашем примере – 10%) и производительности карьера по капитальной вскрыше (5 млн. т/год). Далее Вы сможете внести корректировки в прогнозируемые Вами параметры:

- Цены металлов
- Себестоимость добычи и переработки руды
- Норма дисконтирования

Все планируемые изменения вносятся в нужные периоды планирования (в нашем примере – годы) с помощью коэффициентов. В данном примере эти параметры не будут изменяться во времени, т.е. все множители равны 1.0.

Теперь следует задать условные названия складов. Введем – S2. Выберем для складирования только тип руды **SULF2**. Далее устанавливаются вместимость склада (10 млн т), затраты на перелопачивание руды (0.1 \$/т) и производительность отгрузки руды со склада (803.0 тыс т/год). Здесь же Вы можете изменять во времени производительность склада и извлечение металлов, содержащихся в руде.

Теперь задаются бортовые содержания (для всех компонентов), выше которых руда будет поставляться на переработку. Вы должны установить также начальное состояние склада перед планированием (в данном случае – 0.0 т с содержанием 0.0).

Далее задаются параметры производительности ОФ (5.11 млн т/год) и КВ (0.803 млн т/год), куда в принципе может поставляться руда со склада. В нашем примере эти цифры не будут изменяться во времени. Здесь же можно ввести пределы содержаний компонентов в поставляемой на переработку руде и требуемые объемы выхода металлов после переработки в единицу времени.

Если Вы используете комплексные показатели качества, то они будут высвечиваться в соответствующей таблице ниже перечисленных единичных показателей (содержаний). Минимальные и максимальные значения для них задаются так же как и для содержаний. Например, если надо установить для какого-то показателя значение, равное 0, то можно записать: минимум= -0.0001, а максимум= 0.0001.

В отдельной таблице устанавливаются контролируемые параметры усреднения руды. Этим способом определяется доля определенного типа руды в каком-то процессе. Если задано более одного типа, то установленное ограничение будет относиться к их суммарному тоннажу.

После нажатия кнопки Add или Edit будет открыто окно для ввода параметров. Для максимального удобства параметры усреднения задаются в виде отношения A/B, где:

$$A = v1 + v2 + \dots$$

$$B = u1 + u2 + \dots$$

v1, v2, ... комбинации типа руды и метода переработки

u1, u2, ... методы переработки

Например, мы имеем 3 типа руд: R1, R2, R3 и 2 метода их переработки: M1 и M2. В этом случае мы получим 6 переменных типа v (R1-M1, R2-M1, R3-M1, R1-M2, R2-M2, R3-M2) и 2 переменных типа u (M1, M2). Таким образом, функция A может быть равна сумме одной, двух...и шести переменных, а функция B может быть равна M1, M2, or M1+M2.

Следующая установка связана с выбором критерия оптимизации. Поскольку мы выполняли оптимизацию календарного плана по критериям **MiningRatio** и **NPV**, то здесь мы также устанавливаем эти показатели. В данном примере выберем опцию «**Произвести оптимизацию для заданной производительности карьера**»

Далее Вы можете разделить типы руды по классам содержаний. Для оптимизации складов с заданной производительностью карьера это делать необязательно, но часто бывает полезным, т.к. позволяет программе увеличивать NPV, смешивая разные сорта добываемой руды. В следующем разделе мы покажем, как используется эта опция.

Выберем медь, как главный компонент в руде, для которого программа будет рассчитывать условное содержание (в нашем примере - условная медь). Уравнение для расчета:

$$\text{Условная медь} = \text{Cu} + (\text{Cu борт} / \text{Au борт}) * \text{Au}$$

Установим также максимальные бортовые содержания для обеих типов руды и количество образуемых классов содержаний (табл.5.2).

Классы содержаний для данного типа руды определяются самым высоким бортом и количеством классов. Например, предположим, что высочайший борт равен 10 г/т, количество классов – 11, а экономический борт – 0.4 г/т. Тогда верхний класс руды будет включать руду с содержаниями выше 10 г/т, второй класс 9-10 г/т, третий 8-9 г/т и т.д. Последний класс будет включать интервал 0.4-1 г/т.

Можно задать требуемое количество классов содержаний для каждого типа руды. Если Вы не хотите для каких-то сортов задавать классы, то определите максимальный борт = 0, а число классов = 1.

Таблица 5.2. Параметры содержания условной меди

Тип руды	Maximum, Максимальный	Number, количество
----------	-----------------------	--------------------

	борт	классов
SULF1	1.0	20
SULF2	1.0	20

Запускаем программу оптимизации.

На выходе мы получаем полную картину рудопотоков карьера с учетом прохождения руды через склады. На рис. 5.12. показан график изменения по годам:

- Объемов поставки руды на склад
- Отгрузки руды со склада на КВ
- Объемов руды на складе.

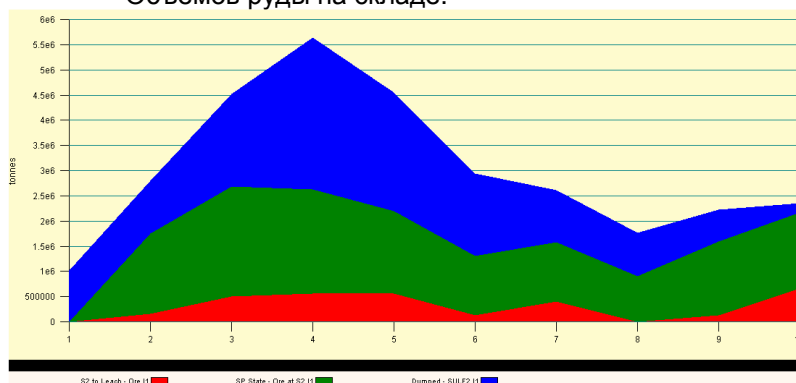


Рисунок 5.12. Изменение по годам объемов руды, проходящей через склад

В формируемой программой таблице содержатся подробнейшие характеристики всех рудопотоков карьера для каждого планового периода, а также экономические оценки принятой стратегии. В нашем примере суммарная величина NPV составила 132.56 млн долларов.

Заканчивая этот раздел, надо отметить, что программа позволяет учитывать в системе рудопотоков руду (или другие компоненты), поставляемую из посторонних источников (например, из подземного рудника, входящего в состав горного предприятия). В этом случае Вы должны указать дополнительно:

- Количество поставляемой извне руды во времени
- Цена единицы руды
- Содержание в руде всех важных компонентов

5.2.3 Оптимизация бортовых содержаний и производительности рудника

Следующий шаг, который мы сделаем вместе с пакетом NPV Scheduler – оптимизация бортовых содержаний или производительности карьера, что в принципе одно и то же.

Этот процесс будет рассчитывать оптимальные борта (которые должны быть выше, чем экономические) с целью улучшения параметра NPV. При заданной производительности стадий переработки руды повышение производительности карьера приводит к возрастанию борта ОФ, а вся оставшаяся не переработанная руда будет временно складироваться или вывозиться в отвал.

Решающее значение в процессе оптимизации бортового содержания играет наиважнейший тип руды и выбранный процесс его переработки. Учитывая тесную связь бортового содержания и производительности карьера по горной массе, проблема может быть также сформулирована, как оптимизация производительности карьера или его рудопотоков. Такая формулировка более подходит для данного случая, т.к. здесь одновременно оптимизируются много бортовых содержаний, связанных с разными типами руды и разными процессами их переработки.

В задаче оптимизации системы рудопотоков карьера целью является определение их производительности для всех этапов жизни карьера, использования разных методов переработки, с учетом всех ограничений, усреднения и т.д. и т.п., что

позволяет максимизировать NPV. Задача оптимизации бортов решается автоматически при оптимизации производительности рудопотоков.

Процесс использует метод динамического программирования и позволяет в ряде случаев серьезно повысить эффективность рассчитанных перед этим календарного плана и программы управления рудными складами. По сути дела – это оптимизация складов, в которой дополнительно рассчитываются наилучшие значения бортовых содержаний для каждого процесса переработки руды. В процессе расчетов оптимальная последовательность извлечения блоков модели (полученная из программы календарного планирования) остается неизменной. Перемены касаются только скорости извлечения запасов руды.

Мы продолжим рассматривать тот же пример, но добавим второй склад с большими возможностями для руды SULF1. Поскольку производительности ОФ и КВ остаются неизменными, то появление нового склада большой вместимости позволит варьировать производительностью карьера и бортовыми содержаниями для достижения максимума NPV. Программа работает на основе теории (алгоритма) Lane, посвященной оптимизации бортового содержания.

Скопируем все предыдущие установки, которые мы использовали для оптимизации работы складов, в наш новый проект. Зададим параметры для нового дополнительного склада. Тип руды - SULF1, емкость – 25 млн т., затраты на перегрузку – 0.1\$/т, производительность – 5.11 млн т/год (табл. 5.3).

Таблица 5.3. Параметры нового склада

Box	Entry
Capacity	025,000,000
Rehandling cost	0.10
Basic rate	005,110,000

Возможности по переработке руды остаются неизменными: производительность ОФ – 5.11 млн т/год, КВ – 0.803 млн т/год.

Теперь установим число возможных оценок производительности карьера (по горной массе) за единицу времени, т.е. максимальное число различных значений этого параметра, используемых в оптимизации для любого момента времени и любого состояния добычных работ в это время. Это число должно находиться в интервале 10-500 (по умолчанию –100). В данном примере используется – 80.

Аналогичный параметр задается для числа оценок NPV в процессе оптимизации. Мы будем использовать величину 100.

Здесь же можно задать предельную производительность карьера по горной массе и изменения этого параметра во времени. Для сокращения времени работы программы рекомендуется вводить хотя бы одно значение максимальной производительности. Мы будем использовать значение 20 млн т/год для всего срока жизни карьера.

Для выбора режима оптимизации рудопотоков отметьте в установочной таблице опцию **"Optimize mining rates and cutoff grades"**.

Запустите программу. После окончания ее работы как и в предыдущем расчете мы получим на выходе таблицу со всеми параметрами каждого рудопотока (включая рекомендуемый борт для каждого процесса), а также – набор всевозможных графиков для иллюстрации результатов вычислений. На рис. 5.13. показан график оптимальных бортов по годам работы карьера для руды, поставляемой на ОФ и КВ.

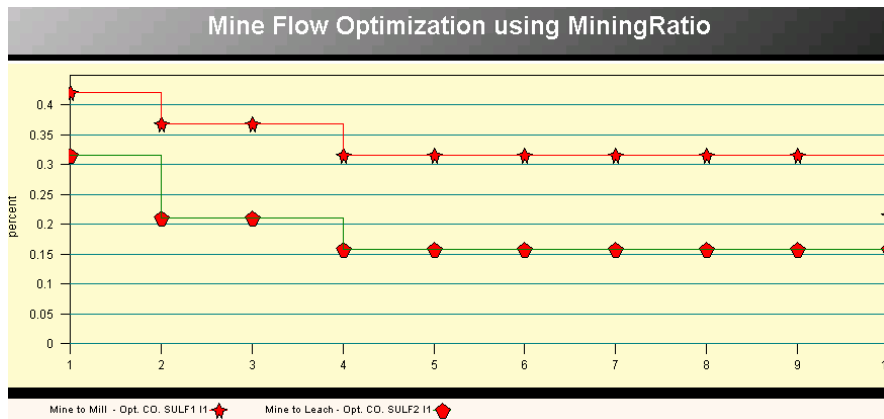


Рисунок 5.13. Результаты оптимизации бортовых содержаний условной меди для рудопотоков на ОФ и КВ.

Отметьте, что в результате дополнительной оптимизации производительности рудопотоков мы получили величину NPV = 136.5 млн долларов, что на 4 млн больше, чем в предыдущем расчете.

5.2.4 Несколько замечаний

Пакет программ NPV Scheduler – мощный набор инструментов, дающий в руки грамотного пользователя массу возможностей для получения действительно оптимального проекта или плана. Но для того, чтобы хорошо «играть» на этом инструменте надо знать, что он делает, где он может ошибиться, а что вообще не умеет делать. Поэтому специалист должен иметь понятия о целом ряде дисциплин: экономике, горном деле, геологии и технологии.

Пакет может использоваться для разных стадий планирования горных работ, поэтому каждый раз надо оценивать, подходит ли Ваша блочная модель для той или иной стадии. Первичная геологическая модель (на основе детальной разведки) будет идеально соответствовать календарному плану по годам отработки, создаваемому на стадии проектирования. Для месячного и недельно-суточного планирования больше подойдет модель с небольшими блоками по данным эксплоразведки.

В принципе, можно научиться использовать этот пакет и для подземных рудников, представляя, например, очистные забои в виде рудных складов...

Применяя эти программы всегда следует иметь в виду, что в них специально не вводятся капитальные затраты (это не предусмотрено используемыми теоретическими основами применяемых алгоритмов), поэтому, если это необходимо, их всегда можно ввести, как составляющие затраты по другим «легальным» статьям.

Если требуется, то можно вводить в программу реальные этапы отработки карьера (в виде поверхностей) и далее, минуя стадии оптимизации конечных контуров карьера и создания этапов, сразу переходить к календарному планированию и оптимизации рудопотоков.

Критерий оптимизации карьеров по величине доход (profit) (устанавливается при создании экономической модели) используется редко. Полученный, таким образом, карьер нельзя в будущем использовать для календарного планирования, т.к. там нужны производственные затраты.

Пакет непрерывно совершенствуется и развивается. Уже появилась программа, позволяющая оптимизировать рудопотоки, поступающие от нескольких горных предприятий, у каждого из которых имеется своя модель месторождения со своим прототипом и т.д.

5.3 Планирование в Датамайн

В системе Датамайн имеются мощные средства для планирования открытых и подземных горных работ. В отличие от NPV Scheduler, эта работа главным образом производится в Окне проектирования интерактивно, а состав и детали плана формирует сам пользователь, который может сразу же оценивать результаты своей работы.

Планирование производится на точной (с подъячейками) модели месторождения. Имеется 3 функции планирования:

- Интерактивное календарное планирование
- Имитация продвижения добычных забоев
- Оптимизация усреднения руды для первых двух функций

Первая часть позволяет пользователю интерактивно создавать план из намеченных к отработке блоков горной массы. Они могут быть «отработаны» в разные периоды времени и «отправлены» по многим направлениям использования (отвал породы, ОФ, КВ или рудный склад). При этом могут контролироваться поставленные цели: среднее содержание, себестоимость добычи, время работы оборудования и т.д. Вы можете также оптимизировать свой план по одному из выбранных критериев. Ниже будет подробно описан процесс планирования и приведен пример такого плана.

Вторая часть дает возможность пользователю имитировать продвижение контуров добычных забоев на заданное расстояние с автоматическим подсчетом всех характеристик «добытой» горной массы для данного периода времени.

Третья функция дополняет предыдущие тем, что оптимизирует (методом линейного программирования) состав смеси, поставляемой из разных забоев на переработку.

5.3.1 Календарное планирование

Этот модуль дает возможность пользователю интерактивно создавать последовательность извлекаемых блоков и автоматически их смешивать в такой пропорции, чтобы достигать поставленной цели. Блоки – это контуры или каркасы, представляющие собой объемы горной массы, оцененные по блочной модели, пробам или скважинам БВР. Соответствующие команды для оценки блоков:

- **EVALUATE –ONE STRING,**
- **EVALUATE – STRING PAIR,**
- **EVALUATE – ALL STRINGS** и
- **EVALUATE – WIREFRAME**

На рисунке 5.14 показана схема последовательности операций при создании календарного плана.

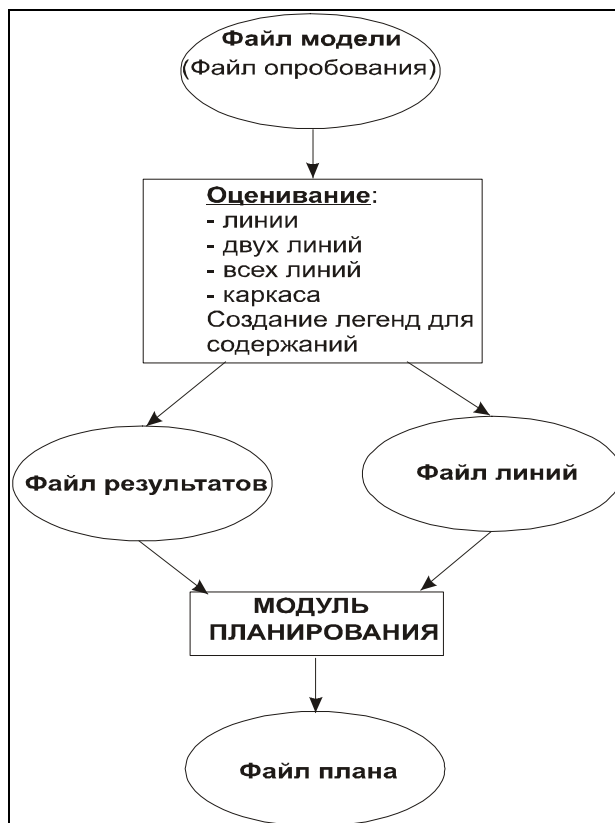


Рисунок 5.14. Схема создания плана в системе Датамайн.

Прежде всего, должен существовать файл блочной модели, по которой будет оцениваться каждый формируемый блок. Конечно, в принципе, можно выполнять оценку и по пробам, но такая оценка по точности будет уступать оценке по модели. Поэтому в большинстве случаев специалисты предпочитают работать с блочными моделями.

После загрузки модели создается легенда, определяющая классы руды, которые Вы хотите выделить в процессе планирования (Рис. 5.15). Например,

- Порода (Waste) - бурый
- Руда с низким содержанием (Low) - желтый
- Руда со средним содержанием (Marginal) - зеленый
- Руда с высоким содержанием (High) – синий
- Руда с очень высоким содержанием (Vhigh) - красный

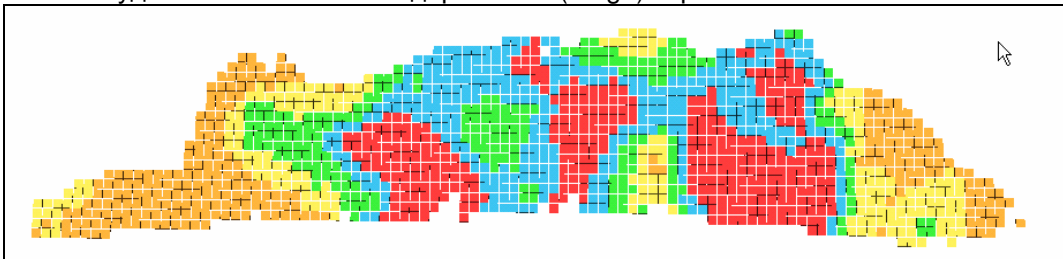


Рисунок 5.15. блочная модель участка месторождения.

Теперь надо создать контуры блоков руды, которые будут обрабатываться (рис.5.16). Это делается или с помощью команд NEW STRING или MAKE OUTLINES (для больших блоков).

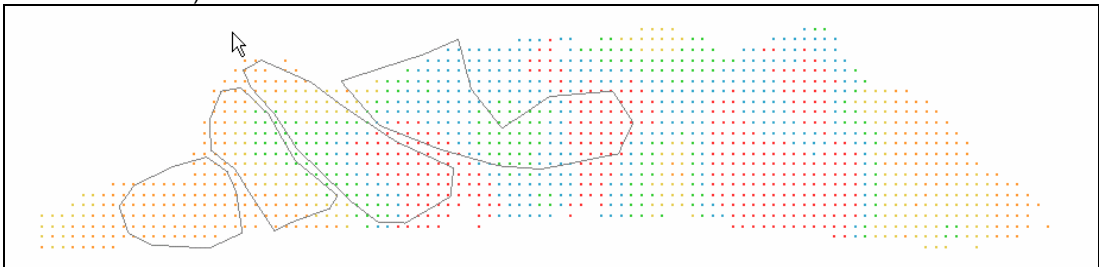


Рисунок 5.16. Контуры блоков, заданных одной линией. Модель для удобства представлена в виде облака точек.

Оценим полученные блоки с помощью команды **EVALUATE – ALL STRINGS** ми получим таблицу 5.4.

Таблица 5.4. Результаты оценки блоков (слева – направо)

Блок	Категория руды	Объем, м3	Тоннаж, т	Au, г/т
1	WASTE	170284.50	468282.31	4.04
1	LOW	0.00	0.00	0.00
1	MARGINAL	0.00	0.00	0.00
1	HIGH	0.00	0.00	0.00
1	VHIGH	0.00	0.00	0.00
2	WASTE	75425.89	207421.22	6.87
2	LOW	73053.62	200897.47	9.11
2	MARGINAL	45083.56	123979.78	10.73
2	HIGH	0.00	0.00	0.00
2	VHIGH	0.00	0.00	0.00
3	WASTE	26151.75	71917.31	6.80
3	LOW	51075.80	140458.44	8.95
3	MARGINAL	90558.95	249037.14	10.93

3	HIGH	45528.30	125202.82	13.01
3	VHIGH	98379.71	270544.19	16.01
4	WASTE	598.42	1645.66	7.24
4	LOW	13246.92	36429.02	9.33
4	MARGINAL	90598.53	249145.94	11.14
4	HIGH	152888.33	420442.84	12.76
4	VHIGH	110835.70	304798.19	14.96
Всего	WASTE	272460.56	749266.50	5.09
Всего	LOW	137376.33	377784.93	9.07
Всего	MARGINAL	226241.05	622162.86	10.97
Всего	HIGH	198416.63	545645.66	12.81
Всего	VHIGH	209215.41	575342.38	15.45

В файле результатов для каждого блока будет приведена характеристика всех категорий горной массы и в т.ч. – средние значения всех показателей, используемых в оценке модели.

Следующий шаг требует работы с экраном планирования (команда - SCHEDULING SCREEN).

Здесь с помощью специальной панели с меню планирования задаются параметры плана:

- Направления поставки горной массы из намеченных блоков. Здесь указывается имя объекта назначения горной массы (отвал, ОФ и т.д.), целевое поле и допустимый интервал для этого поля.
- Аннотация для блоков, с помощью которой Вы можете разместить на каждом блоке информацию о проценте извлечения его запасов, времени начала и конца отработки. Необходимо указать в ответ на подсказку программы: имя поля для аннотации и положение ее относительно центра блока.
- Формулы для расчета показателей плана. Например, здесь можно указать, что тоннаж будет рассчитываться как произведение объема и плотности породы, а запасы золота – как произведение содержания на тоннаж.
- Можно по желанию классифицировать созданные Вами категории горной массы по другому признаку, например на руду и породу.
- Способ представления числовых переменных. Вы можете задать здесь для каждой переменной число десятичных знаков и степень округления (10,100,1000 и т.д.)
- Условие взаимозависимости между блоками. Часто бывает невозможно извлечь какой-то блок, пока не будет извлечен вышележащий и т.п. Вы можете создать целую последовательность взаимозависимых блоков, указав курсором те периметры, которые должны быть отработаны только последовательно. В центре блоков, отработка которых допускается, будет расположена зеленая точка, а в запрещенных блоках – красная стрелка, указывающая на предыдущий блок последовательности (рис.5.20). Можно создать много таких последовательностей, которые сохраняются в особом файле.

Теперь Вы готовы начать планирование. Чтобы быстрее освоить эту процедуру, созданы 2 специальных макроса (blnnddemo.mas и blnnddemo.cl), которые имеются на CD с документацией по системе и содержат учебный пример календарного планирования. Он рассматривает возможности сразу 2-х модулей: календарного планирования и усреднения руды. Пример включает несколько горных блоков, поверхностей движущихся забоев и 2 тоннажных зоны (или рудных склада).

Итак, запустим этот макрос, и он создаст для нас набор необходимых файлов для планирования:

- 1: SMODEL – блочная модель с 1384 записями.
- 2: STRINGS – файл линий с 328 записями.
- 3: RESULTS – файл результатов с 130 записями.

4: SCHEDULE – файл плана - пустой.

5: DEPEND – файл взаимозависимостей с 19 записями.

Запустите Датамайн и макро blnndemo.cl. На экране Вы увидите блочную модель (рис.5.17), раскрашенную в соответствии с легендой на основе поля G/T. Все созданные периметры были предварительно оценены, а результаты находятся в файле RESULTS.

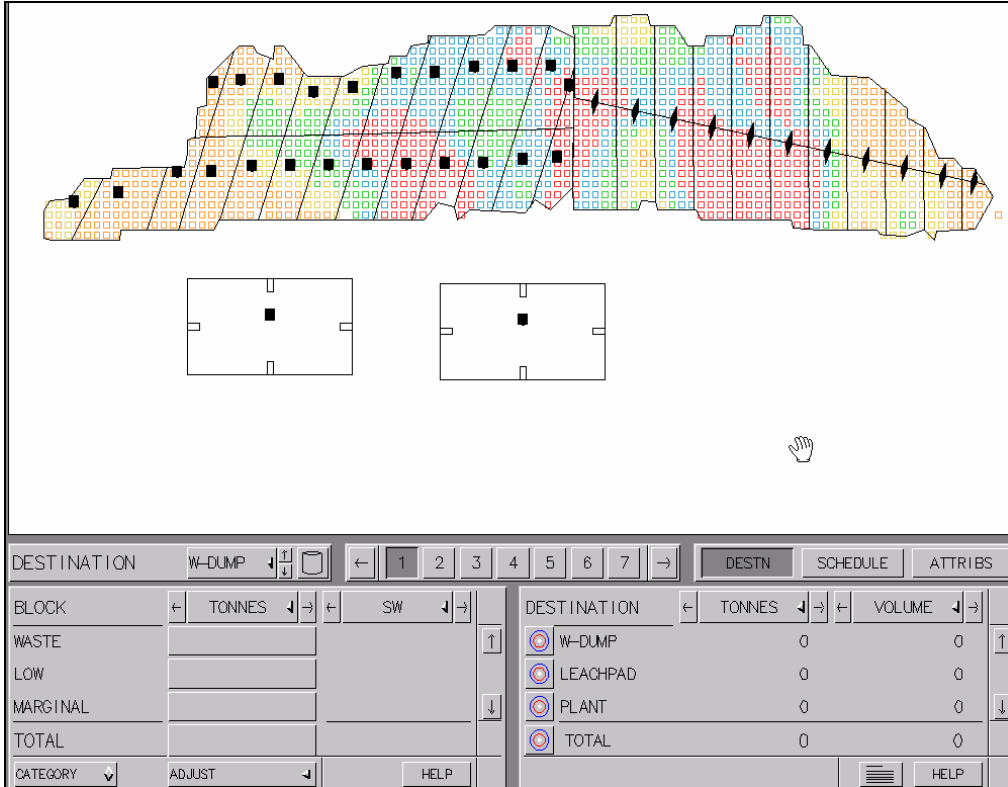


Рисунок 5.17. Вид экрана планирования после запуска макроса blnndemo.cl.

Имеется 3 сорта контуров, которые будут «отрабатываться» по разным алгоритмам:

- Блоки (вверху, слева), с помощью которых в основном ведется планирование
- Добычные забои (вверху, справа), которые подробно будут рассматриваться в следующем разделе
- Тоннажные зоны (внизу), или рудные склады

Здесь также рассматриваются 5 категорий горной массы: WASTE, LOW, MARGINAL, HIGH и VHIGH.


В нижней части экрана можно увидеть полную характеристику каждого оконтуренного периметром блока (вверху слева), если выбрать команду BLOCK - SELECT. Формат всех показываемых значений контролируется командой SET - NUMBER FORMAT.

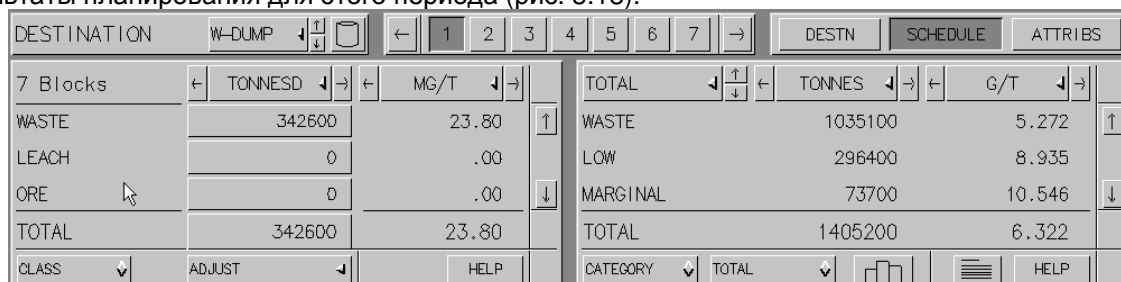
В верхней части панели планирования (рис. 5.18) Вы можете увидеть кнопки с цифрами от 1 до 7 (число периодов по умолчанию – 30). Это периоды планирования. Нажата кнопка 1, что означает – этот период является текущим, и любая отмеченная в таком положении порция материала будет иметь в поле TIMENO файла плана величину 1.

Чтобы выбрать только часть блока, то перед помещением его содержимого в план нажмите кнопку ADJUST и введите требуемый тоннаж для этого блока.

Возможно направлять разные категории горной массы по разным назначениям. В этом примере используются: W-DUMP (Отвал породы), LEACHPAD (Кучное выщелачивание) и PLANT (Фабрика). Назначение каждого класса руды можно заранее указать с помощью команды CLASSIFY CATEGORIES (Например, для WASTE, LOW записать направление W-DUMP, для MARGINAL – LEACHPAD, а для HIGH и VHIGH – PLANT). Когда Вы выберете блок (блоки или часть блока) и затем укажете на

требуемую категорию горной массы или класс (можно выбрать и блок целиком, чтобы все его содержимое было автоматически разнесено по пунктам назначения), а затем



нажмете кнопку  на верхней панели, то увидите в правой части текущие результаты планирования для этого периода (рис. 5.18).



7 Blocks		TONNESD	MG/T	TOTAL		TONNES	G/T
WASTE		342600	23.80	WASTE		1035100	5.272
LEACH		0	.00	LOW		296400	8.935
ORE		0	.00	MARGINAL		73700	10.546
TOTAL		342600	23.80	TOTAL		1405200	6.322

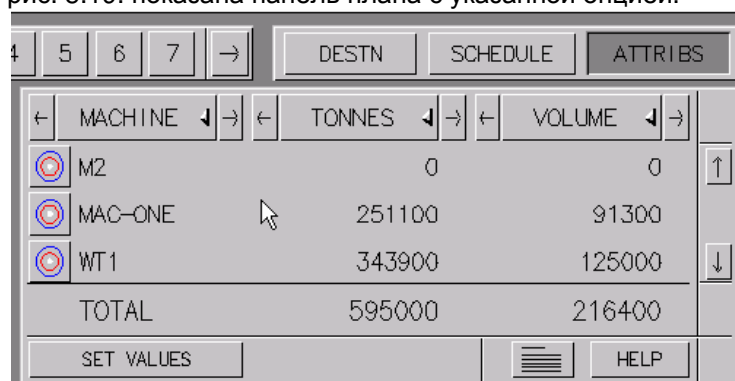
Рисунок 5.18. Результаты планирования для периода 1.

С помощью стрелок можно получить любые сочетания для Вашего плана, а также

его графическое представление или табличную форму (кнопки  ).

Потренировавшись, Вы сможете быстро сформировать любой вариант нужного Вам плана.

Третья опция для представления плана (кроме DESTN и SCHEDULE) – показ с помощью величин атрибут (ATTRIBS). В данном примере перед планированием были созданы 2 атрибута: MACHINE (каждому блоку были присвоены значения марок выемочной техники: M2, MAC-ONE или WT1) и ZONE (значения рудных зон для блоков: BZ1 или BZ2). На рис. 5.19. показана панель плана с указанной опцией.



MACHINE	TONNES	VOLUME
M2	0	0
MAC-ONE	251100	91300
WT1	343900	125000
TOTAL	595000	216400

Рисунок 5.19. План с опцией ATTRIBS.

Вы могли заметить, что при некоторых Ваших манипуляциях с планом его итоговые цифры становятся красными. Это означает, что Вы превысили (или не достигли) некоторые установленные в плане ограничения по какому-то назначению горной массы или атрибуте. Для удаления назначенных ограничений введите '-' в графе «минимальное значение» и '+' - в графе «максимальное значение». Для одной переменной ограничение может быть установлено также только для минимума или только для максимума.

В данном примере, когда тоннаж руды на завод не находится в пределах 95-105 т, а содержание – в интервале 13.1-13.6, то соответствующие цифры плана становятся красными. Это означает, что Вам необходимо добавить (или удалить) часть руды из данного назначения, чтобы установленные Вами ограничения были выполнены.

Цель может быть также установлена для любой текстовой атрибуты в соответствующей опции плана (рис. 5.19).

Тоннажные зоны – это блоки руды, для которых параметры оценки вводятся вручную, а не с помощью команд оценивания по блочной модели. Эти данные вводятся в файл результатов в таком же формате, как и для обычных блоков. Они используются для представления известных ресурсов материала, например, рудных складов, и изображаются прямоугольниками, соответствующими разным секторам склада. Создайте на экране прямоугольный контур и выберите команду «Define Tonnage Zone»

в меню «Face Advance – Setup». Затем в ответ на запрос программы Вы должны будете внести данные о тоннаже и содержании для этой зоны.

В этом примере имеется 2 таких зоны (внизу). Левая зона содержит 40 т т породы, а правая – 50 т т руды с высоким содержанием (HIGH). Перед тем, как выбрать тоннажную зону в качестве источника материала для планирования необходимо указать для нее производительность (в данном периоде) с помощью команды BLOCK - PRODUCTION RATE. Далее с тоннажными зонами обращаются также, как с блоками, имея в виду, что для каждого периода времени из них будет использовано только установленное количество материала.

Добычные забои (Mining faces) – могут быть передвинуты по мере отработки запасов, оценены по блочной модели и включены в план. Но итоги такой оценки не помещаются в файл результатов. Больше информации о специфике этого вида планирования Вы найдете в следующем разделе.

Смешивание и оптимизация извлекаемых блоков производится с помощью ручного выбора последовательности их отработки. Можно задать цели (тоннаж, содержание) для назначений руды и атрибут. Программа предлагает очень полезный инструмент (линейное программирование) для расчета количества материала из каждого блока, чтобы выдержать установленные ограничения.

Блоки для усреднения выбираются обычным способом, затем включается команда BLEND SELECTED BLOCKS, которая предлагает возможные решения. Если таковые находятся, то рассчитывается пропорция руды из каждого блока и автоматически вставляется в план текущего периода. Если решений не существует, то Вы получите предупреждение и некоторые рекомендации, как достичь решения.

Попробуйте выбрать все блоки, а затем – команду BLEND SELECTED BLOCKS и посмотрите результаты (табл.5.5). Макросом были предварительно установлены ограничения:

- W-DUMP (отвал): минимум 100 000 т
- PLANT (завод): Мин-Макс.: 95,000 - 105,000 т, Au, г/т% 13.1 - 13.6
- Атрибута BZ1: Минимум 45 000 т
- Атрибута BZ2: Минимум 45 000 т

Таблица 5.5. Результаты усреднения руды, поставляемой на завод.

Период	Отвал породы		Кучное выщелачивание		Завод	
	Тоннаж, т	Au, г/т	Тоннаж, т	Au, г/т	Тоннаж, т	Au, г/т
1	100000	3.63	32292.19	11.22	95000	13.1
2	100000	6.02	24942.38	11.67	95000	13.1
3	100000	7.15	17120.42	11.21	95000	13.1
4	100000	7.16	44510.5	11.11	95000	13.6
5	100000	5.21	14076.02	11.41	95000	13.6
6	100000	5.21	2044.99	11.3	95000	13.6
7	100000	3.63	48443.05	11.08	95000	13.6
8	100000	8.73	86228.58	10.84	95000	13.6
9	100000	7.98	16300.26	11.6	95000	13.6
10	100000	5.61	12686.07	11.03	95000	13.6
11	100000	7.16	32497.65	10.87	95000	13.6
12	100000	8.03	97984.05	11.03	95000	13.6
13	100000	5.72	54796.64	10.97	95000	13.6
14	100000	8.14	91860.66	10.89	95000	13.6
15	100000	7.97	91499.42	10.83	95000	13.6
16	100000	8.58	87078.64	10.96	95000	13.6
17	100000	8.12	94511.98	10.95	95000	13.6
18	100000	7.9	29160.89	11.12	95000	13.6
19	100000	7.04	69422.9	10.89	95000	13.6

Из таблицы видно, что программа смогла выдержать установленные ограничения только в течение 19 периодов.

Часто невозможно извлечь материал из каждого известного блока по различным причинам: блок еще не вскрыт, отсутствует рабочая площадка и т.п. В таких ситуациях можно задать программе условия, которые надо выполнить, чтобы начать отработку того или иного блока. В данном примере уже введены последовательности блоков, которые программа должна выдерживать (рис. 5.20). Посмотреть их и использовать можно командами: `DEPENDENCIES – DISPLAY` и `USE –DEPENDENCIES`.

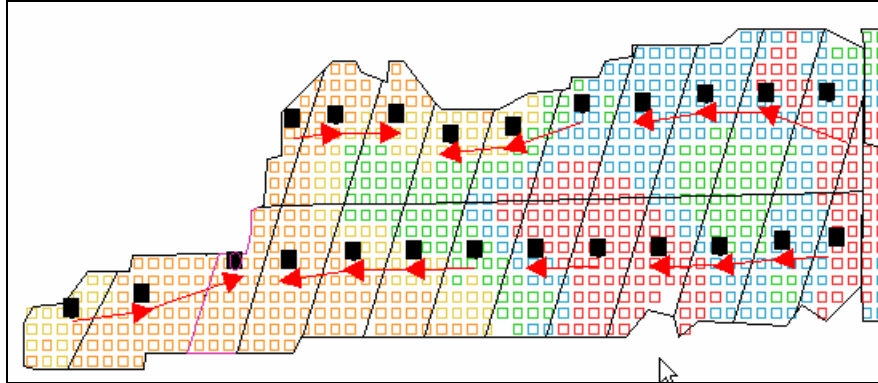


Рисунок 5.20. Последовательность извлечения блоков в примере.

Вы легко сможете создать новую последовательность и удалить существующую с помощью соответствующих команд меню.

Селективная отработка (Selective Mining) блоков может быть использована при оптимизации усреднения добываемой руды. Эта возможность включается командой `USE - SELECTIVE MINING`. В данном примере она выключена. Этот режим предполагает, что из каждого блока берется одинаковая пропорция каждой категории горной массы (например, 20% для 5-и категорий). Когда опция включена, то из каждого блока берется произвольная доля каждой категории для того, чтобы получить требуемое решение. Этот путь быстрее ведет к успеху, но надо помнить, что в этом случае должна существовать техническая возможность тонкого разделения руды в блоке.

Можно также включать и добычные забои в программу усреднения. Это делается командой `USE – FACE ADVANCE`, после использования которой Вы сможете использовать в формируемых смесях материал из движущихся добычных забоев. Эта возможность позволяет Вам очень гибко оперировать ресурсами и в большинстве случаев получать приемлемые решения.

Нет никаких проблем, чтобы использовать и тоннажные зоны в создании оптимального плана. Они включаются в план так же как блоки.

Кроме задания ограничений для назначений руды и атрибут, Вы можете установить дополнительный критерий оптимизации, например, - максимизировать тоннаж руды из зоны 2. В этом случае Вы должны установить для атрибута `ZONE BZ2` одинаковые значения минимума и максимума в виде '+'. Аналогично, для минимизации в обеих полях таблицы используется символ '-'. Отметьте, что для одного расчета Вы можете использовать только один критерий оптимизации. Вид экрана в процессе формирования оптимального плана показан на рис. 5.21.

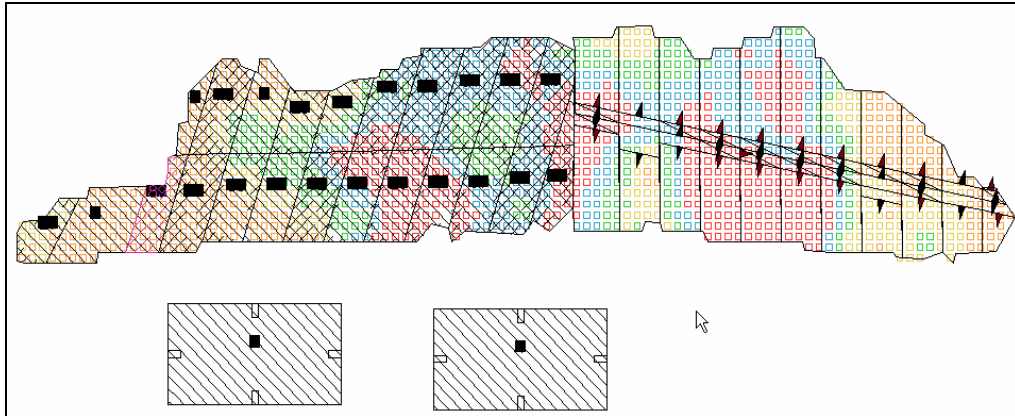


Рисунок 5.21. Вид графического экрана в процессе планирования.

5.3.2 Автоматическое перемещение добычных забоев

Эта технология позволит Вам имитировать продвижение добычных забоев с заданным темпом и поэтапно оценивать результаты этого продвижения. Как и предыдущая методология, данная возможность применима как для открытых, так и для подземных рудников. Она будет рассмотрена также на достаточно простом примере. Детальное описание всех используемых при этом команд приведено в документации по этому модулю (Face Advance).

Этот модуль может быть применен в большом количестве ситуаций. Сюда можно включить имитацию продвижения забоев складов, отвалов и т.д., а также использовать эту технологию в разных видах планов: от краткосрочных до перспективных. Сначала создаются контуры выемочных блоков с отрезками, изображающими линии забоев (их может быть несколько на блок). Забой может состоять также из нескольких отрезков. Каждому забою назначается производительность. После продвижения линии забоя в процессе планирования каждый раз создаются 2 новых периметра: отработанная и неотработанная части блока. Первый периметр оценивается по блочной модели, а итоги записываются в файл результатов.

Некоторые особенности модуля:

- Автоматическая оценка после любых продвижений забоя
- Автоматическое продвижение забоев при изменении периода планирования
- Остановка продвижения любого забоя в любое время при необходимости (остановка оборудования, выходной и т.п.)
- Возможность изменять скорости продвижения забоев по периодам планирования
- Забои двигаются перпендикулярно к начальной линии или в направлении, параллельном какой-то стороне «родительского» периметра
- Продвижение забоев происходит на заданное расстояние или с учетом заданного тоннажа
- Можно отменять сделанные операции
- С помощью аннотации на экране можно контролировать период и процент отработки блока
- Можно «отрабатывать» один блок в течение многих периодов
- Индивидуальные параметры блоков легко устанавливаются и редактируются
- Все результаты планирования сохраняются в специальных файлах
- Можно задавать переменную календаря.

Дальнейшее изложение производится на основе специального примера, который запускается макросом famdemo.cl. В созданной в предыдущем примере базе данных имеется файл линий FAMSTRG, содержащий 165 записей. После того, как макрос отработал, на экране появится следующая картина (рис. 5.22).

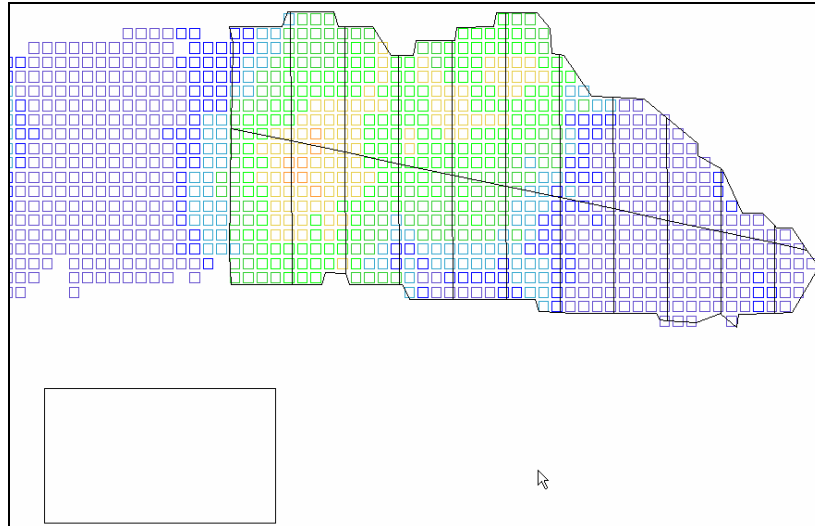


Рисунок 5.22. начальный экран примера.

Длина каждого оконтуренного блока примерно 200 м. Для удобства размер символов точек линий установлен равным 0.

Перед планированием с помощью команды SET – CALENDAR обычно задают календарь, где устанавливают число плановых периодов времени и продолжительность каждого периода в единицах времени. Например, для задания года введите 12 периодов, продолжительностью 4 недели каждый и 1 период, продолжительностью 3 недели:

```
Enter number of calendar periods ..... [ 12.0 ] 12
Enter number of time units per period ... [ 1.0 ] 4
Continue with more calendar data? .(Y/N) [ N ] Y
Enter number of calendar periods ..... [ 12.0 ] 1
Enter number of time units per period ... [ 1.0 ] 3
```

Для каждого периода Вы должны задать расстояние продвижения забоев. Необходимо также (командой FACE – SELECT) выбрать активные забои, которые будут отмечены треугольником (рис.5.23). Острый угол треугольника показывает направление продвижения забоя. Вместе с направлением задается скорость продвижения забоя в единицу времени (по умолчанию – 10 м).

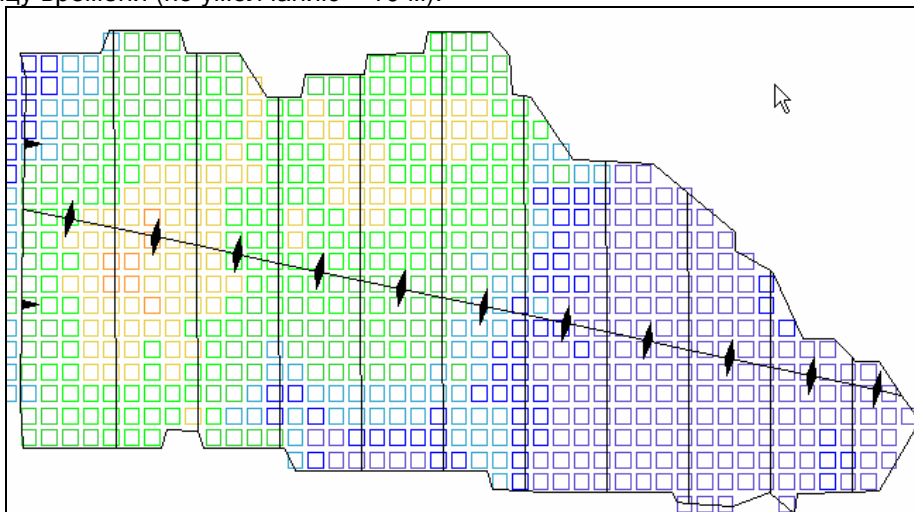


Рисунок 5.23. Задание активных забоев.

Номер забоя будет автоматически присвоен всем вершинам данного периметра. Кроме того, периметру будет присвоен уникальный номер в поле GROUPID. Эти изменения будут сохранены в памяти только тогда, когда Вы выберете команду WRITE ALL STRINGS. На рис. 5.24 показан пример продвижения забоев на заданное

количество периодов с односторонней и 2-х сторонней обработкой. Каждый раз после единичного продвижения программа создает в каждом блоке 2 периметра: отработанный и неотработанный. Первый периметр оценивается по блочной модели. Для точной оценки таких продвижений Вы должны будете задать расстояния проецирования Ваших периметров вниз и вверх от плоскости экрана, чтобы создать каркас пространственного объема.

Расстояние проецирования периметров может быть изменено в любое время командой SET –EVALUATION.

Кроме команд MINE – ONE PERIOD (продвижение на один период) и MINE – MULTIPLE PERIODS (продвижение на несколько периодов) Вы можете использовать

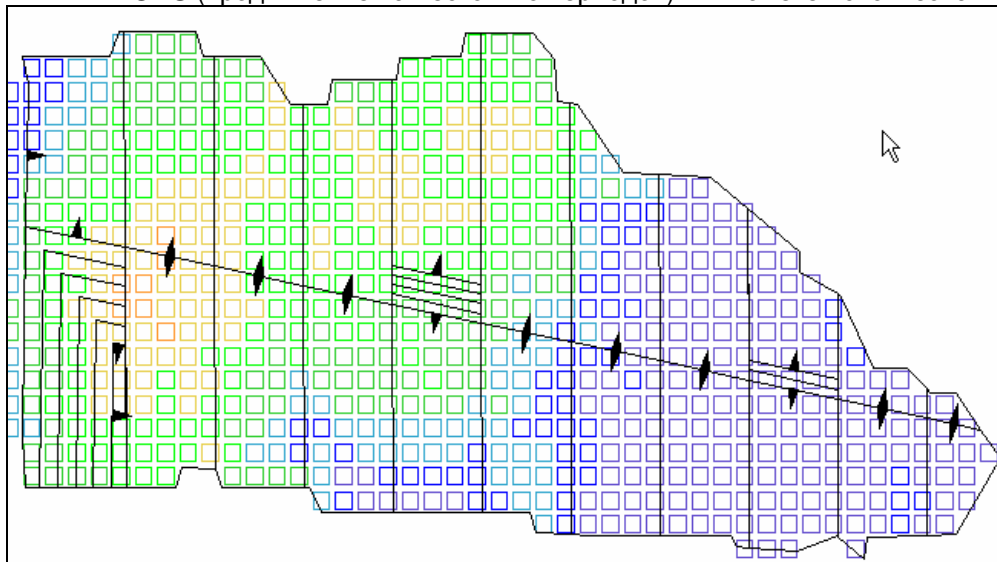


Рисунок 5.24. Пример продвижения выбранных забоев

автоматический режим (команда AUTO PROGRESS). В этом случае все забои будут продвинуты на указанное расстояние, когда Вы перейдете к следующему периоду планирования (команда CHANGE PERIOD).

Возможно отменять выполненные в окне планирования действия командой FACE – UNDO MINING.

Для того, чтобы двигать забои строго перпендикулярно стороне добычного блока с помощью опции SET –ADVANCE METHOD (рис. 5.25).

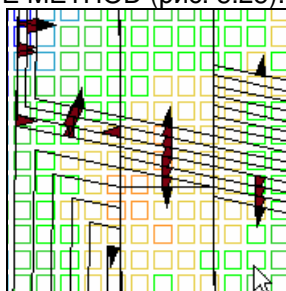


Рисунок 5.25. Пример разворота плоскости забоя перпендикулярно стенке блока

Чтобы смоделировать периоды, когда забои не будут в работе (например, из-за обслуживания оборудования и т.п.) используется команда FACE - STOP MINING. Она позволяет остановить продвижение отдельных забоев и во же время выбирать и двигать другие, активные. Неактивные забои обозначаются полым треугольником, а не заполненным как активные.

Вы можете использовать в качестве движущихся забоев и тоннажные зоны, которые представляют собой объемы с известными содержаниями и тоннажем. Они могут быть представлены периметрами любой формы, размещаемыми в любом месте экрана. Они вводятся в процесс командой DEFINE TONNAGE ZONE. Далее Вы должны будете выбрать периметр, тоннаж, содержание и файл результатов для тоннажной зоны.

Вначале зона остается неактивной и показывается в виде периметра. Вы можете активизировать ее, выбрав активную (передвигающуюся) сторону командой FACE – SELECT и указав обрабатываемый тоннаж в единицу времени. Далее Вы можете двигать ее забой также как другие. Отработанное пространство будет отмечаться штриховкой (рис. 5.26).



Рисунок 5.26. Вид обрабатываемой тоннажной зоны

Все обрабатываемые объемы могут быть аннотированы с помощью не более чем 3-х полей и команды SET –ANNOTATION. Надписи помещаются в выбранной позиции внутри обрабатываемого блока или тоннажной зоны.

Производительность обработки блоков и зон можно менять командой FACE – PRODUCTION RATE. Чтобы изменить производительность в уже отработанных блоках, выемка из них должна быть отменена и возобновлена после изменения параметра скорости продвижения.

Продолжение продвижения остановленных забоев можно командой FACE – SELECT и т.д. Если Вы хотите сразу продвинуть забой на заданное количество шагов (периодов), то следует пользоваться командой MINE – MULTIPLE PERIODS.

Выполняя вышеописанные операции можно достаточно легко и быстро составить требуемый план.

5.4 Понятие о стратегическом горном планировании

В последние годы вопросам планирования горных работ уделяется на Западе большое внимание. Это связано, прежде всего, с неустойчивой работой многих горных производств из-за резких колебаний цен на металлы, топливо, горное оборудование. Большое значение имеет существенный рост объема удельных капвложений в горные проекты, который значительно увеличивает их рискованность.

Поэтому все чаще и чаще в печати появляются статьи, посвященные необходимости сближения финансового и технического планирования горных работ, когда основной упор прежде всего делается на соблюдении интересов акционеров горной компании.

Горное производство имеет серьезную специфику, определяемую следующими особенностями:

- Минеральные ресурсы являются единственным богатством горной компании
- Пожалуй, единственным резервом компании, позволяющим прибыльно вести дела в жестких экономических условиях, является грамотное планирование горных работ за счет 2-х основных рычагов:
 - Оптимальной последовательности извлечения горной массы и
 - Гибкого управления основных контрольных параметров – бортовых содержаний компонентов в действующей системе рудопотоков компании

Многие горные предприятия сейчас активно разрабатывают концепцию управления своим единственным богатством – систему Управления Минеральными Ресурсами (УМР), краткая характеристика которой приведена ниже.

5.4.1 Стратегия бизнеса горной компании

Управление минеральными ресурсами предназначено для того, чтобы сделать их эксплуатацию более прибыльным делом [Camus J.P.]. Оно объединяет

существующие совместно знания в управлении и в горном деле. Управление здесь выступает в качестве средства для увеличения отдачи от знаний. Горное дело играет роль средства извлечения оцененного содержимого минерализованных зон наиболее эффективным и целесообразным путем.

На рис. 5.27 показана концептуальная модель Горного бизнеса. Она включает в себя составляющие из различных школ управления: от классического подхода до появившихся недавно теорий. Модель состоит из главных составляющих окружения бизнеса:

- Технологии
- Рыночных условий
- Минеральных ресурсов и
- Юридической основы

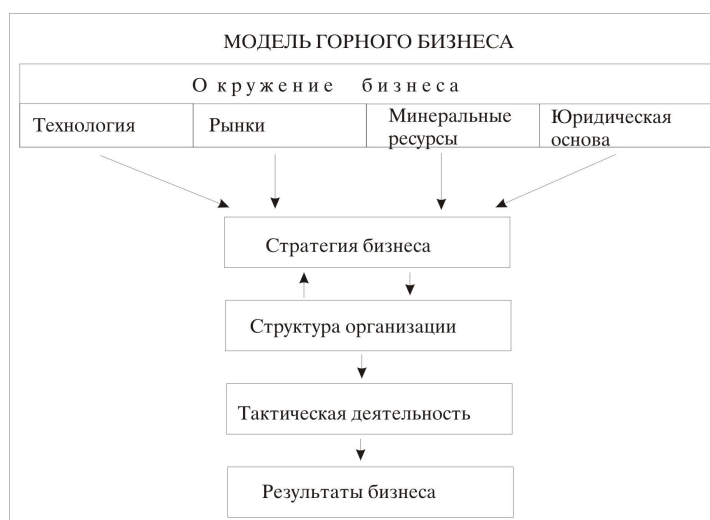


Рисунок 5.27. Схема модели горного бизнеса

Результат бизнеса – это зависимая переменная. Она определяется действиями, получающимися в результате стратегии бизнеса (СБ) и организации производства (ОП), находящимися под контролем горной компании. Стратегия бизнеса определяет цели организации и то, как компания намерена реагировать на ситуацию, сложившуюся в деловом мире. К организации производства относятся такие компоненты как ее структура, управление трудовыми ресурсами и т.д. Главной проблемой является объединение этих 2-х корневых переменных. Утверждается, что оба аспекта должны быть одинаковы по важности для компании, чтобы с большей вероятностью достичь своих целей. Действительно, рассогласование этих переменных является основной причиной нарушения нормальной работы горного производства.

В стратегии бизнеса прежде всего выступает цель организации, которая затем объединяется с возможностями минеральных ресурсов. Эта связь проливает свет на основные экономические принципы функционирования горной промышленности. Эти закономерности затем объединяются с техническими возможностями и составляют стратегию добычи руды.

Цели организации. Основной предпосылкой этого подхода является то, что организация добычи начинается с того момента, когда юридическое лицо, имеющее права на месторождение, принимает решение об его эксплуатации. Это решение предполагает, что выгодней сейчас отработать запасы, чем продать права на них или сохранить их на будущее. В качестве результата такого решения собственник надеется получить прибыль. Таким образом, чтобы работать на конкурентном рынке, главной целью должно быть – получение прибыли, иначе горная компания обанкротится и потеряет права на месторождение.

Следующая цель – максимизировать экономическую величину минеральных ресурсов. В горном деле это возможно только тогда, когда поступающая прибыль и оценка минерального сырья на перспективу максимизируются одновременно.

Горная экономика. Минеральные ресурсы обычно предполагаются невозобновимыми. Это означает, что месторождение содержит ограниченное количество запасов, которое после извлечения не может быть восстановлено.

Поэтому создание оптимальной стратегии добычи становится, динамической задачей. Это относится к последовательности и темпу извлечения минеральных запасов. На практике это означает управление специфическими техническими переменными, которые важны для компании и, следовательно, – для ее экономики (технология добычи и переработки руды, производительность, последовательность выемки, бортовые содержания, которые определяют рудную часть месторождения).

Время – важная величина в анализе, т.к. единица запасов, добытая сегодня, означает, что на завтра их осталось меньше. Это означает, что каждый период отличается, т.к. размер остающихся запасов изменяется по мере отработки месторождения.

Горная экономика определяет способ, которым месторождение должно быть отработано, чтобы максимизировать величину регулярного (ежегодного) дохода, а также перспективную величину стоимости остающихся в недрах запасов. Указанные величины рассчитываются с помощью потока наличности за минусом возможных затрат. Эти принципы оптимизации являются всеобщими и могут быть использованы в любой отрасли, где размеры имущества конечны. В горном деле они должны быть объединены со специфическими характеристиками минерального сырья.

5.4.2 Стратегическое планирование горных работ

С точки зрения УМР важной чертой минеральных ресурсов является изменчивость и распределение оцениваемых минералов в их границах. Поэтому, в целом добыча может быть рассмотрена как управление 2-мя основными взаимно переплетенными процессами: способ и последовательность извлечения ресурсов из недр, а также – отделение оцененного содержания из горной массы.

Горное планирование – основа этого процесса. Оно состоит из 2-х основных составляющих: стратегического и тактического планирования. Первое планирование имеет дело с контролируруемыми факторами, которые в основном определяют ценность минеральных ресурсов. Второе связано с эксплуатационными задачами, которые позволяют реально достичь поставленной цели. Оба типа планирования работают совместно. В то время, как первое – формирует стратегию отработки, второе – преобразует ее в конкретные цели производства, которые в свою очередь (с помощью обратной связи) воздействуют на стратегию.

Важной составляющей стратегического планирования является разведка минеральных ресурсов. Другая важная задача – определение и управление пятью переменными:

- Метод (система) отработки запасов
- Технология переработки руды
- Масштаб (производительность) производства
- Последовательность извлечения запасов
- Бортовые содержания для всего цикла до получения готовой продукции

Эти параметры взаимно переплетены и не могут рассматриваться изолированно. Кроме того, все они должны определяться с учетом возможных затрат, упомянутых ранее. На рис. 5.26 показана модель, объединяющая все рассмотренные стратегии планирования.

Т.к. управление этими переменными носит динамический характер, стратегическое планирование – действительно непрерывный процесс. Он должен продолжаться в течение всей жизни компании, но имеет специфику на стадиях разведки и эксплуатации месторождения. Продуктом его является план отработки всех запасов, который отражает момент начала работы и изменение тоннажа и содержания в течение всего срока отработки.

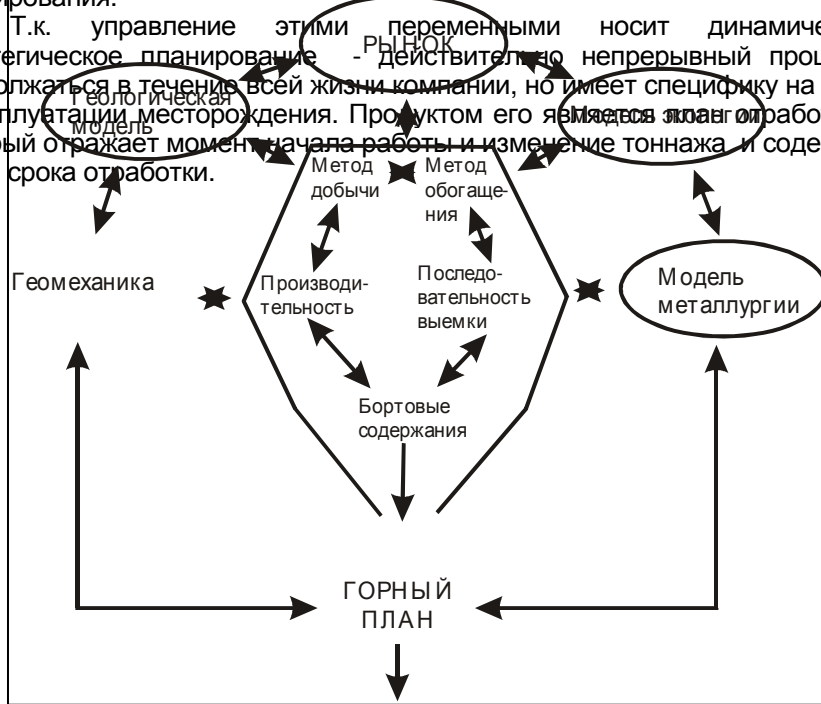


Рисунок 5.28. Схема процесса стратегического планирования

Этот перспективный план является критическим для ТЭО (feasibility study), т.к. он отражает стадии развития и в конечном итоге – ценность всего проекта. На стадиях производства указанные переменные должны периодически (в рамках стратегического планирования) пересматриваться и по мере необходимости изменять свои параметры. Например, бортовые содержания должны по возможности немедленно корректироваться при изменении цен на металлы и изменении геологической ситуации на месторождении. Другие параметры должны также быть перенастроены, т.к. информация о месторождении увеличивается, а рыночные условия – изменяются. Эти переменные, ранжированные по степени гибкости: последовательность извлечения запасов, методы добычи и переработки руды, производительность рудника.

До этой точки УМР было сфокусировано на стратегии бизнеса, ядром которого является УМР. Но он может оказаться трудным, даже невозможным, когда надлежущим образом не настроена организация производства.

Проект организации труда и управления имеет большое значение в достижении целей компании. Он должен хорошо сочетаться со стратегией бизнеса по крайней мере в 4-х аспектах: организационной структуре, системе поощрений, системе контроля деятельности, а также в методах отбора и обучения персонала.

Традиционно, горная компания – это гибридная организация. Она состоит из ряда функциональных областей, выполняющих технические действия, и отдельного штата для управления персоналом и финансами. В этой структуре горное планирование часто выполняется с помощью технических подъячек, которые неформально взаимодействуют с другими (нетехническими) единицами.

Чтобы выполнять рассмотренные выше стратегические задачи необходимо создать специальную единицу, работающую в верхнем слое традиционной структуры. Такая структура является адаптивной, часто встречающейся в консультационных компаниях, где опытные профессионалы имеют большую самостоятельность и небольшой контроль за своей работой.

Доказательство в пользу такой структуры основано на так называемом законе планирования Грешама [Samus], который утверждает, что текущая (повседневная) или эксплуатационная деятельность всегда в конце концов вытесняет стратегическую. Поэтому предлагаемая структура – попытка выделить в особую структуру особые важные критические задачи, которые обычно упускаются в горных компаниях.

Важнейшая задача этой новой единицы – осуществлять стратегическое планирование и контролировать выполнение этих планов. Эта задача должна выполняться в соответствии с корпоративными целями, существующими

производственными возможностями и доступными ресурсами. Чтобы гарантировать легкое функционирование этой группы, ее работа должна контролироваться постоянной комиссией во главе с высшим руководством, включая руководителей функциональных единиц и других уместных должностных лиц.

Такая организационная форма помогает избежать недостатков, свойственных чисто функциональной группировке, которая неспособна эффективно решать комплексные проблемы координации, оценки деятельности и формирования политики. Кроме того, она также гасит проблемы разделенных групп. Это – недостаток способности объединения технических аспектов, не всеобщих, но свойственных горному производству. Фактически такая форма организации использует преимущества обеих форм группирования, т.к. она использует функциональную группировку для решения технических проблем, требующих специализации и разделенную группировку – для управления взаимодействием подразделений.

5.4.3 Программное обеспечение для стратегического планирования

Сейчас в мире предлагается несколько пакетов программ для совмещенного технического и финансового планирования. Одной из таких программ можно считать описанный выше пакет NPV Scheduler, который производит оптимизацию многих вариантов технических решений по критерию максимума NPV, который является одним из главных обобщающих финансовых показателей работы горной компании.

В первом разделе была также упомянута компания RUNGE, которая разработала и постоянно совершенствует набор мощных программ для планирования горных работ, составления и контроля бюджета компании. Одним из важных направлений работы этой компании является консультации предприятий в области стратегического планирования. Интересно также, что сейчас обучение персонала горных компаний в области новых технологий планирования становится все более популярным и прибыльным делом.

Основной пакет компании - XPAC за последнее время значительно увеличил свои возможности. Первое направление – это интеграция с анализом геологической и геомеханической информации для обоснования наиболее выгодных для отработки участков месторождений и последующей оптимизации финансовых возможностей проекта. С этой целью создаются интерфейсы со всеми наиболее распространенными в мире горными системами.

Конечно, эта работа может быть выполнена и в Excel, но потребует соответствующего времени и специфической подготовки. XPAC заметно ускоряет этот процесс. Финансовые характеристики проекта – сейчас важная составляющая начальной стадии планирования и горный планировщик теперь может легко оценить воздействие изменений в горном проекте.

Другое преимущество XPAC – непосредственная связь с пакетом финансовой оценки XERAS в процессе календарного планирования, что устраняет необходимость создавать отдельные отчеты, переформатировать и импортировать их в специальные программы финансового моделирования. Объединение XPAC/XERAS позволяет быстро и легко получить финансовые последствия любых изменений горных параметров.

Окончательной фазой процесса планирования является финансовая оценка плана. Только XPAC может обеспечить непосредственную помощь, подключая для этого финансовый пакет XERAS для расчета затрат, дохода и других параметров.

Какой пакет лучше? Ответ на этот вопрос зависит от индивидуальных запросов пользователей, цены программ и количества лицензий. Гибельная ситуация может быть связана с тем, что Вы нашли требуемый пакет, но через некоторое время эта компания закрылась или прекратила поддержку программ. Если мы игнорируем стоимость программ и их поддержку, то окажется, что XPAC (с необязательным финансовым пакетом XERAS) сегодня лидирует в области дружелюбности интерфейса и мощности.

Основные возможности пакета XPAC AutoScheduler:

Программа автоматически создает календарный план для соблюдения установленных пользователем требований к тоннажу и содержанию компонентов, в соответствии с имеющимися ограничениями на горные работы. Это идеальный анализер для изучения долгосрочных результатов альтернативных стратегий в сложных больших организациях. Она настолько быстро создает альтернативные

варианты плана, что пользователь может в короткие сроки получить и проанализировать много вариантов экономических стратегий плана.

Основные преимущества программы:

- Можно анализировать более чем 30 готовых продуктов компании одновременно, и каждый из них может иметь неограниченное число содержаний и показателей качества.
- Очень проста в использовании, имеет большую скорость работы
- Может выполнять как перспективное, так и краткосрочное планирование
- Ограничения легко учитываются программой, а результаты легко проверяются
- Дополнительная гибкость достигается с помощью использования макросов на "visual basic"
- Для оптимизации плана можно использовать неограниченное число целей (критериев) с заданием соответствующих приоритетов.

Кроме описанной программы компания выпускает программы для планирования работы транспортно-погрузочных комплексов карьеров, а также пакеты для планирования горных работ на открытых и подземных рудниках, обрабатывающих пластовые и массивные месторождения. Возможности этих последних пакетов (учитывающих горную специфику объектов) примерно одинаковы:

- Расчет запасов (с использованием импортированных блочных моделей) по категориям, глубине залегания, типу породы и т.д.
- Использование сценария «что, если», чтобы оценить эффекты от потерь и разубоживания руды
- Анализ производительности горного оборудования с использованием специализированных инструментов, например TALPAC.
- Экономическое ранжирование горных блоков для оптимизации границ отработки запасов и последовательности выемки.
- Создание краткосрочных и перспективных планов
- Определение количества материалов, рабочей силы и оборудования для данного плана и формирование плана себестоимости для последующего использования этих данных в финансовом моделировании (XERAS).
- Презентация плана в табличной или графической форме
- Контроль за работой других программ, например Excel
- Модуль Autoscheduler (см. выше) может быть использован для решения сложных плановых задач, или где необходимо усреднение руды

Преимущества программы финансового моделирования XERAX, которая работает совместно с пакетом XPAC:

- Гибкость и привычный вид электронной таблицы
- Легкость управления
- 3-структурный интерфейс для управления и визуализации Вашей финансовой модели
- Встроенная возможность для проверки и опрашивания деталей бюджета
- Уникальные расчеты капзатрат и дисконтированного потока наличности.
- Используется во многих компаниях мира.

Эта программа далеко ушла вперед от традиционных возможностей электронных таблиц и выдержала испытание временем. Она обеспечивает новаторские инструменты для экономического, финансового и ресурсного моделирования бизнеса в обычном и проверочном режимах. Модель – это база данных электронных таблиц и других составляющих, обеспечивающих создание сложных финансовых моделей в заданном пользователем режиме и манере.

Программа объединяет преимущества электронных таблиц и баз данных.

Преимущества по сравнению с электронными таблицами:

- Единая интегрированная модель
- Стандартный подход для удлинения жизни модели
- Более удобное управление и просмотр сложных моделей
- Специальные шаблоны таблиц облегчают их создание и модификацию
- Единственная формула может быть использована ко многим таблицам, если это лучше в одном случае, то может быть лучше и везде.
- Периоды времени могут быть различными
- Автоматическая и понятная консолидация внутри иерархической структуры
- Объединение данных внутри таблицы или с помощью drag and drop
- Специальные инструменты для проверки
- Опрашивание и создание отчетов
- Расчеты амортизации и дисконтирования для разных периодов времени
- Функции для сложных расчетов
- Автоматическая функция приобретения оборудования и его замены
- Планы ППР оборудования
- Изменение затрат на оборудование с его возрастом
- Встроенная таблица Asset для расчета начальных капвложений
- Распределение капвложений по видам деятельности

Литература

1. Hustrulid W. Kuchta M. 1995. Open Pit Mine Planning & Design. A.A.Balkema. Rotterdam
2. Taylor, H.K. 1991. Ore reserves – the mining aspects, Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. A: Min. Industry 100(9-12): A146-A158.
3. Mathieson, G.A. 1982. Open pit sequencing and scheduling. Presented at the First Int. SME-AIME Fall Meeting, Honolulu, Hawaii, Sept. 4-9 1982: Preprint No. 82-368
4. Couzens, T.R. 1979. Aspects of production planning: Operating layout and phase plans. Open pit mine planning and design. 219-231. New York.
5. Crawford, J.T. 1989. Logical sequenced approach for evaluating Greenfield open pit ore deposits. Personal communication
6. Franklin, P.J. 1999, Integrated Resource Asset Management – A holistic approach to information technology in mining operations. Prepared for PACRIM, Bali
7. Camus, J.P. 2002. Management of mineral resources. Mining engineering (SME), January, p.: 17-25.

Приложение 1. Характеристика системы Датамайн - Студио и основные приемы работы с ней.

1.1 Общие сведения

Компьютерные продукты Датамайн в совокупности сегодня представляют собой наиболее мощную и гибкую систему в мире для моделирования рудных месторождений и проектирования горных работ. Система представляет собой реляционную базу данных (собственная разработка компании) и набор объединенных с ней модулей, которые пользователь может выбирать, исходя из специфики предприятия и решаемых задач.

Датамайн может успешно работать с любыми видами полезных ископаемых: рудами черных и цветных металлов, горно-химическим сырьем, драгоценными камнями, углем, нефтью, индустриальными минералами и т.д.

Система создана английской фирмой МИКЛ (Mineral Industries Computing Limited) в 1981 году, и к настоящему времени эксплуатируется сотнями крупнейших горных и геологических компаний мира.

Главный продукт системы – Датамайн-Студио создан на основе центрального Ядра, обеспечивающего гибкую, всеобъемлющую обработку и графический вывод информации, находящейся в реляционной Базе данных. Датамайн-Студио имеет новый стандартный интерфейс, позволяющий пользователям непосредственно обмениваться информацией с наиболее распространенными в мире компьютерными системами, а

также писать макросы с помощью Javascript или VBScript в формате HTML. Эти макросы могут затем загружаться в систему для запуска и сопровождения желаемого пользователем набора процессов Датамайн.

В составе рабочих окон Датамайн-Студио имеется Окно проектирования, которое рассчитано, прежде всего, на интерактивную графику (показ и манипуляция точками, линиями, данными опробования, создание и редактирование каркасных моделей тел и поверхностей, интерактивное создание чертежей).

Система состоит из **Ядра** и отдельных **Модулей** для решения специальных задач. В состав Ядра входит большое число команд и процессов, которые имеют универсальное назначение:

- Манипуляция файлами Базы данных: ввод, вывод, редактирование, объединение, выборочное копирование, изменение системы координат и т.д. и т.п.
- Обработка данных методами классической статистики.
- Обработка результатов опробования: компонование, объединение, расчет вариограмм и т.д.
- Изготовление чертежей

Основные модули Датамайн-Студио:

Геостатистический анализ месторождений включает инструменты для построения вариограмм, их анализа и интерактивной подгонки моделей. Также включает в себя перекрестную проверку выбранных моделей вариограмм (cross-validation), несколько видов трехмерного кригинга, оценку извлекаемых запасов и т.д.

Моделирование месторождений. Этот модуль обеспечивает все возможности для построения, просмотра, оценки и редактирования блочных моделей месторождений. Интерполяция содержаний металлов и других показателей производится традиционными и геостатистическими методами.

Каркасное моделирование пространственных тел и поверхностей. Включает в себя набор полуавтоматических и интерактивных трехмерных инструментов для создания, модификации, показа и оценки замкнутых и топографических каркасных моделей.

Моделирование складчатых структур – технология расчета характеристик и моделирования геологических объектов со складчатой структурой с помощью их развертывания.

Маркшейдерские построения и расчеты. Набор специализированных программ для маркшейдеров, автоматизирующий практически все вычисления, процесс создания и вывод необходимой графики.

Проектирование и планирование открытых горных работ. Включает в себя полуавтоматические и интерактивные трехмерные инструменты для создания, модификации, показа проектов и планов открытых горных работ. Обеспечивает контроль углов откоса уступов и карьерных дорог при их проектировании.

Календарное планирование горных работ. Содержит в себе инструменты, необходимые для многовариантной и эффективной разработки краткосрочных, среднесрочных или долгосрочных планов развития горных работ. План может содержать большое число разных рудопотоков, а также заданное количество целей и ограничений.

Оптимизация процесса усреднения руды. С помощью этого модуля можно оптимизировать характеристики рудопотоков предприятия для заданных критериев качества руды и имеющихся горных ограничений.

Краткосрочное планирование открытых горных работ. Включает в себя инструменты для проектирования размещения буровзрывных скважин в границах блоков на карьерах. Там же имеется программа, позволяющая планировать последовательность отработки этих блоков для получения рудопотоков требуемого качества.

Система управления запасами руды на складах – позволяет оптимизировать рудопотоки на обогатительную фабрику.

Проектирование и планирование подземных горных работ. Содержит полуавтоматические и интерактивные трехмерные инструменты для создания,

модификации и показа проектов систем горных выработок на подземных рудниках.

Проектирование массовых взрывов на подземных рудниках.

Оптимизация размещения выемочных блоков на карьерах и подземных рудниках методом плавающего конуса. Этот модуль позволяет Вам быстро и легко определить геометрию и наилучшую позицию экономически целесообразных забоев в пределах рудного тела. Процесс работает по известному алгоритму плавающего конуса, используемому для оптимизации карьеров.

Трехмерный Стереонет, предназначенный для анализа структуры месторождения (анализ данных простирания и падения различных систем трещин), и определения углов их пересечения с горными выработками на заданных участках.

Многомерная статистика для анализа геохимической информации

1.2 Главные новые возможности Датамайн-Студио (ДС):

- Все процессы и возможности интерактивной графической оболочки ГАЙД находятся теперь в новом окне – Окне проектирования (**Design Window**).
- Для управления проектом введен новый файл (**Project File**), который лучше оперирует с Вашими данными.
- Новый промышленный стандарт позволяет использовать для написания макросов в формате HTML оболочки JavaScript или VBScript.
- Дополнено 12 новых процессов.
- Введено много усовершенствований в существующие команды.
- Имеется возможность выводить на экран аннотацию для линий и текстовые вставки.
- Визуализер **GVP** теперь встроен в основную программу
- Много улучшений и дополнительных удобств появилось в контекстном меню.
- Технология OLE-DB позволяет открывать нужные файлы с помощью технологии scripts и других соответствующих инструментов.
- Можно использовать в проектах имена файлов длиной до 20 символов.

Новый способ написания Макросов

Датамайн-Студио имеет новый индустриальный стандартный интерфейс, позволяющий писать Макросы (**scripts**) в виде документов HTML, которые могут быть использованы в качестве Макросов для выполнения последовательностей команд Датамайн. Кроме этого, Вы можете использовать написанные в старой системе обычные макросы и файлы с расширением «.cl», а также (при необходимости) создавать их.

Стандарт HTML может использоваться для создания как простых, так и очень сложных графических интерфейсов для автоматизации запуска и управления работой многих процессов. Он заменяет старую команду !SCREEN и дает пользователю массу новых возможностей.

Самый простой путь создания Макроса в новом формате – выбрать команду главного меню "**Tools | Start Script Recording**" и вручную выполнить набор требуемых операций. Но если Вы хотите добавить в Макрос собственный графический интерфейс, то должны изучить Руководство по написанию **scripts** файлов.

Опытные пользователи увидят, что использование COM интерфейса для всех команд Датамайн открывает им неограниченные возможности для интеграции Датамайн во все компьютерные системы их компаний. Теперь команды Датамайн могут быть запущены и выполнены из любого приложения, написанного на языках Access Basic, Sybase Power Builder, Borland Delphi, Visual Basic или C++.

Контекстные меню и команды "modal"

Когда ни одна из команд еще не выбрана, то нажатие правой кнопки мыши вызывает контекстное меню, содержащее ряд команд и возможностей, подходящих к содержанию открытого на экране окна. Если выбрана одна или несколько линий, то такое меню будет показывать процессы, связанные с редактированием линий. Эти меню позволяют выбрать и режим привязывания (точка, линия, сетка).

Доступна также опция отмены выбора линий, точек и т.п. и задания режима такого выбора, например, выбора их прямоугольным контуром на экране и т.п. Клавиши **Ctrl** и **Shift** позволяют дополнить выбранные объекты или переключаться между ними. Можно также указать способ выбора объекта прямоугольником: при полном его вхождении в периметр или просто при пересечении его. Эта функция доступна с помощью диалога "**Tools | Design Settings**".

Командами **Modal** называются такие команды, которые прекращают свое действие только когда нажата клавиша ESC или появляющаяся на экране кнопка с красным крестом.

Аннотация линий

Линии, загруженные в Окне проектирования теперь могут содержать аннотацию, показываемую на экране. Вы можете выбрать одно из следующих мест для такой аннотации:

- Центр линии
- Один из концов
- На заданном интервале вдоль линий
- Там, где линия пересекает определенный пользователем вектор
- У вершин ломаной линии

Вы также можете задавать размер текста, цвет и количество десятичных знаков. Аннотация может быть выключена, как и другие типы данных.

Вставка текста на экране

Вы можете вставить любой текст в Окно проектирования, а также задать размер текста и его цвет. Каждая такая аннотация может быть отредактирована, удалена, изменена в размерах или перемещена с помощью мыши.

Вы можете также добавить в Окно проектирования стрелки, установить их размеры, масштаб, развернуть стрелки и изменить их цвет. Текстовые вставки и стрелки могут быть выключены, как и другие типы данных.

Улучшения в интерактивный подбор моделей вариограмм

Наиболее значительные изменения внесены в интерактивный процесс VARFIT, где Вы можете установить и отредактировать с помощью курсора параметры вариограммной модели. Это делает процесс намного быстрее и удобнее. Основные улучшения перечислены ниже:

- Интерактивный подбор моделей с помощью мыши.
- Показ параметров модели на графическом экране.
- Авто масштабирование границ изображения и интервала сетки, когда дополняется (или удаляется) новая вариограмма.
- Выбор мышью вариограмм для показа или скрытия.
- Автоматический выбор вариограмм в перпендикулярных направлениях.
- Выбор мышью осей модели.
- Показ (по требованию) количества пар и дисперсии проб.
- Удаление точек вариограммы, имеющих недостаточное число пар.
- Улучшенное управление легендой, включая аннотации.
- Легенда включает параметр «БОРТ» для индикаторных вариограмм.
- Переключение между типами сетки.
- Введено новое окно для системных сообщений.
- Улучшен дизайн меню.
- Улучшен online help.
- Максимальное число вариограмм во входном файле увеличено до 500.

- Вы можете вводить и редактировать атрибуты линий, точек и каркасов, которые будут записываться в выходной файл.

Групповой выбор точек и линий

Много выбранных линий теперь могут быть одновременно использованы в командах:

- smooth-string (сгладить линию)
- reduce-points (сократить число точек)
- condition-string (установить параметры: длину отрезков и углы между ними)
- move-string (передвинуть линию)
- translate-string (скопировать линию в заданное место)
- copy-string (копировать линию)
- rotate-string (повернуть линию)
- erase-string (удалить линию)
- project to Wireframe (спроецировать линию на каркас)

Установленная по умолчанию команда в окне проектирования – выбрать линию. Другими словами, если не выбрана другая команда, то нажав левую кнопку Вы выберете линию. Вы можете выбрать много линий, нажав клавишу **Ctrl** или **Shift**. Клавиша **Ctrl** переключает выбор.

Вы можете выбирать точки или линии по одной или все, которые содержатся в обозначенном прямоугольнике (линия может входить в него полностью или частично). Это же относится и к точкам.

Файл проекта (Project File) программы Датамайн - Студио

Программа создает этот файл, чтобы эффективно организовать Вашу Базу данных. Он в частности освобождает Вас от необходимости держать все рабочие файлы в одной директории, и Вы можете использовать в проекте любые подходящие данные из любых других директорий Вашего компьютера

Файл проекта имеет бинарный формат; он содержит не только информацию о всех файлах Базы Данных. Например, он хранит всю историческую информацию о ранее запущенных командах и процессах. Но более важная особенность его – то, что он запоминает пути к данным в посторонних Базах Данных, откуда поступила информация для какого-то процесса. Используя этот файл, Вы можете обновить Ваши данные без нового прохождения всех стадий импортирования.

Даже, если Вы не имеете доступа к таблицам в коллективных базах данных, способность работать с внешними источниками информации – очень полезна. Например, Файл будет запоминать, откуда Вы загрузили «.DXF» файл или вид модели, полученной из других горных компьютерных систем. Для обновления данных достаточно выбрать опцию "Refresh data".

Временная директория для рабочих файлов

Все временные рабочие файлы (с именами, начинающимися с "_wk") могут быть помещены в специальную директорию с помощью переменной окружения TEMP_FILE_PATH. Например, добавление линии "temp_file_path = "d:\temp\" приведет к тому, что все временные файлы будут размещаться в указанной директории. Это создает удобства для пользователей, работающих в сети.

Пользовательский интерфейс для контроля информации на Экране

Настройка Customization и Output окон контролируется опциями меню "Window | Customization Window" и "Window | Output Window".

Нажатие клавиш **Shift+Escape** включает полноэкранный режим

Нажатие правой клавиши на фоне Датамайн Студио вызовет появление меню, которое используется для настройки индивидуальных окон или иконок инструментов.

Вы можете также **настроить размер текста**, показываемого в Окне SCREEN. Для этого необходимо ввести переменную окружения:

```
SCREEN_FONT_MAX_SIZE=20
```

Это позволит в данном случае установить размер используемого шрифта равный 20. Большинство переменных окружения записываются отдельной строкой в файл **Program Files\datamine\ Environ\local.env**. Более подробные сведения о всех возможных переменных окружения см. в разделе HELP – **Miscellaneous\Environment Variables**.

Для перемещения информации в окне Проектирования Вы можете использовать клавиши с соответствующими стрелками.

Для прекращения действия той или другой команды можно использовать клавишу ESCAPE.

Для изменения максимального количества точек в линии используется переменная окружения

```
MAXIMUM_POINTS_PER_STRING = 4000
```

Для изменения цвета графического экрана с черного на белый необходимо выполнить следующие действия:

Из директории Program Files\datamine\DmStudio.140\Helpfile скопируйте файл guide-white-back.aim в директорию Program Files\datamine\Custom и переименуйте его в guide.aim.

Из директории Program Files\datamine\ Environ скопируйте файл colour-white-back.env в директорию Program Files\datamine\Custom и переименуйте его в colour.env.

Для обратного изменения цвета графического экрана с белого на черный необходимо выполнить следующие действия:

Из директории Program Files\datamine\DmStudio.140\Helpfile скопируйте файл guide-black-back.aim в директорию Program Files\datamine\Custom и переименуйте его в guide.aim.

Из директории Program Files\datamine\ Environ скопируйте файл colour-black-back.env в директорию Program Files\datamine\Custom и переименуйте его в colour.env.

Когда Вы в следующий раз запустите Датамайн, окно проектирования будет нужного Вам цвета.

Встроенный Визуализер (GVP)

Окно визуализера обеспечивает интерактивное 3-х мерное изображение данных в окне проектирования. Он позволяет независимо контролировать все детали объектов, поворачивая и панорамируя их, а также изменяя масштаб. Визуализер теперь встроен в основную программу и работает более эффективно. Это особенно заметно при работе с большими базами данных.

Изменения изображения достигаются движением мыши с нажатой левой кнопкой и одной из клавиш клавиатуры.

Левая кнопка мыши	Поворот объекта вокруг центральной точки
Левая кнопка + Ctrl	Уменьшение/увеличение масштаба объекта
Левая кнопка + Alt	Панорамирование объекта.
Стрелки	Повороты в разные стороны

Нажатие правой кнопки в окне визуализера вызовет меню, с помощью которого можно менять различные аспекты и характеристики изображения, например – прозрачность загруженных объектов.

Файлы (gerlay), сохраняющие изображения (кадры) визуализера могут быть созданы заданием переменной окружения:

```
GVP_SAVE_FILE = "filename"
```

Таким образом, мы создаем отдельные копии GVP как автономные приложения, чтобы сохранять и просматривать их позже. Если Вы хотите, то Датамайн-Студио может использовать и автономную версию GVP (как в старом Гайде) путем введения переменной окружения

GVP_EMBED = NO

Окно визуализера использует стандарт OpenGL, чтобы создавать изображения, поэтому пользователи должны проверить у поставщика их компьютеров, чтобы в их системах присутствовал акселератор OpenGL для более быстрой и комфортной работы визуализера.

Окно пользователя (Customization Window)

Файл "tab" - это другой способ выбора команд Датамайн. Название команд представлено здесь в виде дерева, отсюда название - "tab file". Для показа и выбора команд также использованы стандарты HTML и JavaScript. Дополнительными файлами такого типа являются script файлы, которые вызываются командой "**Tools | Run script**". Если Вы имеете HTML файл, который хотите загрузить в Датамайн, то дополните его имя в окружение, как показано ниже:

Создайте директорию, назвав ее "**Custom**", поблизости от директории **DMStudio.140**, где инсталлирована система (ДС). Обычно это делают так: "**C:\Program files\Datamine\Custom**". Скопируйте Ваш script файл и любые, связанные с ним файлы в эту директорию. Использование этой директории будет предохранять Ваши файлы от перезаписывания при будущих переустановках ДС.

Разместите файл "**scriptmenus.tab**" в директории "**C:\Program files\Datamine\DmStudio.140\helpfile**"

Откройте этот файл в текстовом редакторе, например – **notepad**, и дополните 2 строки в конец файла, чтобы описать Ваш HTML файл:

```
START_TAB HTML:MyTab,../Custom/MyScriptFile.htm
```

```
END_TAB HTML:
```

В результате будет создан дополнительный ярлык, названный "**MyTab**" и в него загрузится файл "**MyScriptFile.htm**"

Настройка панели инструментов

Многие команды имеют свои кнопки на экране. Вы можете создать удобную для Вас панель инструментов и дополнить Ваши собственные команды; см. "**Tools | Customize**". Команды, которые Вы добавляете, могут быть или стандартными командами или именами script файлов с расширением **.htm**. Эти файлы должны быть в рабочей директории или в одной из директорий, указанных в системной переменной **PATH**.

Обеспечение функций OLE DB

Технология OLE DB является индустриальным стандартом – системным программным интерфейсом для данных. Он заменяет ODBC и спроектирован как для собственных, так и для внешних баз данных.

Этот интерфейс позволяет использовать файлы Датамайн непосредственно в других программах, поддерживающих этот стандарт. Например, такие файлы могут быть загружены в Базы данных, подобные Oracle или SQL-Server без прохождения всех стадий экспортирования.

Это означает также, что файлы Датамайн могут быть напрямую использованы такими программами как Seagate Crystal Reports и похожими, поэтому Вы можете автоматически быстро вставить информацию из Датамайн в свой окончательный доклад, который затем может быть отправлен в нужные Вам инстанции.

1.3 Новые команды Датамайн-Студио (ДС):

ВНСOUNT

Эта команда создана для последующей обработки выходных файлов, созданных процессом интерполяции ESTIMA. Для нее на входе требуется входной файл проб и файл выходной модели из процесса ESTIMA. Команда создает новый файл модели, включающий поле, в котором содержится информация о количестве скважин, используемых в оценке каждой ячейки модели. Это впоследствии может помочь в присвоении ячейкам модели категории запасов.

CHECKIT

Этот процесс выполняет следующие операции с файлом линий:

- Удаляет дублирующие точки за исключением первой и последней точек;
- Удаляет дублирующие линии
- Записывает исправленную информацию в новый файл

COGTRI

Этот процесс рассчитывает центр тяжести и ориентацию каждого треугольника в каркасной модели. Выходной файл треугольников будет содержать поля: координаты XYZ центра тяжести каждого треугольника и координаты XYZ его трех вершин. Полученная координата Z центров тяжести может быть затем использована для раскраски каркаса разными цветами в зависимости от величины этой координаты.

Процесс может также создавать файл точек, содержащий поля координат XYZ центров тяжести каждого треугольника, вертикального угла и его ориентации, а также – символ поворота. Этот файл может быть использован как входной в процессе StereoNet Viewer.

CONPOL

Этот процесс создает выпуклый многоугольник вокруг множества точек в плоскости X,Y. Чтобы исключить большие пространства внутри многоугольника, которые не имеют точечных данных, может быть задана максимальная длина отрезка (стороны) периметра, который в этом случае будет точно оконтуривать точки, превращаясь в вогнутый многоугольник.

Этот периметр можно также раздвинуть на заданное расстояние от точек. Новый периметр, который записывается в выходной файл, имеет значение PVALUE = 1, а его координата ZP будет равна 0.

DECLUST

Процесс декластеризует множество данных опробования. Обычная практика – отбирать больше проб в богатых зонах, чтобы повысить достоверность опробования. Однако, когда пробы размещены не по регулярной сети, то использование всего множества проб в оценке дает смещенную оценку среднего содержания, дисперсии и гистограммы. Декластеризация – это процесс подбора проб для всего объекта, которые дают представительное множество образцов для несмещенной оценки. Процесс использует наложение на данные регулярной 3-х мерной сетки и подбор для каждой ячейки единственной пробы. При запуске DECLUST можно выбрать один из 4-х методов для выбора этой пробы. На выходе создается таблица со статистическими параметрами для каждого числового поля в выходном файле проб.

DEFPARM

Процесс служит для создания и редактирования параметров файлов, задающих входные данные для процессов XVALID (кросс-валидейшен) и ESTIMA (интерполяция). Если файл параметров не существует, то будет открыт процесс AED и созданы требуемые поля для ввода новых данных. Если файл имеется, то будет открыт процесс AED для возможного редактирования или добавления данных. На выходе процесса создаются (или модернизируются) 3 файла: SRCPARM (параметры пространства поиска), ESTPARM (параметры оценки) и VMODPARM (параметры вариограммы).

EXTRA

Этот процесс делает более легким преобразование любого файла базы данных. Он заменяет популярный процесс GENTRA и позволяет Вам использовать алгебраические выражения для расчета значений новых полей из существующих. Он также сохраняет все возможности и функции процесса GENTRA и добавляет несколько новых, а также позволяет использовать логические выражения IF(если) ... ELSEIF(?) ... ELSE(иначе) ... END для обусловленных преобразований.

Процесс имеет графический интерфейс, который обеспечивает легкий доступ ко всем его возможностям. Заданные Вами преобразования перед использованием проверяются построчно, и о всех ошибках сообщается пользователю.

PANELEST

Процесс оценивает среднее содержания и дисперсию для 2-х и 3-х мерных панелей. Панели определяются, как множество замкнутых линий или как множество 2-х и 3-х мерных разделенных в пространстве точек, представляющих площади или объемы. За один раз можно оценить много панелей. Вы можете выбрать один из 3-х методов интерполяции: ближайшей пробы (БП), Обратных расстояний (ОР) или кригинг. Кроме того, процесс позволит Вам оценить содержание и дисперсию кригинга для:

- Любого периметра (без необходимости создавать блочную модель)
- Любого подмножества ячеек блочной модели.

QUANTILE

Эта команда выполняет квантильный анализ данных опробования. Процесс разбивает все множество проб на квантили и рассчитывает статистику для каждого квантиля. Квантиль – это подмножество сортированных по возрастанию данных, разделенных на классы с равным числом проб. Виды квантилей: квартиль (4 подмножества), десиль (10 подмножеств) и персентиль (100 подмножеств). Число подмножеств (или бинов) определяется параметром QUANTIL1. Верхний бин может в свою очередь разбит на вторичные бины параметром QUANTIL2.

Результаты сохраняются в файле и показываются в выходном окне. Они также могут быть записаны в системный файл.

TONGRAD

Эта команда рассчитывает объем руды, тоннаж и содержание (до 10 полей) по блочной модели. Результаты могут быть классифицированы по 3-м уровням ключевых полей. Выход может быть сохранен в формате Датамайн или в формате CSV для последующего ввода в EXCEL.

WFTREND

Когда из точек создается каркас поверхности командой `make-the-dtm` в Окне проектирования или командой `create-dtm (SURTRI)`, то часто бывает полезным экстраполировать ее за пределы имеющегося множества точек. Например, для того, чтобы увеличить поверхность пласта или тектонической зоны до пересечения с топографией или удлинить пласт на расстояние радиуса влияния проб.

Процесс расширяет каркас поверхности за пределы границы данных на определенное расстояние продолжая установленный тренд. Входными данными служит множество точек. Границы определяются автоматически, а за их пределами используется тренд.

XVALID

Процесс помогает выбрать параметры для оценки содержаний с помощью использования метода перекрестной проверки (кросс-валидейшен). Он создан вместо процесса PTK3DA, сохраняет все его возможности и добавляет много новых. Процесс также имеет все интерполяционные возможности команды ESTIMA и прибавляет к ним несколько дополнительных. Интерактивные возможности пользователя серьезно улучшены, поэтому Вы можете выполнить полный комплекс исследований, не выходя из процесса.

Входной файл – файл проб, который в дальнейшем будет использован в процессе интерполяции содержаний. Для кригинга можно использовать (для сравнения и оценки) несколько моделей вариограмм. Для метода IPD можно использовать несколько вариантов показателей степени.

Входные данные в процесс XVALID (3 файла параметров) похожи на такие же данные в процессе ESTIMA.

Метод кросс-валидейшен в процессе работы последовательно удаляет каждую пробу и оценивает содержание в этой точке с помощью оставшихся данных. Создается таблица реальных значений и их оценок. Затем производится детальный статистический анализ этой таблицы. Далее изменяется один или более параметров оценки, и процесс повторяется, а полученные результаты анализируются. Поэтому процесс является интерактивным, требующим нескольких запусков для получения лучшего множества входных параметров.

Новые команды в Окне проектирования:

- **move-plane-forward** – Передвигает плоскость изображения вперед на то расстояние, которое было указано для этой команды в прошлый раз. Краткая команда - 'mpf'
- **move-plane-backward** - Передвигает плоскость изображения назад на то расстояние, которое было указано для этой команды в прошлый раз. Краткая команда - 'mpb'
- **clip-outside-perimeter** – Удаляет все линии внутри замкнутого контура. Краткая команда - 'cop'
- **assign-fill-codes-dhleft** – Создает легенду для левой стороны скважины. Краткая команда - 'lg'
- **assign-fill-codes-dhright** - Создает легенду для правой стороны скважины. Краткая команда - 'rg'
- **change-legend-position** – Изменяет положение легенды на экране. Краткая команда - 'cpo'
- **legend-dhleft-switch** – Показывает легенду для левой стороны скважины на панели легенды. Краткая команда - 'slg'
- **legend-dhright-switch** - Показывает легенду для правой стороны скважины на панели легенды. Краткая команда - 'srg'
- **link-quad** – Соединяет 2 заданных сегмента линии. Краткая команда - 'lq'
- **layer-settings** – Определяет установки для верхнего слоя. Краткая команда - 'ovs'
- **define-layer-1** - Определяет фильтр для верхнего слоя. Краткая команда - 'ovd'

1.4 Начало работы с системой Датамайн-Студио

Для того, чтобы использовать этот очень краткий вводный курс, Вы должны убедиться, что имеете версию программы **Datamine Studio** не ниже 1.0. Для проверки этого выберите команду **Help | About Datamine Studio** и прочитайте приведенную там информацию.

Желательно, чтобы Вы имели также инсталлированный Учебник (Tutorial) по этой системе с учебными примерами файлов. Этот учебник при инсталляции по умолчанию устанавливается в директорию **C:\Database\Tutorial**.

Имейте в виду, что, скорее всего, не все процессы Датамайн инсталлированы на Вашем компьютере. Если в процессе работы или обучения Вы попытаетесь запустить закрытый для Вас процесс, то получите соответствующее сообщение системы.

Вы можете изучать Учебник, начиная с любого урока, но рекомендуется все же соблюдать приведенную в нем последовательность. Учебник содержит все требуемые учебные файлы. Когда система попросит Вас ввести имя файла, созданного во время другого урока, то Вы должны добавить в начале имени сохраненного файла символ "_". Например, если Вам надо ввести файл проб holes, то Вы должны набрать его имя, как **_holes**. Перечень всех учебных файлов дан в списке [«File Index»](#).

Этот начальный Курс охватывает следующие шаги в освоении Датамайн-Студио:

- Старт системы
- Выбор файлов для работы
- Просмотр содержимого файлов
- Редактирование файлов
- Выбор и запуск команд
- Вызов online помощи

➤ Выход из системы

Другие функции Датамайн-Студио будут рассмотрены позже в соответствующих разделах Методики.

1.4.1 Старт системы

Выберите программу **Datamine Studio** в списке программ **Windows** или щелкните на соответствующей иконке на Вашем экране.

В появившемся окне выберите имя уже созданного проекта или создайте новый проект в нужной директории с требуемым именем. Если эта директория уже содержит файлы Датамайн, то они будут автоматически включены в проект.

Можно также непосредственно запустить Файл с расширением «.dmd» нужного проекта из Проводника Windows, Нортон Командер или другого приложения.

1.4.2 Изучение интерфейса системы

Панель названия проекта (Title Bar) расположена наверху каждого рабочего окна и содержит информацию о названии Окна и об Имени открытого проекта (в квадратных скобках)

Панель Меню (Menu Bar) дает Вам доступ ко всем командам Датамайн.

Кнопки инструментов (Toolbars) сгруппированы по функциям и обеспечивают быстрый доступ к часто используемым командам. При первом запуске системы на экран выводится стандартный набор кнопок, который Вы можете изменить и настроить для своих нужд с помощью команды Tools | Customize menu. Вы можете поместить панели с кнопками в любом месте экрана, а также сделать их неподвижными (вдоль любой границы экрана) или перемещаемыми.

Выбор файлов для работы осуществляется с помощью Окна Базы Данных (Database Browser), которое можно открыть кнопкой Browse Database.

Окно команд (Command Browser) предоставляет Вам возможность для выбора всех процессов и команд системы аналогично Панели Меню и Кнопкам инструментов, но в другом формате. Оно оставлено в системе для того, чтобы обеспечить совместимость с более ранними версиями Датамайн. РЕКОМЕНДУЕТСЯ для выбора команд и процессов в Датамайн-Студио пользоваться Панелью Меню и Кнопками инструментов.

Окно команд является частью Окна Настройки (Customization Window) системы. При первом запуске Датамайн это окно скрыто. Если Вы хотите его открыть, то просто щелкните правой кнопкой на пустом экране после загрузки системы и затем в появившемся Меню выберите команду «Customization Window».

Окно вывода информации (Output Window) служит для информации пользователя о статусе запущенных процессов и результатах расчетов. Текст в этом окне может быть скопирован или вырезан для переноса в другую программу, или отправлен на принтер. Обычно это окно – плавающее, но может быть закреплено на экране следующим образом:

Щелкните правой кнопкой на серой рамке окна и выберите нужную опцию в появившемся меню (закрыть окно, сделать его плавающим или закрепить).

Когда окно закреплено, Вы можете при нажатой левой кнопке (курсор должен помещаться на верхней границе окна) передвинуть его к любой границе экрана и изменить его размеры.

Окно Проектирования (Design Window) служит для интерактивных графических работ, выполняемых пользователем. Запомните, что команды проектирования выполняются только тогда, когда Окно Проектирования активно, т.е. когда его верхняя часть имеет темно-синий цвет. Для того, чтобы сделать это Окно активным, щелкните в его пределах левой кнопкой мыши.

Окно визуализера (Visualizer Window) служит для показа в 3-х мерном виде (режим rendering) любых объектов (или их частей), имеющихся в Окне Проектирования. Вы можете с помощью мыши развернуть или передвинуть это изображение, а также изменить его масштаб.

Окно вывода Графики (Graphics Window) служит для показа созданных плот-файлов (чертежей).

Панель состояния системы (Status Bar) размещается внизу экрана и служит для вывода сообщений о статусе системы и различных подсказок пользователю.

1.4.3 Выбор файлов для работы

Файлы (или таблицы) в Базе Данных хранятся в бинарном формате, что экономит дисковое пространство и увеличивает скорость обработки информации. Чтобы увидеть содержимое Базы Данных необходимо выбрать кнопку на экране **Browse Database** или соответствующую команду Меню.

Файлы Базы данных сгруппированы по их типам. Чтобы посмотреть содержимое каждой группы, необходимо щелкнуть на кнопке этой группы, например – «Скважинные пробы» (**Downhole Sample**) или «Все файлы» (**All**).

Информация о файле Базы Данных (Характеристика полей и число записей) будет показана в правой части окна, если Вы выделите нужный файл с помощью мыши. Эта информация будет выглядеть следующим образом.

ИМЯ (NAME)	ФАЙЛА	1-8 символов
ТИП (TYPE)		N - числовой, A – буквенно-числовой
СОХРАНЯТЬ (STORED)		Y – означает, что величины будут сохранены в каждой записи. N - означает, что это поле содержит постоянную величину, которая сохранена в заголовке таблицы как значение по умолчанию.
ПО УМОЛЧАНИЮ (DEFAULT)		Значение по умолчанию для этого поля.

В нижней части экрана будет показана дополнительная информация об этом файле:

- Каким процессом и когда он был создан
- Число записей в файле
- Директория, где файл размещен

Чтобы увидеть содержимое Файла, щелкните 2 раза на его имени в Базе данных. Заголовок таблицы и ее содержание будут показаны в Окне вывода информации. Для перехода к следующей странице выберите «**Continue**». Чтобы закончить просмотр, выберите «**Cancel**».

Вместо двойного щелчка Вы можете нажать правую кнопку мыши и увидеть новое Меню с набором полезных команд, из которых выбрать нужную.

Чтобы отредактировать содержание файла (таблицы) щелкните по нему правой кнопкой и выберите опцию «Редактировать» (**Edit**). Файл будет загружен в системный редактор и показан на экране. Для передвижения по экрану используйте стрелки и клавиши Pg Up, Pg Dn. Для ввода нового значения выберите нужную ячейку, наберите нужную величину внизу экрана и нажмите ввод. Для сохранения введенной информации необходимо выбрать внизу экрана опцию (кнопки) «Выход с сохранением». Если случайно окажется, что кнопки не видны, следует предварительно изменить размеры окна.

1.4.4 Выбор и запуск команд

Система имеет свыше 350 команд и процессов, включающих в себя как простые действия (показ и редактирование файлов), так и очень сложные процессы, например – кригинг содержаний по блочной модели месторождения. Кроме того, окно проектирования имеет свой многочисленный набор команд, которые также доступны как из меню, так и с помощью соответствующих кнопок.

Большинство часто используемых команд входят в состав Меню или выведены на панель инструментов в виде кнопок. Чтобы запустить процесс, достаточно просто щелкнуть по кнопке или пункту меню левой кнопкой мыши.

Например, выберите категорию команд «Применения» (**Applications**) в Меню и из появившегося меню выберите команду «**Statistics | Compute Statistics**». На информационном экране появится диалог команды STATS, который как обычно состоит из 4-х панелей для ввода исходной информации. Эта команда будет рассчитывать основные статистические показатели для требуемых полей выбранного Вами файла.

После ввода исходной информации и нажатия кнопки «Пуск» (**OK**) процесс будет запущен, и в информационном окне будут показаны результаты расчета.

Ниже приведены некоторые полезные команды.

Команда	Меню	Описание
Copy File - COPY	Edit Copy File	Копирует файл Базы Данных
Delete Datamine File - DELETE	Edit Delete File	Удаляет файл Базы Данных
Sort File - MGSORT	Data Sort	Сортирует файлы
redraw- display	View Refresh Display	Обновляет информацию в Окне проектирования
Update- Visualizer- Objects		Модернизирует информацию в Окне визуализера в соответствии с содержанием Окна проектирования.

1.4.5 Использование файлов помощи

Система содержит несколько возможностей оказания информационной помощи пользователям.

Выберите команду «**Contents**» в Меню «**Help**», чтобы посмотреть оглавление файлов помощи. Выберите кнопку «**Help**» в Информационном окне при запуске любого процесса, чтобы посмотреть информацию по данному процессу.

Проведите курсором по любой кнопке на экране, и Вы увидите информацию о назначении этой кнопки. После запуска процесса выделите требуемый параметр (поле, файл и т.д.) на панелях исходных данных, и Вы увидите информацию об этом параметре внизу окна (**Autohelp**).

Вместе с системой поставляется полный набор документации на диске СД. Она составлена в формате PDF и может быть прочитана с помощью программы Acrobat Reader, также имеющейся на этом диске.

1.4.6 Выход из системы

Чтобы выйти из системы, выберите команду «Выход» (**Exit**) из Меню или кнопку с крестом в правом верхнем углу Окна. Если какая-то информация осталась не сохраненной, система предупредит Вас об этом.

1.5 Работа с информацией в Окне проектирования Датамайн-Студио и создание графики

1.5.1 Основные приемы работы с информацией в Окне проектирования

Те, кто раньше работал с Датамайн 5, хорошо знает графическую оболочку Гайд. Окно проектирования Датамайн-Студио – это тот же Гайд, только объединенный с Датамайн. По сравнению с прежней версией в графические процессы были внесены некоторые изменения, о которых говорилось в главе 1. В частности, появилось много новых команд, а также изменились краткие команды некоторых процессов.

Ниже будут кратко описаны главные возможности, предоставляемые пользователю при работе в Окне проектирования. Рассмотрим их на примере данных опробования.

1.5.1.1 Загрузка требуемой информации

Чтобы загрузить в Окне проектирования файл результатов опробования:

1. Выберите в основном меню (или щелкните на Окне проектирования правой кнопкой, а затем выберите) **Data | Load | Drillholes**.
2. Найдите в базе данных нужный файл и нажмите **Select**.
3. Нажмите ENTER, если не хотите использовать фильтры (если хотите, то введите их в появившемся окне).
4. Выберите **Yes**, если предполагаете использовать все поля файла (в противном случае введите нужные поля в появившемся окне).

После этого Вы, скорее всего, ничего на экране не увидите, т.к. его границы по умолчанию останутся очень узкими, и не будут вмещать в себя всю загруженную информацию. Чтобы вывести на экран всю информацию, выберите из меню **View | Zoom | Zoom All Data** (или наберите краткую команду “za”).


Заметьте, что краткие команды, список которых имеется в документации по системе, значительно облегчают жизнь пользователя. С помощью их можно быстро запустить нужный процесс, не совершая длительного путешествия по системе взаимосвязанных меню.

Теперь на экране появится картинка, включающая в себя всю информацию из загруженного файла.

Используя команды меню **View | Set Viewplane**, Вы можете установить любую ориентацию плоскости изображения в пространстве. Перед этим лучше рассмотреть пробы в окне визуализера и выбрать требуемое положение плоскости экрана в Окне проектирования.

1.5.1.2 Визуализер

Чтобы сделать активным окно визуализера и обновить в нем информацию (она должна соответствовать установкам Окна проектирования), выберите иконку **Update**

Visualizer  (или щелкните правой кнопкой на Окне проектирования (ОП) и выберите эту команду в появившемся меню). В открывшемся Окне визуализера (ОВ) будет находиться в 3-х мерном виде вся информация из Окна проектирования. Вы сможете разворачивать ее, изменять масштаб, передвигать по экрану, отключать и изменять изображения разных объектов и т.д. и т.п. движением мыши с нажатой левой кнопкой или пользуясь меню, появляющемся при нажатии правой кнопки.


1.5.1.3 Создание сечений

Вы можете рассмотреть в ОП любое сечение, которое создается с помощью меню **View | Set Viewplane** или кратких команд:


- «1» - вертикальное (С-Ю, Ю-С, З-В, В-З) или горизонтальное сечение, параллельное осям координат; указывается единственная точка центра сечения,
- «2» - сечение по 2-м указанным курсором точкам (горизонтальное, вертикальное или перпендикулярное к плоскости изображения),
- «3» - сечение по 3-м указанным курсором точкам; оно будет соответствовать плоскости треугольника, созданного этими точками.

Во всех этих командах Вы можете использовать привязывание линии сечения к любой изображенной на экране точке, если укажете эту точку правой кнопкой мыши.

1.5.1.4 Установка расстояния проецирования

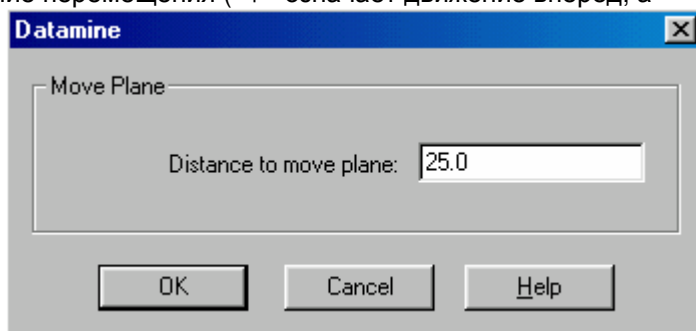
Сейчас Вы видите на сечении всю информацию файла опробования, которая спроецирована на плоскость изображения. Для того, чтобы установить расстояние проецирования, выберите **View | Set Clipping Limits** или нажмите кнопку . Появится окно, в котором Вы должны ввести расстояния проецирования перед (Back) и за (Front) плоскостью изображения.

1.5.1.5 Масштаб изображения

Для того, чтобы изменить масштаб изображения пользуйтесь кнопками «**Zoom In (Out, All data, Extents)**», расположенными с правой стороны экрана. Команда «**Zoom In**»  (краткая команда – «zx») требует указания на экране требуемой прямоугольной области с помощью движения мыши **с нажатой левой кнопкой**.

1.5.1.6 Передвижение плоскости изображения

Для того, чтобы перейти к следующему сечению (передвинуть плоскость изображения вперед или назад на нужное расстояние), необходимо выбрать из меню команду **View | Set Viewplane | Move Orthogonal** (краткая команда – «mrl») и указать расстояние перемещения («+» означает движение вперед, а «-» - назад)



1.5.1.7 Сохранение текущей плоскости изображения

Чтобы сохранить текущую плоскость изображения, выберите из меню команду **View | Save View** и введите в Окне базы данных имя файла, где будет храниться информация о текущем ОП, его ориентации и установках. Для восстановления этой информации выберите команду **View | Get View** и имя файла, где хранится требуемая информация. Таким образом, мы можем сохранить, например, все созданные сечения для последующей их демонстрации.

1.5.1.8 Создание легенды

Для создания легенды и требуемой раскраски информации на экране используются команды меню **Format | Legend**:

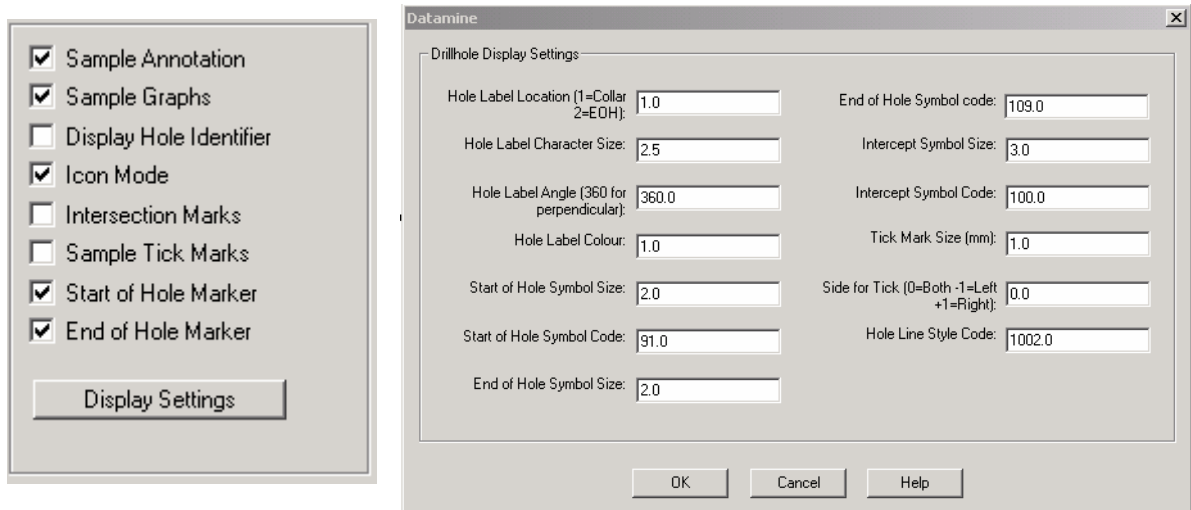
- **Use Percentile Fill** – программа автоматически сортирует и разбивает весь массив данных выбранного поля на заданное число «бинов» с равным количеством данных в каждом из них, а также раскрашивает их в подходящие цвета
- **Automatic Legend** – программа автоматически разбивает весь интервал значений выбранного поля на заданное число «бинов» (делит величину интервала на число «бинов»), а также раскрашивает их в подходящие цвета
- **Assign Fill Codes** – здесь Вы можете сами задать интервалы легенды (с помощью фильтров или интерактивно) и требуемые цвета.

Последняя операция выполняется в следующей последовательности:

1. Задайте способ ввода информации (с помощью фильтров, или интерактивно)
2. Для интерактивного режима выберите поле для создания легенды, например, Au
3. Выберите требуемый цвет для данного интервала в появившейся палитре
4. Напечатайте (если необходимо) имя этого интервала, например, WAST
5. Введите границы интервала (или выражение фильтра для него)

1.5.1.9 Настройка изображения данных опробования

Если Вы хотите изменить параметры изображения скважин, то необходимо это сделать с помощью команды **Drillholes | Display Control | Drillhole Settings**. Появится окно, в котором Вы сможете настроить Ваше изображение, как Вы хотите.



В частности Вы сможете настроить показ текстовой или графической (в виде гистограмм) аннотации (рис. 1П, 2П), номеров выработок, знаков начала и конца скважин, границ проб и т.д. и т.п. Если нажать кнопку **«Display Setting»**, то появится новое окно (см. выше), в котором Вы можете более тонко настроить формат и стиль изображения деталей скважин на экране.

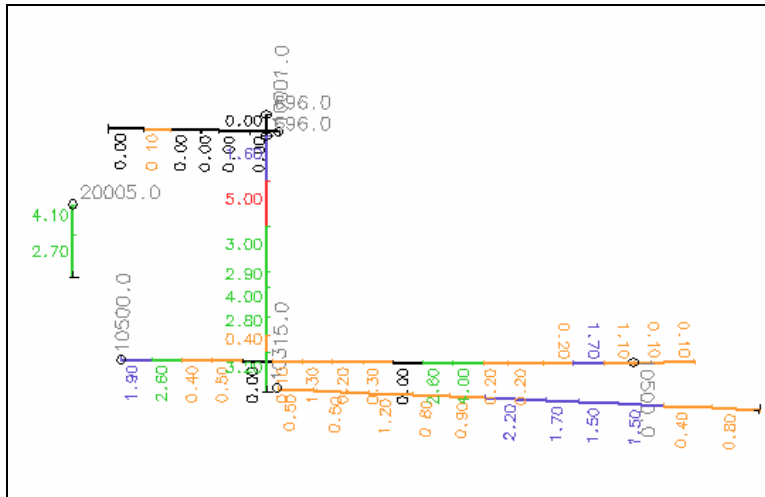


Рисунок 1П. Пример цифровой аннотации содержания золота по скважинам и канавам

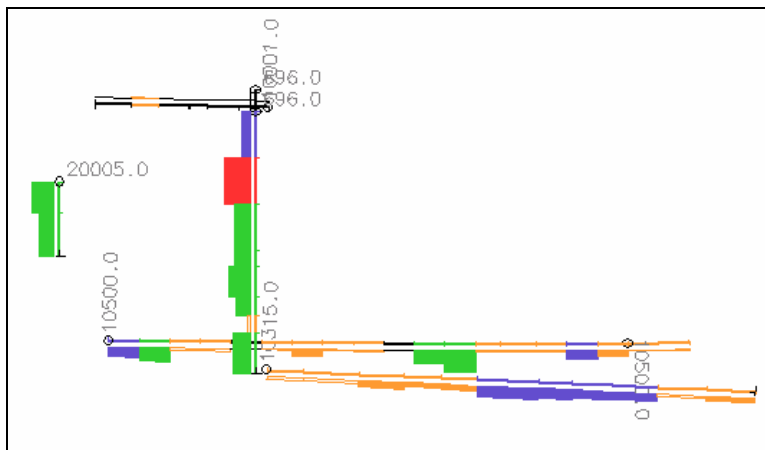


Рисунок 2П. Пример графической аннотации содержания золота по скважинам и канавам

1.5.1.10 Изменение стиля сетки

Если Вас не устраивает установленная по умолчанию сетка, то Вы сможете ее изменить командой **Format | Grid**. В появившемся окне Вы сможете установить Тип сетки, цвет и стиль линий, а также характер цифровой и текстовой аннотации.

1.5.1.11 Заполнение периметров штриховкой и вывод на экран аннотации

В Датамайн имеется возможность заполнять созданные периметры различной штриховкой. Имеется 20 стандартных типов штриховки, приведенные в документации. Для того, чтобы заполнить периметр необходимо:

3. Дополнить командой **Format | Add New Attribute** (применительно к линиям) цифровую атрибуту «**FILLCODE**»
4. Выбрать на экране требуемый периметр и установить командой **Design | Edit Attributes** номер кода штриховки (см.документацию).
5. Установить требуемый цвет штриховки

На рис. 3П показан пример заполнения периметров штриховкой с кодами, указанными в прямоугольных рамках. Заметьте, что каждый следующий заполняемый периметр перезаписывает предыдущий.

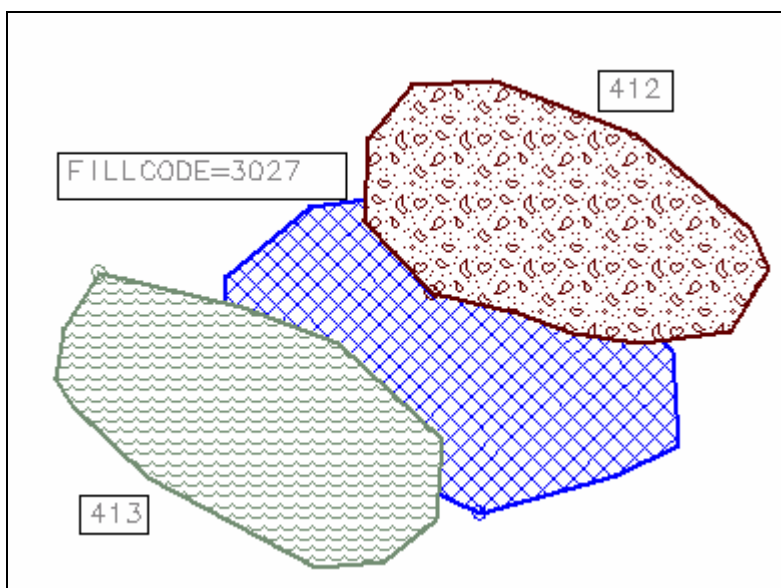


Рисунок 3П. Пример заполнения периметров штриховкой с сопутствующей аннотацией

В отличие от предыдущей версии системы в Датамайн-Студио (с помощью команды **Format | Annotate**) Вы можете вводить аннотацию для линий, точек и просто текстовую аннотацию, заключаемую в прямоугольные рамки (рис.3П).

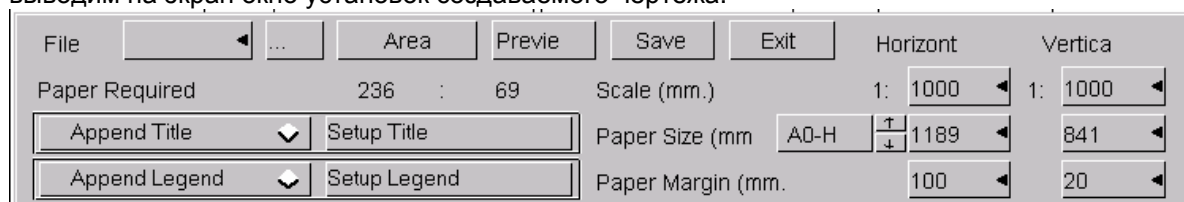
Мы рассмотрели здесь только основные приемы работы в Окне проектирования с данными опробования. Даже из приведенного материала видно, насколько велики возможности пользователя по обработке графической информации. Отметим, что Окно проектирования имеет не меньше специфических инструментов для манипуляций со всеми другими видами файлов Датамайн (точки, линии, блочные и каркасные модели т.д.). Мы не ставили целью подробное их рассмотрение в этом Руководстве, и отсылаем квалифицированного пользователя к технической документации Датамайн.

1.5.2 Создание и вывод графики в Окне проектирования

Любое изображение, созданное в Окне проектирования (ОП) или в Окне визуализера (ОВ) может быть сохранено в виде твердой копии, т.е. направлено на плоттер или принтер. Здесь Вы можете задать требуемый формат бумаги и любой масштаб чертежа.

Например, создадим чертеж из разреза по скважинам, показанный на рис. 3.57.

С помощью команды **Tools | Interactive Plotting | Plot From Design Window** выводим на экран окно установок создаваемого чертежа.



Нажатием кнопки **Area** и курсором мыши установите требуемый размер изображения. Установите размер бумаги (формат) и подходящий масштаб (можно выполнить эти действия и наоборот, смотря, что для Вас важнее).

Когда Вы двигаете курсор мыши в ОП, то на экране будет виден синий (красный) прямоугольник, который покажет Вам выбранный размер бумаги в заданном масштабе чертежа. Передвиньте его в такое место, где он будет захватывать все данные, выбранные для черчения с некоторым запасом. Затем захватите курсором перекрестие в левом нижнем углу прямоугольника, перетащите рамку района изображения в нужное место и проследите, чтобы все данные были включены в зону чертежа, а штамп и легенда не закрывали важных деталей.

В данном случае выбран формат бумаги A2 (горизонтальный) и масштаб изображения – 1:50 (рис. 4П).

Вы должны также задать (если это необходимо):

- Размеры, место расположения, стиль и надписи (до 5 строк) штампа чертежа
- Размеры и место расположения легенды

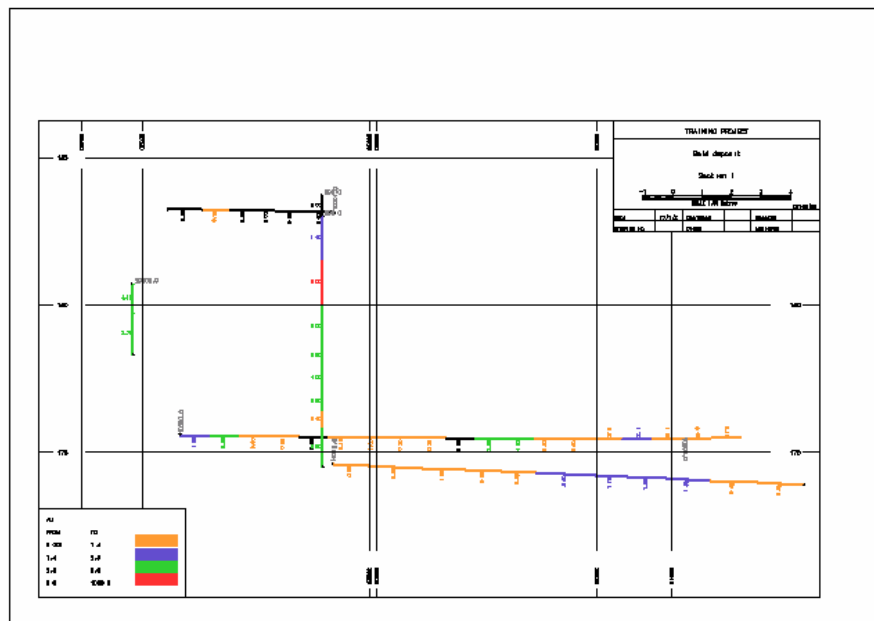


Рисунок 4П. Общий вид созданного чертежа на листе формата А2.

На каждом шаге изменения параметров чертежа его следует просматривать в реальном масштабе с помощью кнопки **Preview**. Когда чертеж Вас полностью удовлетворяет, Вы сохраняете его в файле чертежа с помощью кнопки **Save**.

Если Ваш плоттер правильно настроен и подсоединен к системе, то Вы сможете непосредственно послать на него плот-файл.

Обычно все чертежи перед использованием требуют некоторой доводки с целью комбинирования их на листах бумаги, более удобного цветового оформления, создания на чертежах таблиц, различных вспомогательных изображений, надписей и, наконец, для приведения их в соответствие с Российскими стандартами. Это делается с помощью специализированных графических пакетов, таких как Corel Draw или AutoCAD.

Для импорта плот-файлов в эти пакеты используются стандартные форматы векторной графики: “.plt” или “.dxf”. Система Датамайн имеет возможность непосредственно экспортировать плот-файлы в эти форматы. Первый формат создается процессом **PDRIVE** с установкой любого принтера фирмы HP. Перевод плот-файлов в формат Автокада делается или с помощью специальных макросов (color.mac), или с помощью стандартного интерфейса экспорта информации.

1.5.3 Графические процессы Датамайн

Чертежи могут создаваться не только интерактивно в Окне проектирования, но и в автоматическом режиме с помощью многочисленных процессов Датамайн.

1.5.3.1 Введение

Графические процессы внутри ДАТАМАЙН разделяются на две категории:

- Общие процессы для вычерчивания линий, диаграмм, гистограмм, диаграмм рассеяния, осей, надписей и так далее. Эти процессы работают с любыми файлами, имеющими подходящие данные.
- Специальные чертежи для горных работ. Они включают совмещение данных, вычерчивание различных сечений и изометрических

изображений. В этих процессах, входные файлы имеют, как правило, более специфическое содержание.

В общем случае чертежи внутри ДАТАМАЙН создаются в два этапа; сначала запускается процесс, который преобразует файл данных в плот-файл ДАТАМАЙН, затем этот плот-файл может быть передан на любое имеющееся графическое устройство или на дисплей с использованием подходящего драйвера ДАТАМАЙН. Для примера, плот-файл выводится на графический экран с помощью процесса DISPLA (команда **Tools | Display Plot File**).

Плот-файлы – это стандартные файлы ДАТАМАЙН, и поэтому они могут быть просмотрены и откорректированы с помощью стандартных системных процедур. Эти файлы могут быть скопированы из базы данных с применением процедуры OUTPUT, поэтому имеется возможность передать их в любую другую графическую систему. Изображения могут быть добавлены к существующим плот-файлам простым использованием процесса APPEND. Так, например, координатные оси и сетка могут быть наложены на чертеж блочной модели. Добавляемые плот-файлы, естественно, должны быть созданы с идентичным масштабом, соответствующим базовому чертежу.

Компоновка чертежа, его форма, размер, масштаб и т.д. зависят от требований пользователя. В начале каждого проекта графика в виде гистограмм, различных распределений и диаграмм обычно выводится на экран. На этом этапе детали расположения чертежа не важны. Когда создаются окончательные чертежи, тогда их компоновка, размер и масштаб становятся важными. ДАТАМАЙН разрешает пользователю полностью контролировать все эти аспекты использованием файла прототипа чертежа, который вводится в каждый процесс.

Необходимо всегда помнить, что каждый чертеж, как и любые содержащиеся в нем символы и обозначения в мм, всегда изображаются на бумаге в своих истинных размерах, соответствующих прототипу.

Чтобы получить окончательный завершённый чертеж диаграммы рассеяния, например, необходимо сделать несколько шагов:

- Создать прототип плот-файла (процесс PROTOP),
- Создать чертеж самой диаграммы рассеяния (процесс PLOTAN),
- Добавить к нему рамку и сетку чертежа (процесс PLOTFR),
- Отрисовать необходимые надписи (процесс PLOTTI).
- Наложить все созданные отдельные плот-файлы друг на друга (процесс APPEND)

Поскольку каждый вышеназванный процесс создает свой отдельный плот-файл, то для успешного наложения их друг на друга все составные части должны иметь одинаковые размеры или, другими словами, - тот же самый прототип плот-файла.

1.5.3.2 Создание прототипа плот-файла

Для создания прототипа выводимой на плоттер графики используется процесс PROTOP. Пользователь определяет размер чертежа (в мм) и внутри его - размер и форму района изображения данных (рис. 5П). Масштаб данных по X и Y может быть определен (если необходимо) на этой стадии или позже - непосредственно на стадии вывода чертежа. Когда плот-файл передается на плоттер (процессом PDRIVE), то он будет вычерчен полностью в размерах, обусловленных прототипом.

Перед началом работы по созданию чертежа Вам следует четко представить себе все размеры и масштабы бумаги и вычерчиваемых объектов, а также требуемый тип, стиль символов, сетки, рамки, надписей и т.п.

При запуске процесса PROTOP пользователь в интерактивном режиме должен ответить на все вопросы, предлагаемые программой:

- Выбрать один из стандартных размеров листа бумаги (14 вариантов, в т.ч. – размер, задаваемый пользователем)
- Определить координаты (в мм) нижнего левого угла района изображения (XORIG, YORIG)

- Определить размер района изображения (в мм) по осям X и Y
- Если Вы желаете определить масштаб изображения на этой стадии, то необходимо ввести, по крайней мере, 2 пары данных из перечисленных ниже:
 - XMIN, YMIN – XMAX, YMAX (минимальные и максимальные координаты ваших данных)
 - XMIN, XSCALE – YMIN, YSCALE (минимальные координаты данных и масштаб изображения). Масштаб по осям X и Y задается в пользовательских единицах (например – метрах), содержащихся в 1 мм чертежа. В этом случае масштаб, равный 1м в 1 мм будет соответствовать обычному масштабу 1:1000.
 - XMAX, XSCALE - YMAX, YSCALE (максимальные координаты данных и масштаб изображения)

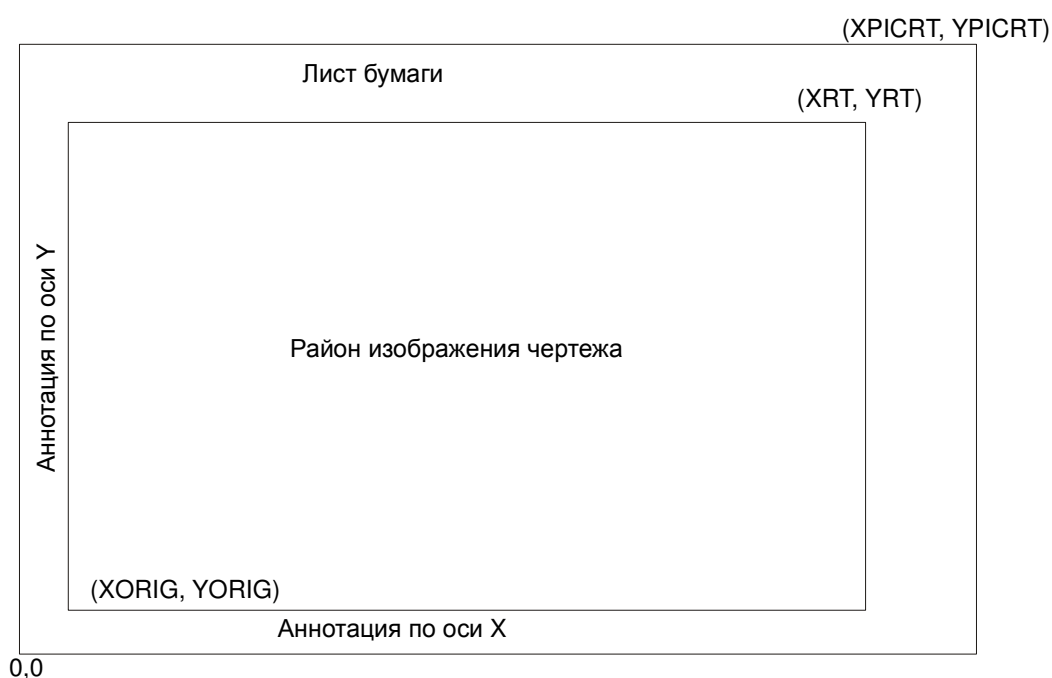


Рисунок 5П. Параметры размещения чертежа на листе бумаги

Если Вы задали слишком маленькое пространство для аннотации (параметры XORIG, YORIG), то получите предупреждение программы, что Ваши текстовые данные могут быть потеряны.

1.5.3.3 Структура плот-файла

Все плот-файлы, включая прототипы, имеют следующие поля (кроме полей файла прототипа, описанных выше):

- X - координата в мм.
- Y - координата в мм.
- S1 - вторая X координата, или высота знака (или символа) в мм, зависящая от величины поля CODE
- S2 - вторая Y координата в мм, или угол наклона символов в градусах по часовой стрелке от оси X или ширина символа в мм, зависящая от величины поля CODE
- CODE - цифровое поле, определяющее тип символа, контура, линии, стиля изображения и т.п.
- CHARSIZE - высота знака (символа) в мм, по умолчанию 4.
- ASPRATIO - отношение ширины к высоте знака, по умолчанию 0.9.

- COLOUR - номер цвета.

Отметим, что эта структура делает каждую строку независимой от других. Все линии характеризуются начальными и конечными точками, а положение, размер и угол наклона специфицируются для каждого знака (символа). Если единичная строка будет утеряна или испорчена, результат этого на чертеже будет ограничен одной «бракованной» линией, рамкой, символом или знаком, имеющим отношение к испорченной строке. Таким образом, всегда остается возможность откорректировать этот плот-файл и получить из него качественный чертеж.

1.5.3.4 Подробнее о масштабировании чертежа

Все единицы плот-файла заданы в мм и соответствуют истинным размерам чертежа. Однако помните, что оба процесса PDRIVE (вывод плот-файла на печать) и DISPLA (просмотр его на экране) также позволяют установить нужный масштаб на выходе. Ниже мы будем предполагать, что файл изображается или выводится на плоттер в его истинных размерах.

Внутри графических процессов единицы пользовательских данных наносятся на чертеж в установленных границах изображения, которые задаются в мм. Границы реальных данных задаются полями плот-файла: XMIN, XMAX, YMIN, YMAX, а масштаб изображения – полями: XSCALE и YSCALE.

Например: XSCALE = 0.02 пользовательских единиц на мм означает 2 пользовательских единицы (обычно – метров) на 100 мм.

Отметим, что если пользовательские единицы даны в метрах, то величина XSCALE, равная 0.02, эквивалентна стандартному масштабу 1:20. Другими словами, если пользовательская единица - метр, то, чтобы получить значения XSCALE и YSCALE, требуется разделить стандартный масштаб на 1000. Таким образом, масштаб 1:1000 дает величину XSCALE и YSCALE = 1, а масштаб 1:5000 - 5.

В общем случае, если требуемый масштаб 1:S и f - размер пользовательских единиц в метрах, то:

$$XSCALE (YSCALE) = S * F/1000.$$

В некоторых случаях бывает необходимо получить разный масштаб для направлений X и Y. Это легко делается с помощью установки соответствующих значений XMIN, XMAX, YMIN, YMAX, XSCALE и YSCALE.

Как показано выше, пользователь должен гарантировать, что чертеж будет соответствовать заданному размеру района данных (изображения). Это достигается правильным подбором пределов изображения и масштаба.

Выше было сказано, что для задания нужного масштаба возможно ввести любые из 2-х пар величин: XMIN, XMAX и XSCALE или YMIN, YMAX и YSCALE. Однако, они должны быть совместимыми и корректно размещать данные внутри района изображения. В большинстве случаев из-за ошибки масштабирования процесс создания чертежа будет прекращен. Такой же «результат» будет получен, если во входном прототипе отсутствует информация о масштабе, или она не была затем введена при запуске процесса создания чертежа.

Хотя в принципе, возможно, переопределить любую из величин: XMIN, XMAX, YMIN, YMAX, XSCALE и YSCALE (определенных в прототипе плот-файла) введением новых значений при запуске графических процессов, однако это не рекомендуется делать, так как существует большой шанс получить разный масштаб суммарного чертежа при объединении составляющих его плот-файлов. Еще необходимо запомнить, что во входном прототипе устанавливаются обычно все три параметра: XMIN, XMAX и XSCALE, поэтому все они должны быть переустановлены в процессе любой корректировки.

Процесс экранного просмотра плот-файлов DISPLA может быть использован для создания истинного размера изображения применением параметра @TRUESIZE=1. Если имеется возможность распечатки изображения экрана, и требуется точное соблюдение в ней размеров изображения, то таким образом можно получить твердую копию с реальными размерами.

Для любого периферийного графического устройства 1 мм плот-файла обычно соответствует 1 мм на чертеже, что достигается с помощью внутреннего графического драйвера ДАТАМАЙН. Таким образом, необходимо только создать предварительно масштабированный плот-файл в его истинном размере, чтобы получить правильное изображение на чертеже. Это достигается установкой требуемого параметра масштаба @SCALE = «-» (отсутствие данных) в процессе PDRIVE.

1.5.3.5 Компоновка нескольких изображений на одном чертеже

Если требуется создать комплексные чертежи, которые необходимо разместить на таком же листе бумаги, то для этого в Датамайн существует несколько способов:

- Применение редактора изображения PICTED для конструирования требуемого составного чертежа на экране и записи его в плот-файл.
- Применение параметров XOFFSET и YOFFSET в процессе PDRIVE для установления начала района изображения (в мм) чертежа на исходном листе.
- Задание нескольких прототипов плот-файлов, по одному для каждого рисунка. Площадь чертежа будет та же самая в каждом прототипе, а размеры районов данных - разные. Когда плот-файлы соединятся вместе, составляющие чертежи будут располагаться на одном общем чертеже.

Однако, самый удобный способ – доводка чертежей Датамайн в графических редакторах Corel Draw или AutoCAD. Там операция размещения нескольких чертежей на одном листе выполняется очень быстро и легко.

1.5.3.6 Основные графические процессы Датамайн

Ниже перечислены только основные графические процессы, которые используются в Датамайн-Студио. В действительности их намного больше, и значительное количество из них осталось от старых версий системы. Часть устаревших процессов выполняет вычерчивание только какой-то специфической информации, например, таблиц или текста, аксонометрических изображений и т.д. Многие из них с большим эффектом заменены командами Окна проектирования.

Основные графические процессы ДАТАМАЙН:

CONTOU	- Создает изолинии по блочной модели месторождения
ISOHOL	- Чертеж данных опробования в изометрии.
ISOMET	- Чертеж блочной модели в изометрии.
ISOPER	- Чертеж периметров и линий в изометрии.
ISOTRI	- Чертеж каркасной модели в изометрии.
PLOTAN	- Диаграммы разброса с аннотацией
PLOTAR	- Стрелки, векторы.
PLOTCN	- Создает изолинии в плане или на вертикальных сечениях по точкам, каркасам или блокам.
PLOTCH	- То же что и PLOTCN, но значительно больше возможностей
PLOTDA	- Диаграммы разброса с символами.
PLOTFR	- Оси и рамки чертежа.
PLOTFT	- То же, но в линейном, логарифмическом и вероятностном представлении.
PLOTFX	- Создает основу чертежа (рамки, штамп, заголовки и т.п.).
PLOTGR	- Линии сетки под любым углом.
PLOTNI	- Гистограммы, графики.
PLOTLI	- Линии.
PLOTLN	- Отрезки линий.
PLOTMX	- Сечения блочной модели с аннотацией.
PLOTPA	- Периметры.

PLOTPE - То же.
 PLOTPI - Множество числовых переменных в виде цветных секторов с радиусами, пропорциональными величине переменной
 PLOTSI - Диаграммы разброса. Объединяет возможности PLOTAN, PLOTDA, PLOTVA и частично PLTLAY.
 PLOTSK - Аннотированные сечения по скважинам по технологии Kidd Creek.
 PLOTSX - Аннотированные сечения по скважинам.
 PLOTTI - Заголовок чертежа.
 PLOTTR - Каркасные модели.
 PLOTTX - Вычерчивает текст из заданного файла.
 PLOTVA - Многомерная диаграмма разброса (до 10 полей).
 PLOTWS - Сечения каркасной модели.
 PLTABL - Выводит на плоттер таблицы.
 PLTLAY - Интерактивное редактирование и дополнение чертежей.
 SPLICO - Создает изолинии в плане или на вертикальных сечениях по точкам, каркасам или блокам.

Часть 2. ОСНОВЫ ЛИНЕЙНОЙ ГЕОСТАТИСТИКИ

2 Введение

Одним из мощных и многократно проверенных инструментов для получения достоверной информации о запасах полезного ископаемых в недрах, оптимального планирования их отработки и проведения геологоразведочных работ, является **геостатистика**, используемая большинством горных и геологических предприятий мира.

За период более чем 40 лет геостатистика доказала свое превосходство, как эффективный метод оценки запасов большинства типов полезных ископаемых (драгоценные металлы, железная руда, цветные металлы, нефть и др.). Сейчас она с успехом применяется в экологии, материаловедении, океанографии и даже в экономике.

Основной инструмент геостатистики - **вариограмма**, используется для определения пространственной корреляции между произвольно размещенными реальными данными наблюдений. Как только экспериментальная вариограмма будет описана математической функцией, эта модель может быть использована для оценки неизвестных значений исследуемого параметра в любой точке данного пространства. Эта процедура оценивания называется **кригингом** по имени южно-африканского инженера, Дани Криге (Danie Krige), который вместе с с Хербертом Сичелом (Herbert Sichel) впервые применил геостатистику на золоторудном руднике Витватерсренд (Witwatersrand) в ЮАР. После прочтения первых статей Криге в шестидесятых - семидесятых годах, французский математик, Джордж Матерон (Georges Matheron), разглядел большие перспективы этих выводов и начал разрабатывать новую теорию. До появления учения о вариограммах и различных видах кригинга основным предметом использованием геостатистики в горном деле было оконтуривание минерализованных зон рудных месторождений.

К сожалению в странах СНГ геостатистика до настоящего времени не находит широкого применения. Основные причины этого связаны с отсутствием (или недостатком) на производстве специалистов требуемой квалификации, необходимой технической базы, "засильем" традиционной (ручной) технологии оценки запасов и планирования работы, отсутствием обучения, учебников и т.д. и т.п.

В 1995 г вышла в свет одна из первых книг по геостатистике на русском языке, рассчитанная прежде всего на специалистов – практиков [1].

Этот раздел – исправляет и дополняет предыдущее издание. Он, как и первое издание, рассчитан в первую очередь на геологов и горняков - практиков, которые имеют вузовскую подготовку по статистике и теории вероятностей и хотят разобраться с такими часто употребляемыми понятиями, как "вариограмма, кригинг, эффект основания и т.п."

Автор не стремился дать здесь полное описание всех тонкостей **геостатистической теории**, которые искушенный читатель может найти в книгах и

статьях, упомянутых в прилагаемой к данному разделу библиографии. Более того, эта книга написана не профессионалом - геостатистиком, а горным инженером для геологов и горных инженеров. Математический аппарат, приводимый в книге, очень ограничен и оставлен лишь там, где без него не обойтись.

Этот раздел рассматривает только линейную часть геостатистики. Другие, более сложные разделы нелинейной, непараметрической теории можно найти в основном в иностранных изданиях [2,3]. Он состоит из 5 глав, введения и заключения. Материал в нем излагается в последовательности, соответствующей реальному процессу подготовки информации и проведения геостатистических исследований и расчетов. При этом достаточно подробно описаны все стадии этой работы, чтобы начинающий пользователь испытывал как можно меньше дискомфорта в усвоении материала и повторении рекомендаций пособия.

Автор надеется, что этот раздел содержит требуемую пропорцию теории и практики, которая позволит инженерам и геологам, особенно живущим в отдаленных регионах, применять геостатистику для решения их собственных задач.

Вторая глава этой книги в общих чертах характеризует геостатистику и ее место в горном производстве. Глава 3 посвящена процессу сбора и первичной обработки исходной информации, а также основным понятиям геостатистической теории. В четвертой главе описаны все составляющие структурного анализа месторождений, включая моделирование вариограмм. Глава 5 связана с проблемами кригинга. И, наконец, в шестой главе описаны задачи оценки извлекаемых запасов и прогнозирования рудопотоков горного предприятия.

Автор надеется, что излагаемый здесь материал позволит специалистам более глубоко осознать и с большей пользой применять методы оценки минеральных ресурсов, изложенные в первой части этой книги.

При написании некоторых глав автор использовал материал (в основном – теоретический) из широко известной книги Маргарет Армстронг [4], которая является учебным пособием Центра Геостатистики в Фонтенбло.

3 Место геостатистики в горном производстве

Несколько слов о геостатистике

В 60-х годах нашего столетия в мире появилась и начала стремительно развиваться новая теория оценки пространственных переменных - ГЕОСТАТИСТИКА.

Основа этой теории была заложена эмпирическими исследованиями Д.Криге, Х.Девийса, Ж.Серра и некоторых других ученых, которые пользовались главным образом материалами по месторождениям драгоценных металлов Южной Африки. Значительный вклад в развитие математического аппарата теории внес французский ученый - Ж.Матерон.

Особенно мощный толчок теория получила с развитием компьютерных технологий, без которых невозможна обычная в геостатистике обработка громадных массивов первичных геологических данных. Сегодня практически ни одно месторождение на Западе не оценивается без применения геостатистики. Используется она и на некоторых горных предприятиях СНГ (МНПО «Полиметалл», АПРОСА и некоторых других). Более того, эта теория стремительно расширяет сферу своего применения. Океанография, гидрогеология, лесное и сельское хозяйство, почвоведение, экология, материаловедение - вот далеко не полный перечень областей, где геостатистика эффективно используется.

В Фонтенбло (Франция) работает Центр геостатистики, у которого имеется большая история обучения специалистов, начавшаяся еще в семидесятых годах. В течение более чем двадцати лет на курсах повышения квалификации Центра свыше 150 инженеров и геологов получили квалификацию горного геостатистика. Цель этих 9-ти месячных курсов, которые частично финансируются французским правительством, готовить профессиональных геостатистиков для работы в горной промышленности.

Выпускаются специальные бюллетени по геостатистике во Франции и США. Регулярно проводятся Международные Геостатистические Конгрессы. Издано несколько десятков монографий и сотни статей во многих странах мира .

Возникает вопрос, почему геостатистика получила такое широкое распространение?

Во-первых, она подводит прочный теоретический фундамент под богатый интуитивный оценочный опыт геологов, и, таким образом, она тесно связана с практикой.

Во-вторых, в отличие от методов классической статистики, используемых в оценке природных ресурсов, геостатистика позволяет получать несмещенные оценки и минимальную погрешность расчетов. Так при наличии корреляционной связи между пробами мы получаем погрешность в 2 - 3 раза меньше, чем при методе многоугольников, и на 20-50% меньше, чем при методе обратных расстояний.

Геостатистика располагает надежными инструментами для оптимизации программ опробования и оценки месторождений, контроля и управления процессом формирования качества рудопотоков на горных предприятиях.

Она способна решать на одной базовой исходной геологической информации многие геолого-оценочные, проектные и плановые задачи, возникающие на всех стадиях разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Для этого имеются развитое программное обеспечение и методология, а также громадный практический опыт геологов и горняков во всем мире.

Как и любая другая теория, геостатистика имеет свою область применения и не может использоваться эффективно повсеместно. Необходимое условие для нее наличие достаточно надежной корреляционной связи между пробами в пространстве и отсутствие в исследуемой зоне резких изменений свойств оцениваемой среды (тектонические нарушения и т.п.). Второе практически обязательное условие - это наличие достаточно мощного компьютера для обработки массивов первичных геологических данных.

Какие классы задач может решать геостатистика?

Первым важным шагом в технико-экономическом обосновании горного проекта является определение геологических запасов полезных ископаемых месторождения. Геостатистика может помочь горному инженеру точнее оценить общий тоннаж руды на участке, среднее содержание металлов и качество руды по имеющейся информации, и таким образом поможет ему решить будет ли выгодно освоение данного проекта.

Ни один из методов оценивания не может дать точного реального значения искомой величины, а делает это с какой-то неизбежной погрешностью. Поэтому важно понимать, как серьезна эта обязательная ошибка. Например, специалисту, принимающему решение, необходимо знать, с какой точностью оценено содержание металла в залежи: $\pm 0.1\%$ или $\pm 1\%$. Наряду с очень достоверными оценками, геостатистика позволяет измерять точность этих оценок в виде дисперсии оценки (кригинга). Это одно из главных преимуществ геостатистики перед традиционными методами оценивания запасов.

Дисперсия оценивания, вычисленная при помощи геостатистики, зависит от выбранной модели вариограммы для данного месторождения и от расположения проб в его массиве, но не от результатов их испытания. Таким образом, для определенного месторождения или района сначала выбирается вариограмма, затем по ней рассчитывается дисперсия оценивания. Если выполнить эти расчеты для нескольких возможных вариантов моделей опробования, то можно найти наиболее экономичную сеть, которая дает необходимую точность оценки запасов

Как только решение о разработке месторождения принято, необходимо произвести поблочную оценку тоннажа и среднего содержания металлов в данном месторождении. Блоки в этом случае представляют собой некоторые объемы руды, на которые разбиваются извлекаемые запасы в процессе добычи, например: сменную, суточную, месячную отработку карьера, рудника или экскаватора и т.д. Кроме стандартного оценивания тоннажа руды и содержания в ней металла геостатистика обеспечивает оценку всех сопутствующих показателей качества. Для угля, например, такая оценка включает определение содержания золы, серы, теплотворной способности и т.д. Для железной руды - содержание кварца и фосфора (иногда марганца), потери при прокаливании и т.п.

Хотя большинство добывающих компаний обычно предпочитают поблочную оценку качества руды составлению карт горизонтов в изолиниях, геостатистика может быть использована для оценки параметров качества руды в узлах моделируемой регулярной сети. После этого может быть использован любой стандартный пакет построения изолиний для составления погоризонтных планов качества. Точность таких

вычислений существенно больше, чем у других методов создания и оценки регулярной сети.

Кригинг разработан для выполнения линейной оценки ресурсов с наименьшей дисперсией оценки, поэтому он обладает эффектом «сглаживания», т.е. изменчивость полученных с его помощью оценок будет меньше, чем у других «несмещенных» методов и значительно меньше, чем изменчивость реальных величин. Это значит, что если проверку горных проектов выполнять на модели, созданной кригингом, то мы получим рудопотоки с существенно меньшей изменчивостью качества руды, чем в действительности.

Для задач, связанных с прогнозированием изменчивости рудопотоков используется геостатистическое условное моделирование месторождений. В главе 5 дается описание ситуаций, когда следует использовать условное моделирование вместо кригинга.

Во многих случаях горные инженеры должны предсказать извлечение и содержание металлов в концентрате, когда при добыче извлекаются (выемочные) блоки руды установленного размера с содержанием металла выше бортового. Когда сеть опробования имеет размеры, сопоставимые с размером выемочных блоков, то их качество можно оценить индивидуально с необходимой точностью. Но если блоки имеют размеры намного меньшие, чем размер сети, то такое оценивание будет заблуждением и приведет к серьезным ошибкам. Самое большое, что можно сделать в этой ситуации, это предсказать долю извлекаемых выемочных блоков и их среднее содержание. Это – задача нелинейной геостатистики.

Однако, применяя геостатистику на практике, нельзя забывать о том, что это, прежде всего, *ОЧЕНЬ ТОЧНЫЙ И ДОСТАТОЧНО СЛОЖНЫЙ ИНСТРУМЕНТ*, дающий в распоряжение специалиста большой набор новых возможностей, грамотное и творческое использование которых позволяет получать намного больше дополнительной информации об объекте (при том же количестве исходных данных) и принимать значительно более обоснованные проектные, плановые и управленческие решения.

Эффективность применения этого инструмента зависит от квалификации специалиста и часто носит исследовательский характер. Недаром геостатистические расчеты часто называют Искусством в самом лучшем смысле этого слова. Не очень давно в Экологическом Агенстве США провели такой эксперимент. Один и тот же массив данных раздали 12 независимым специалистам в области геостатистики и попросили их выполнить оценку руды в блоке. В итоге не было получено даже двух одинаковых результатов, а разброс оценок был очень большой. Специалисты при решении одинаковой (казалось бы) задачи использовали различные модели вариограмм, разные виды кригинга и другие аргументы и методы, которые дает в их распоряжение геостатистика.

К сожалению в странах СНГ эта теория пока не получила широкого распространения. Это связано прежде всего со сложившейся у нас жесткой бюрократической системой подготовки, прохождения и утверждения геологической информации, которая пока не стимулирует внедрения ЭВМ и повышения эффективности геологической, проектной и управленческой деятельности.

Сопутствующей причиной можно назвать отсутствие на предприятиях в достаточном количестве мощных персональных ЭВМ, программных средств и методологии для практического использования геостатистики.

В странах СНГ пока еще мало специалистов, хорошо знакомых с теорией геостатистики, в большинстве горных и геологических ВУЗов она не преподается, крайне недостаточно издается учебной, научной и производственной литературы в этой области. Кроме того, у специалистов сложился определенный психологический барьер, связанный с исследовательским характером геостатистических расчетов, использующих к тому же достаточно сложный математический аппарат.

Однако, положение быстро меняется. Предприятия и организации меняют форму собственности, достаточно интенсивно насыщаются современной компьютерной техникой и программными средствами. Во многих местах энтузиасты пробуют геостатистику и убеждаются, что она работает лучше традиционных методов. В некоторых ВУЗах ввели специальные факультативы. Вышли в свет несколько публикаций русских авторов, описывающих основы теории и опыт ее применения.

В 1988 г. в Петрозаводске прошел Первый Всесоюзный семинар по геостатистике, который собрал всего 14 человек. Но уже в 1990 г. на Второй семинар в Петрозаводск приехало почти 200 специалистов и ученых, которые сделали около 40 докладов и сообщений по данной теме.

К сожалению крупные политические и экономические неурядицы, связанные с перестройкой, внесли свои коррективы и в этот процесс. В частности не удалось создать Всесоюзную Ассоциацию Геостатистики и привлечь для работы в ней ведущих сотрудников Институты и предприятий горно-геологического профиля. На состоявшийся в 1993 г. в Петрозаводске Третий семинар по геостатистике приехало всего около 30 специалистов. В последующие годы эта работа носила достаточно локальный характер.

Тем не менее, положение в экономике стабилизируется. Все больше на наших горных предприятиях и в геологических организациях появляется специалистов, которые считают использование геостатистики повседневной обычной работой. В стране регистрируются и начинают работу совместные и, иногда, чисто иностранные горные компании, широко применяющие компьютерные технологии. и геостатистику на всех этапах своей деятельности.

Таким образом, в ближайшее время геостатистика несомненно займет и в странах СНГ свое законное место, позволяя специалистам принимать оптимальные решения по наиболее эффективному использованию минерального сырья.

3.3 Место геостатистики в компьютерных технологиях

Обычно геостатистические расчеты выполняются с целью наиболее точной оценки запасов руды при моделировании месторождения и его участков, блоков и т.п., а также для прогнозирования качества рудопотоков будущего предприятия. Стандартная последовательность обработки геологической информации при этом имеет вид:

а. ввод в компьютер первичной геологической информации: параметров бурения разведочных скважин и пространственного размещения проб, данных опробования, топографии поверхности, геологических профилей и планов, чертежей сети существующих горных выработок и т.п.;

б. проверка и корректировка введенной информации;

в. статистическая обработка данных;

г. геостатистическое исследование анизотропии изменчивости массива месторождения и создание пространственных ковариационных моделей (вариограммных моделей) для каждого участка, рудного тела (и т.п.) месторождения;

д. геометризация рудных тел месторождения, поверхности топографии, различных геологических поверхностей и зон;

е. создание блочной модели месторождения; интерполяция показателей качества руд, физико - механических, гидрогеологических и др. характеристик массива и литологии;

ж. оценка запасов полезных ископаемых по месторождению, в т.ч. - оценка извлекаемых запасов.

з. проектирование и планирование горных работ

Пункт "г" является первым и самым важным этапом геостатистического исследования месторождения, на котором моделируется 3-х мерная структура изменчивости массива. От надежности полученных здесь моделей зависят результаты всех последующих этапов геостатистических расчетов.

Геостатистика далее может применяться на всех последующих стадиях исследования и обработки месторождений. Так при геометризации залежей иногда приходится интерполировать (привлекая аппарат кригинга) поверхности рудных тел, топографии, тектонических нарушений и т.п.

Особенна важна роль геостатистики при интерполяции показателей качества руды и параметров массива в рамках блочной модели месторождения. В результате этой операции мы получаем наиболее достоверные оценки всех учитываемых показателей для каждого элементарного блока, содержащего руду или породу. Кроме

того, используемые здесь различные виды кригинга позволяют нам оценить погрешность этих оценок, что пока недоступно для любого другого традиционного метода интерполяции.

Оценка извлекаемых запасов - это снова геостатистика! Здесь мы имеем возможность составить прогноз о том, сколько и каких запасов будет извлечено при работе реального карьера или шахты в будущем.

Следующая стадия освоения месторождения - **проектирование**.

На этом этапе геостатистика применяется для моделирования процессов извлечения руды из недр. Геостатистический метод условного моделирования позволяет создать искусственный 3-х мерный массив с изменчивостью, соответствующей полученной вариограммной модели и учетом реальных показателей отобранных проб. На такой модели можно "проиграть" различные варианты технологических параметров горных работ (высоту уступа, число забоев и их производительность, направление отработки, последовательность выемки блоков и т.д. и т.п.) и выбрать оптимальные проектные решения.

Кроме того, такое моделирование позволяет оценить риск от неподтверждения геологической информации.

На этой же стадии обычно проектируется система рудопотоков горного предприятия. Здесь также можно использовать геостатистику для расчета параметров усреднительных сооружений, размещения добычных забоев и некоторых других элементов системы.

Наконец, на стадии отработки месторождения геостатистику используют для расчета элементов системы опробования качества продукции (руды), детальной оценки запасов выемочных блоков, оптимизации размещения скважин (выработок) эксплуатационной разведки и т.д.

Очень большую отдачу от использования геостатистики могут получить геологи, занимающиеся прогнозированием, проектированием разведочных сетей, оценкой запасов на самых ранних стадиях разведки залежей.

Перечень возможностей геостатистики необычайно велик, поэтому каждый грамотный специалист может найти для себя ту область, где геостатистика позволит ему получить дополнительную информацию для принятия более обоснованных решений.

3.4 Основной вопрос: работает ли геостатистика?

Рассматривая возможные применения геостатистики в горной промышленности, ключевым обычно является вопрос: "Работает ли геостатистика?" или "Работает ли она лучше, чем альтернативные методы оценки запасов?". Без комментариев приведем ниже статью доктора Стефана Хенли – геохимика, одного из создателей компьютерной системы Датамайн, автора книги о непараметрической геостатистике.

- **Геостатистика Матерона, появившаяся более чем 30 лет назад, представлялась эффективным набором инструментов для оценки минеральных ресурсов и запасов. Однако, практический успех не обязательно подразумевает надежное теоретическое основание. Считается, что квантовая механика и Христианство «работают» хорошо на практике, но все же многие рассматривают теоретические основы обоих достаточно проблематичными.**

- **Матерон разработал Теорию регионализованной Переменной на основе использования линейной статистической модели. Особенно эффективно она работает в основном методе оценки – линейном кригинге, названном в честь одного из пионеров геостатистики – профессора Дани Криге. По сути дела – это простой метод взвешенного скользящего среднего. Он сильно похож на метод обратных расстояний за исключением того, что здесь вводится дополнительный (кроме расстояния) аргумент – степень корреляционной связи между точками массива в данном направлении. Тем не менее, кригинг остается линейным методом и дает наилучшие несмещенные оценки, что делает его «ИДЕАЛЬНЫМ». Кроме того, кригинг, наряду с величиной оценки,**

позволяет получить ее дисперсию, т.е. представление о величине отклонения оценки от истинного значения.

- Если бы геостатистики остановились здесь, все было бы прекрасно. Но, как и предполагалось, появились проблемы. Первая и самая большая – то, что пространственная корреляционная функция оцениваемого массива остается неизвестной. Она обычно оценивается с помощью построения вариограмм, к которым подбирается та или другая стандартная модель. При этом интерпретация вариограмм – вещь сугубо субъективная, и остается такой же «наукой», как толкование снов по Фрейдю. Геостатистики разработали множество «правил большого пальца» для интерпретации вариограмм, но до сих пор это «искусство» остается в высокой степени субъективным. Тем не менее, существует метод (Кросс-валидейшен – перекрестная проверка), который позволяет с помощью выбранной модели вариограммы оценить содержания в точках, где известны истинные значения.

- Дисперсия оценки, которая на первых порах была объявлена геостатистиками, как одно из уникальных преимуществ теории, впоследствии приобрела дурную славу. Сначала пользователи поняли, что эта категория рассчитывается по вариограмме и пространственному размещению точек данных, что в большинстве случаев не связано с самими данными. Это означает, что полученная дисперсия не зависит от локальных свойств множества данных, которые могут серьезно отклоняться от глобальной вариограммы, характерной для всего месторождения. Например, для «кармана» с высоким содержанием дисперсия оценки будет такая же как и для бедной зоны, что совершенно нереалистично. Во-вторых, если используется любой нелинейный метод оценки, то использование дисперсии оценки теряет всякий смысл.

- Другая важная проблема – стационарность, т.е. предположение о равенстве среднего и дисперсии для любых частей месторождения. Естественно, что для большинства извлекаемых минеральных ресурсов это условие не соблюдается – горняки выбирают главным образом богатые руды, переработка которых дает прибыль и т.п. Линейный кригинг не работает хорошо там, где модели рудных тел имеют отклонения от стационарности. Хотя в среднем по залежи оценка будет приемлемой, для отдельных частей отклонения от истины могут быть серьезными.

- На первом этапе пытались решать эту проблему с помощью универсального кригинга, позволяющего учитывать тренд. Здесь в систему уравнения кригинга дополнительно вносится полиномиальная функция пространственных координат точек данных. Эта функция имеет тот же вид, что и при расчете классической поверхности с трендом. Недостатком метода является чувствительность вариограмм к форме предполагаемой поверхности, поэтому приемлемое решение получали путем многократных расчетов с последовательным приближением к «истине».

- Более поздний выход был найден в использовании теории Обобщенных ковариаций ("generalised covariances"), в котором для поиска трендовых поверхностей были использованы производные более высоких порядков. Эти методы не нашли широкого применения из-за их сложности и внутренней нестабильности получаемых решений. Кроме того, система кригинга здесь становится нелинейной, т.е. теряет свои основные преимущества.

- Еще одна проблема геостатистики – форма распределения данных. Хотя, строго говоря, теория регионализированных переменных не требует нормального распределения самих данных, но предполагает нормальное распределение ошибок. К сожалению распределения содержаний для большинства месторождений драгоценных и цветных металлов очень далеки от нормальных, а распределения ошибок в таких условиях тоже, как правило, ненормальны. Даже, если второе распределение близко к Гауссову, то линейный кригинг в этих условиях будет давать недооценку

богатых зон и переоценку – бедных. Для месторождений с положительной анизотропией распределения это приводит к серьезной недооценке богатых участков.

- **Предлагались разные пути решения этой проблемы. Прежде всего, для золотых месторождений с характерным логнормальным распределением содержаний предлагалось применять логнормальный кригинг. Но, кроме того, что метод был нелинейным, и вновь терялись все его главные преимущества, реальные распределения, даже после логарифмирования, достаточно серьезно отличались от нормальных и давали существенные ошибки в расчетах. Другая группа методов предусматривает предварительное приведение реального распределения данных к Гауссову, затем - расчет кригинговых оценок для этого массива и, наконец, - обратное преобразование полученных оценок к форме реального распределения. Хотя кригинг в этих условиях дает прекрасные результаты, использование двойного нелинейного преобразования данных снова сводит на нет все его преимущества. Кроме того, эти методы достаточно сложны для применения в производственных условиях.**

- **Для практического использования в условиях любых распределений исходных данных был разработан индикаторный кригинг. Он очень легок для понимания. Определяется борт, по которому проходит граница «руда/не руда». Все значения содержаний ниже борта получают значение 1, а выше борта – 0. Для нового массива рассчитываются вариограммы, подбирается модель и выполняется интерполяция кригингом. Если такую оценку сделать для нескольких бортов, то оценку содержания в блоке или точке можно получить объединением частных оценок, рассчитанных для всех используемых бортов. Хотя этот метод был многократно успешно использован на практике, он является нелинейным со всеми вытекающими отсюда последствиями. Вместо использования статистической модели на непрерывных данных здесь применяются дискретные массивы данных (1 и 0), что напоминает работу каменотеса с плотницким инструментом (долотом). Это можно делать, но долота жалко! Выяснилось также много других сопутствующих практических проблем, связанных с этим методом. Однако он дает неплохие результаты и может применяться до тех пор, пока Вы не будете слишком глубоко задумываться о его теоретических основах.**

Возможной корневой причиной всех этих проблем – и стимулом для параллельного развития других теорий – являются серьезные ограничения теории регионализированных переменных Матерона. «Бриллиант» теории был развит применительно к линейной статистической модели еще в предкомпьютерный период. Бурное развитие геостатистики, напоминает эволюцию Птолемеевой системы мира в средние века. Возможно пришло время более настойчиво искать и разрабатывать новую теорию пространственной оценки данных.

3.5 И все же некоторые комментарии

Несмотря на то, что не все эксперты считают геостатистику «средством от всех болезней», она сегодня пока является действительно эффективным средством, позволяющим специалистам получать намного больше информации из данных, которыми они располагают. Обычно специалисты используют геостатистику параллельно с другими методами, и, если она дает существенное отличие результатов, то должно быть представлено дополнительное обоснование аргументов, которые были использованы в геостатистических расчетах.

Автор не склонен считать геостатистику «панацеей», видит все ее «непонятные» места и считает, что при достаточном обосновании и честной кропотливой работе она способна приносить ощутимые результаты. ТЕМ БОЛЕЕ, ЧТО СЕРЬЕЗНОЙ АЛЬТЕРНАТИВЫ ЭТОЙ ТЕОРИИ ПОКА НЕТ.

4 Подготовка и предварительная обработка исходной геологической информации

Введение

В главе рассматриваются общие вопросы, связанные с предварительной и очень важной стадией геостатистического исследования – сбором и подготовкой исходных данных. Подробное описание процесса подготовки исходной информации для ввода в компьютер находится в соответствующем разделе части I.

Вся геологическая информация перед геостатистической обработкой должна быть должным образом «просеяна»: очищена от ошибок и некорректных значений, отсортирована по нескольким критериям и приведена в сопоставимый вид. Все полученные при этом массивы данных должны пройти начальную статистическую обработку.

В главе также рассматриваются вопросы, связанные с оценкой стационарности информации и начальные сведения из теории случайных функций.

Для читателей, не искушенных в математике, приводятся некоторые базовые сведения, без которых понимание отдельных важных разделов книги будет неполным.

4.3 Сбор исходной информации и ввод ее в компьютер

Для геостатистического исследования месторождения необходимо располагать соответствующей исходной геологической информацией. Обычно это результаты опробования разведочных выработок (скважин, шурфов, канав, рассечек, восстающих и т.д.). Как правило, эти данные представляют собой введенную в компьютер таблицу, в которой содержатся пространственные координаты центров проб и набор параметров, относящихся к этим пробам.

При подготовке файлов исходных данных следует присваивать каждой пробе все имеющиеся признаки, характеризующие ее отношение к рудному телу, профилю, типу руды, зоне, виду и срокам опробования и т.п. Все эти признаки вводятся либо с помощью кодирования, либо словесным описанием.

Для того, чтобы правильно распределить полученную информацию по пространственно обособленным объемам массива, необходимо располагать каркасными моделями плоскостей тектонических нарушений, замкнутыми моделями рудных тел, зон структурно отличающихся участков залежей и т.д.

Обычно в компьютер в виде отдельных таблиц вводятся данные по:

- Координатам устьев разведочных выработок
- Инклинометрии
- Результатам опробования выработок, литологии, гидрогеологии и т.д.
- Маркшейдерские замеры трасс подземных и поверхностных геологических выработок

В дальнейшем эти данные строго проверяются на наличие ошибок и корректируются.

Далее (обычно спомощью дигитайзера или сканера) вводится требуемая графическая информация:

- Топография поверхности
- Трассы траншей и контуры подземных выработок
- Контуры рудных тел, зон, литологических типов пород, тектонические нарушения и т.п.

Сформированные отдельные файлы первичных данных прежде всего должны быть объединены для последующего использования в работе. Результатом этой стадии является автоматический расчет истинного положения в пространстве каждой пробы с использованием координат устья, глубины расположения пробы, и данных инклинометрии (если они есть). Полученный итоговый файл включает всю информацию, содержащуюся внутри всех трех первоначальных файлов, и может быть рассмотрен на экране компьютера (Рис.3.1).

После этого все введенные сведения о месторождении должны быть снова проверены на корректность и отсутствие ошибок. В каждой горной компьютерной системе существует набор стандартных проверок корректности исходных данных, которые помогают избавиться от самых грубых ошибок, перенесенных из первичных материалов или полученных в результате небрежного ввода данных в компьютер.

Однако окончательное выявление и исправление ошибок производится путем вывода и рассматривания на экране компьютера совместно контуров рудных тел, проб, топографической поверхности и т.д. Этот этап работы похож на подводную часть айсберга, которую обычно не видно, но размеры ее значительно больше надводной части.

После ввода и корректировки исходной информации производится ее статистическая обработка. Но для получения корректных результатов предварительно следует выполнить 3 процедуры, подробно описанные в части 1:

- Разделить массив проб на подмножества, соответствующие отдельным структурным участкам месторождения

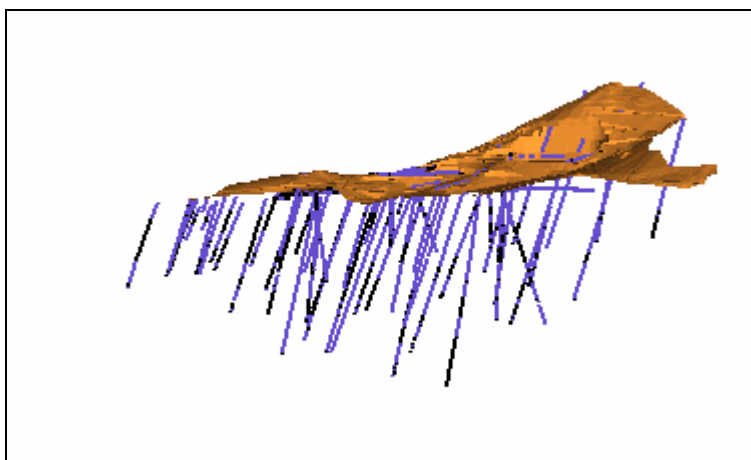


Рисунок 3.1. Разведочные выработки золоторудного месторождения с участком топографии

- Провести проверку полученных массивов на наличие «ураганных» содержаний и избавиться от них
- Привести все используемые в расчетах пробы к одинаковой длине, т.е. выполнить КОМПОЗИРОВАНИЕ. В частности в системе Датамайн имеется 3 специальных процесса компонования.

Статистическая обработка информации, интерпретация результатов и последующая работа требуют от исследователя некоторых базовых математических знаний.

4.4 Описание одной переменной

Исходные данные "говорят" более понятно, когда они организованы. Когда Вы начинаете работать с каким-то массивом информации, самая первая и доступная информация получается с помощью гистограммы, которая как правило содержит 2 кривые: частоты отдельных классов содержаний и кумулятивной частоты. На рис.3.2. показана гистограмма содержаний золота для одного из коренных месторождений.

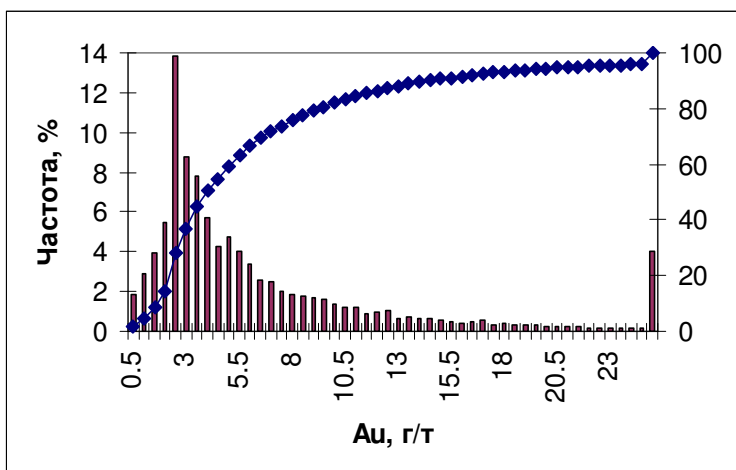


Рисунок 3.2. Гистограмма содержаний золота

Следующая важная деталь - установить по гистограмме тип (закон) распределения, что поможет Вам в дальнейшем правильно использовать для обработки данных те или иные математические выражения и методы расчетов.

Самый распространенный в математике тип распределения, для которого существуют наиболее простые методы расчета, - это НОРМАЛЬНОЕ (или ГАУССОВО) распределение, рис.3.3.

Важность этого распределения становится понятной в связи с центральной предельной теоремой, которая приводится в любом учебнике теории вероятностей. Практический смысл ее состоит в том, что если на исследуемый объект воздействует множество факторов, то числовые характеристики объекта, интерпретируемые как случайные величины, будут распределены примерно нормально. Математическая функция нормального распределения случайной величины X задается равенством

$$P\{X \leq z\} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{(U-m)^2}{2\sigma^2}} du, \quad (3.1)$$

где m , σ - параметры распределения.

Однако, для вычисления вероятностей нет необходимости применять формулу 3.1, т.к. в любом справочнике по статистике и теории вероятностей приведены подробные таблицы характеристик нормального распределения. Достаточно простые формулы расчета функции нормального распределения приведены в работе [5]. Существуют способы преобразования практически любого распределения к нормальному, но для начала полезно знать насколько близко Ваше реальное распределение к Гауссову.

Это можно сделать с помощью специальной разграфленной бумаги (с логарифмическим масштабом шкалы Y). или используя стандартные статистические пакеты программ, в которых проверяется истинность Вашей гипотезы о нормальности распределения. На логарифмической бумаге Ваше распределение выглядит почти прямой линией, если оно близко к нормальному.

Однако, в большинстве случаев реальные распределения сильно отличаются от нормального. Обычно это случается, когда в массиве данных встречаются много очень маленьких значений и всего несколько очень больших (или наоборот). В этом случае к реальной гистограмме может быть подобран логнормальный закон распределения, при котором распределение логарифмов величин массива данных является нормальным.

Обычно этот тип распределения также легко распознается с помощью кумулятивного графика на специальной бумаге (аналогично показанному выше примеру). Особенно много трудностей при идентификации типа распределения вносят "ураганные" значения проб.

Эти пробы желательно привести к "нормальному" виду известными в практике методами (см. часть 1) или исключить их для получения более корректных распределений.

Существует мнение, что этот этап, связанный с определением закона распределения исследуемой переменной, не должен в общем случае занимать много времени. Близость Вашего распределения к нормальному не гарантирует эффективности применяемого метода оценки. С другой стороны многие методики, основанные на гипотезе нормального закона, дают хорошие результаты и в случае негауссовых распределений. Только сравнительно небольшое число методов требуют предварительной идентификации закона распределения.

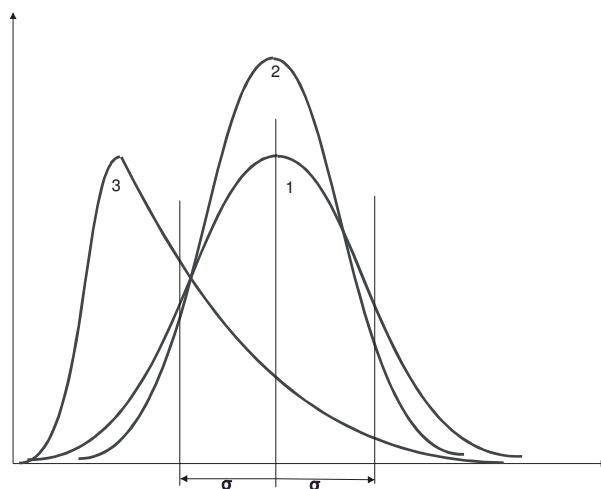


Рисунок 3.3. Общий вид нормального распределения (1), распределения с положительным эксцессом (2) и отрицательной асимметрией (3)

В системе ДАТАМАЙН для подбора закона распределения к экспериментальной гистограмме используется программа HISFIT, которая позволяет идентифицировать нормальный и логнормальный законы распределения, в том числе и многовершинные, Рис.3.4.

Наличие на гистограмме нескольких вершин может свидетельствовать как о смешении в одном массиве нескольких качественно различных групп данных, так и о чрезмерно узкой ширине интервала одного столбца гистограммы. В первом случае следует попытаться разделить исходный массив на группы (например, разделить пробы разных лет, полученные по разным методикам, или данные по различным зонам месторождения и т.п.) и рассчитать гистограммы для каждой группы отдельно. Во втором случае надо поэкспериментировать и найти приемлемую ширину столбца гистограммы, обеспечивающую достаточное сглаживание данных, рис 3.4.

Важной частью предварительных статистических вычислений является расчет общих (основных) статистик исследуемого массива данных. Сюда входят измерения: положения, отклонений (статистической изменчивости) и формы гистограммы.

Первая группа параметров характеризует расположение различных частей распределения в диапазоне изменения элементов массива данных. Среднее, мода и медиана определяют центр распределения. Положение других частей определяется с помощью квантилей [5].

Вторая группа параметров включает в себя дисперсию, стандартное отклонение и некоторые другие показатели, характеризующие изменчивость данных.

Форма распределения характеризуется коэффициентами асимметрии, эксцесса и вариации.

Сумма этих параметров в итоге достаточно полно характеризует любое распределение

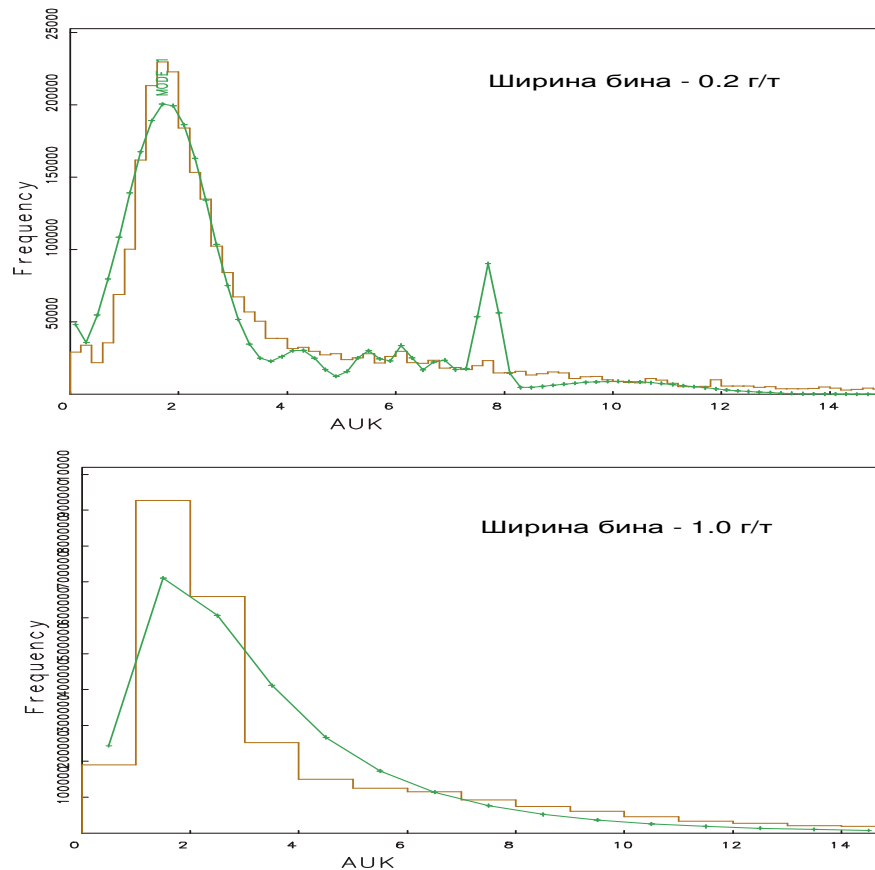


Рисунок 3.4. Гистограммы содержаний золота в блочной модели и законы распределения при ширине бина 0.2 и 1 г/т

3.4.2 Характеристики положения распределения

Среднее (m) - это арифметическое среднее данных Вашего массива.

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.2)$$

где: n - число данных
 x_i - величины данных.

Медиана (Me) - это средняя точка массива данных, если расположить их в возрастающем порядке. Половина данных находится выше медианы, а другая половина - ниже.

$$Me = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}, \quad (3.3)$$

если n нечетное число, и

$$Me = \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)}}{2}, \quad (3.4)$$

если n - четное число.

Если Вы начертите кумулятивный график на специальной бумаге, то медиану можно определить на оси X , указав на графике точку, соответствующую частоте 50 % на оси Y .

Мода - это величина данных, которая встречается в массиве наиболее часто. Обычно место нахождения этой величины сразу видно на гистограмме по самому высокому столбику. Далее надо просто выяснить, какая величина данных встречается в этом классе наиболее часто. В геологической практике эта статистическая характеристика не играет большой роли и редко применяется.

Минимальная и максимальная величины данных - это наименьшее и наибольшее значения массива.

Нижний и верхний квартили - это значения массива, соответствующие 25% (нижний квантиль) и 75% (верхний квантиль) частотам на кумулятивном графике.

Кроме названных, существуют и другие методы разбиения массива на части, пока широко не используемые в отечественной практике

3.4.3 Характеристики отклонений (статистической изменчивости)

Дисперсия – основная характеристика разброса данных:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2 \quad (3.5)$$

Этот очень важный параметр определяет квадрат среднего отклонения величин массива данных от их среднего значения.

Стандартное (среднеквадратическое) отклонение - определяется как корень квадратный из величины дисперсии.

Междуквартильное пространство (диапазон)- полезный параметр, определяемый из уравнения

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (3.6)$$

Этот параметр не использует величины среднего (m) и поэтому часто применяется, когда есть сомнения в корректности определения m .

Коэффициент вариации -определяется делением стандартного отклонения на среднее значение массива. Если Вы получили этот параметр больший чем 1, то в Вашем массиве есть величины, сильно отличающиеся от основной массы данных. Во всех случаях желательно разобраться с такими значениями перед началом оценки.

$$CV = \frac{\sigma}{m} \quad (3.7)$$

Иногда этот параметр измеряют в процентах, умножая его на 100.

В качестве оценок разброса выборки нередко используются нормированные отклонения максимального и минимального значений от среднего арифметического, причем нормирование состоит в делении этих разностей на среднеквадратичное (стандартное) отклонение. Такие оценки имеют преимущество перед размахом выборки, т.к. выражают относительные отклонения и позволяют сравнивать различные выборки.

3.4.4 Характеристики формы распределения

Коэффициенты асимметрии и эксцесса иногда называют характеристиками формы распределения. Нулевое значение Коэффициента асимметрии означает, что выборка расположена симметрично относительно среднего арифметического, как это характерно, например, для нормального закона распределения, рис.3.3.

Коэффициент асимметрии характеризует "скошенность" гистограммы. Чем выше данный коэффициент, тем больше влияние данных с очень большими или очень малыми значениями величин. Если в массиве преобладают очень малые значения, а медиана больше чем среднее, то коэффициент - отрицателен. В обратном примере с преобладанием "хвоста" очень больших значений мы получим положительную асимметрию.

Коэффициент эксцесса служит мерой островершинности распределения по сравнению с нормальным законом. У нормального распределения этот коэффициент равен нулю. Положительное значение эксцесса указывает на более острую вершину, а отрицательное - на более пологую кривую, рис.3.3.

Более подробное описание всех названных выше параметров можно найти в любом учебнике по статистике или теории вероятностей [5,6].

4.5 Описание двух переменных

Выше был вкратце описан способ обращения с массивом данных, в котором содержится одна переменная. Таким образом можно получить отдельные характеристики для каждой переменной массива, однако часто приходится иметь дело с множествами, в которых содержатся одновременно несколько характеристик проб, например содержания различных компонентов. В этом случае необходимо располагать информацией об их взаимосвязи и взаимозависимости. Наиболее простой путь увидеть взаимосвязь двух переменных массива - построить диаграмму разброса, аналогичную показанной на рис.3.5.

По этому графику можно в самом общем виде сделать заключение о связи 2-х переменных. Если точки концентрируются вокруг какой-то линии, то можно говорить о достаточно надежной связи исследуемых переменных. В нашем примере существует надежная связь между разными видами опробования, которая может быть описана линейной функцией.

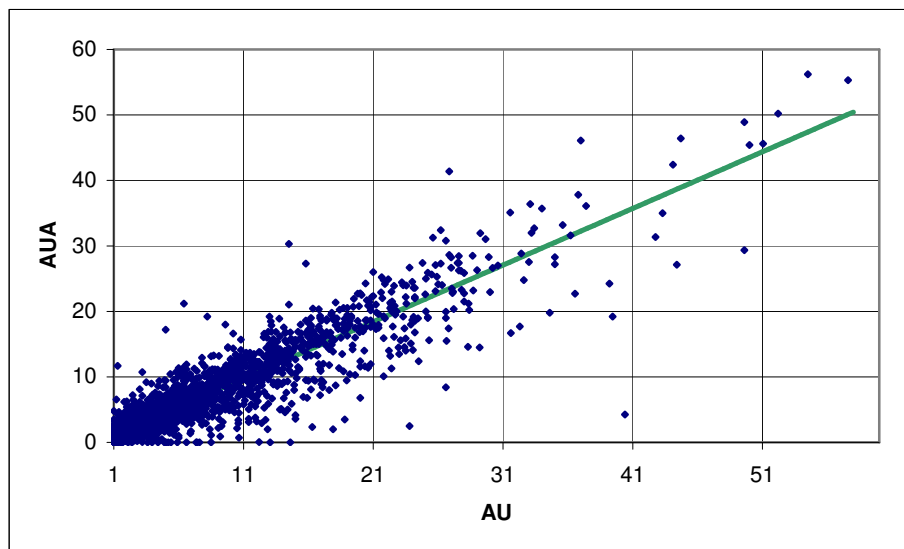


Рисунок 3.5. Диаграмма разброса содержаний золота в пробах, оцененных пробирным анализом (AU) и атомной адсорбцией (AUA)

Для достаточно точной оценки степени взаимосвязи переменных в статистике используется корреляционный анализ. Две переменные могут быть:

- некоррелируемы, если рост величины одной из них не приводит к какому-либо устойчивому изменению другой;
- положительно коррелированы (как в нашем случае), когда рост одной переменной приводит к росту другой;
- отрицательно коррелированы - в обратном случае.

Степень корреляционной связи 2-х переменных оценивается коэффициентом корреляции.

$$\rho = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)(y_i - m_y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3.8)$$

В уравнении символами x и y обозначены значения переменных X и Y .

Числитель уравнения 3.8 называется ковариацией и часто используется для статистической характеристики диаграмм рассеяния. Этот параметр сильно зависит от величины значений данных, поэтому чем они больше, тем больше величина ковариации.

Коэффициент корреляции в свою очередь - величина относительная и может изменяться от -1 до +1. Чем плотнее связь 2-х переменных, тем ближе этот коэффициент к 1 (или -1).

Если коэффициент =1, то все точки диаграммы разброса лежат на прямой линии с положительным углом наклона к оси X . При значении коэффициента корреляции, равном -1, угол наклона этой линии отрицательный. Если коэффициент близок к 0, то точки обычно образуют довольно аморфное облако вокруг "идеальной" прямой.

Если зависимость между переменными нелинейная, то связь между ними точнее оценивается Коэффициентом ранговой корреляции

$$\rho_{rank} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{x_i} - m_{R_x})(R_{y_i} - m_{R_y})}{\sigma_{R_x} \sigma_{R_y}} \quad (3.9)$$

где: R_x, R_y - соответствующие ранги действительных величин массива данных.

После ранжирования массива данных по возрастанию наименьшему значению приписывается ранг = 1, а наибольшему - n. После этого рассчитываются соответствующие значения рангов для всех чисел последовательности.

Таблица 3.1. Матрица коэффициентов корреляции между показателями опробования месторождения .

	Au	Ag	Cu	S	P
Au	1				
Ag	0.82	1			
Cu	0.17	0.53	1		
S	-0.17	-0.27	-0.38	1	
P	-0.05	-0.08	-0.08	0.42	1

Прежде, чем переходить к установлению вида зависимостей переменных Вашего массива желательно рассчитать **матрицу коэффициентов корреляции**, которая укажет тесноту и характер связи различных показателей и параметров. Пример такой матрицы, рассчитанной для результатов опробования комплексных руд, показан в табл.3.1.

3.4.5 Регрессионный анализ

Регрессионный анализ - это метод изучения стохастической связи между переменными.

Если один из коэффициентов корреляции равен 1 (или -1), то все точки диаграммы рассеяния лежат на одной линии, зная уравнение которой мы легко можем вычислить величину переменной X по известному значению переменной Y и наоборот.

Самый простой случай - линейная регрессия, когда наша искомая линия - прямая с уравнением

$$y = ax + b$$

(3.10)

где: a - угловой коэффициент, равен

$$a = \rho \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$$

(3.11)

a свободный член уравнения b равен

$$b = m_y - am_x$$

(3.12)

На рис 3.5 показан пример подбора регрессионной прямой для функции $AUA=f(AU)$.

В случаях, когда линия не прямая, используются более сложные нелинейные уравнения и методы регрессионного анализа. Для подбора аналитических функций, характеризующих связь между переменными, чаще всего используется **метод наименьших квадратов** и стандартные вычислительные процедуры, описанные в каждом учебнике по статистике.

4.6 Описание пространственного положения

Данные, с которыми приходится иметь дело геологу, непосредственно связаны с пространством. Если в предыдущих разделах мы абстрактно описали массив данных без привязки его к местам взятия проб, то теперь попытаемся восполнить этот пробел. Положение данных в пространстве обычно фиксируется на планах или разрезах, где каждая проба имеет свои координаты. Уже по этим картам можно делать выводы о равномерности опробования или наличии богатых (или бедных) зон в том или ином месте охарактеризованного пробками геологического (или рудного) тела. Более полную информацию несет в себе карта изолиний переменной, значения которой определены в пробах. Пример карты изолиний поверхности показан на рис. 3.6.

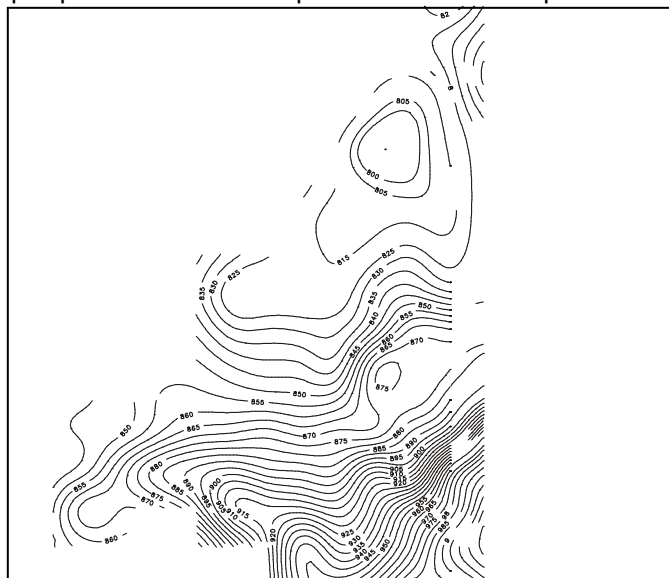


Рисунок 3.6. Топография поверхности золоторудного месторождения

Получив карту изолиний интересующей нас переменной, мы можем уже более определенно ответить на некоторые вопросы, связанные с особенностями распределения ее в пространстве. В частности мы можем выделить зоны с высокой или низкой изменчивостью признака и т.п.

В компьютерных системах, подобных ДАТАМАЙН, с помощью процессов моделирования и интерполяции можно получать карты сечений моделируемых объектов в виде ячеистых (блочных) моделей, в которых все пространство разбито на ячейки прямоугольной формы, и каждой ячейке приписано соответствующее значение переменной (см. часть 1).

Если мы имеем карту опробования, то одним из простейших методов ее анализа является метод скользящего окна, в котором на карту накладывается (обычно прямоугольное) окно выбранного размера. Это окно передвигается вдоль карты на величину заданного шага, а для проб, каждый раз попадающих в окно, рассчитываются все статистические показатели, которые затем привязываются к точке в центре окна. Таким образом количество данных на карте существенно уменьшается и, кроме того, полученные результаты позволяют судить о некоторых закономерностях в изменчивости исследуемой части массива.

Важный результат такого исследования - выявление плохоопробованных зон, на которых по имеющимся данным невозможно получить корректные результаты.

3.4.6 Пропорциональный эффект

Когда мы исследуем достаточно однородный участок залежи, то наши оценки неопробованных зон будут очень точными. Если же массив неоднородный (т.е. данные варьируют в широких пределах), то мы должны быть готовы к низкой точности наших прогнозов независимо от метода оценки, который мы выбрали.

С помощью метода скользящего окна мы можем для каждого участка массива вычислить среднее и стандартное отклонение проб данного участка и в итоге получить "карту", содержащую эти данные. По этой карте мы можем судить как изменяются

названные параметры (среднее и стандартное отклонение или изменчивость) в пространстве.

В общем случае существуют 4 разновидности таких изменений, показанные на рис. 3.7 :

(а) местные оценки среднего значения переменной и изменчивости сохраняются постоянными в пределах геологического (рудного) тела;

(b) среднее значение изменяется (проявляется тренд значений переменной), а изменчивость - постоянна;

(c) среднее значение постоянно, а изменчивость характеризуется трендом;

(d) и среднее значение и изменчивость - непостоянны в пределах рассматриваемого сечения.

Для оценки изучаемого объекта первые 2 случая наиболее предпочтительны, т.к. позволяют получить надежные результаты.

Однако на практике чаще встречаются случаи (c) и (d), характеризующиеся изменением стандартного отклонения переменной. Случай (d) более того соответствует ситуации, когда среднее значение и стандартное отклонение изменяются почти одинаково и связаны определенной зависимостью. Такая ситуация называется **ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫМ ЭФФЕКТОМ**. Он обычно распознается на диаграмме рассеяния "среднее-стандартное отклонение", построенной по данным "скользящего окна".

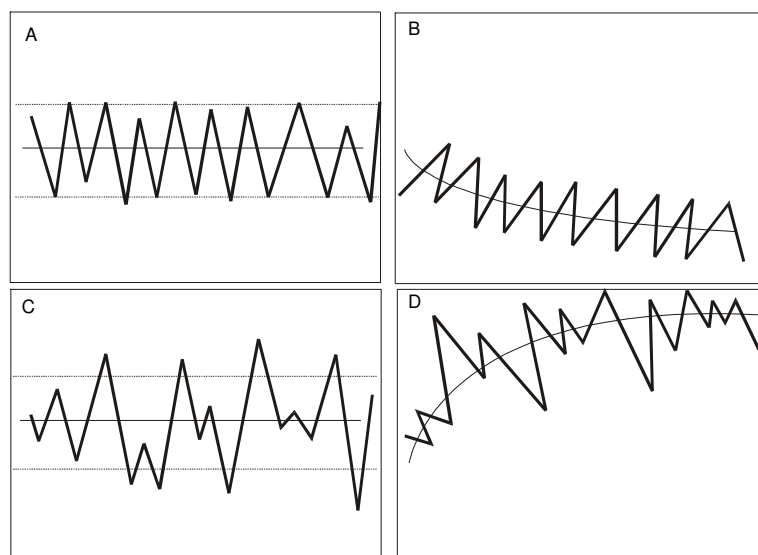


Рисунок 3.7. Варианты изменения статистических показателей в пространстве

4.7 . Пространственные переменные [4]

3.4.7 Моделирование пространственных переменных

Поскольку доступная информация об исследуемой переменной (объекте), как правило, отрывочна, то нам потребуется модель, с помощью которой можно извлечь информацию о точках пространства, которые не были опробованы. Существует много путей определения моделей. Некоторые из них будут обсуждены ниже.

Генетические модели (Genetic models). Один из наиболее привлекательных путей развития математической модели – это моделирование процесса происхождения явления. Так в 1970 была предпринята попытка смоделировать геологические осадочные процессы, как наиболее легко описываемые [7]. К сожалению, эта и последующие работы, связанные с моделированием процессов формирования месторождений, не привели к успеху из-за крайней сложности учета всех геологических факторов, контролирующие осадочные процессы. Геология развития месторождений очень сложна и еще недостаточно изучена для такого моделирования, по крайней мере в настоящее время.

Модели поверхностей тренда (Trend surfaces). Основное предположение, лежащее в основе этих регрессионных методов, появившихся в конце шестидесятых, заключается в том, что исследуемые поверхности могут быть представлены, по крайней мере локально, довольно простыми детерминированными функциями, например, полиномами с добавлением компонента случайной ошибки. Здесь “случайность” означает, что ошибка некоррелирована по отношению к разным местам поверхности и не зависит от вида функции. Очень часто такое моделирование требует вывода уравнений, которые содержат полиномы с несколькими десятками членов, а также значительное количество тригонометрических функций и экспонент. Проблема заключается в том, что геологические переменные отображают значительное количество маломасштабных процессов, которые накладываются на крупномасштабные, сравнительно достоверно описываемые уравнениями тренда. Утверждение о существовании некоррелированной ошибки означает, что функция имеет много колебаний и поворотов, что объясняет присутствие экспонент и тригонометрических выражений в выведенном уравнении. Это наводит на мысль, что возможно лучше сконцентрировать внимание на корреляции между значениями переменной в точках, расположенных на определенных расстояниях друг от друга. **Это основная идея геостатистики.**

Геостатистика. Термин *пространственная переменная* был введен Матероном (Matheron) в начале шестидесятых годов, чтобы подчеркнуть два очевидных противоречия этих типов переменных: аспект случайности, который отвечает за локальную (мелкомасштабную) нерегулярность, и структурный аспект, который отражает крупномасштабные тенденции. Общие статические модели, включающие поверхности тренда, закладывают случайность в компонент ошибки, а все структуры - в детерминированные выражения. К сожалению, это невозможно для геологического феномена. Лучший путь представления реальности – это введение случайной компоненты в выражение флуктуации вокруг установленной поверхности, названной Матероном “дрифтом” (drift), чтобы избежать любого конфликта с термином “тренд”. Флуктуации не являются “ошибками” в чистом виде, а скорее - полностью обособленным компонентом со своей собственной структурой. Первая задача геостатистического исследования – это определение данных структур, называемое “структурным анализом”. Далее геостатистик может продолжить оценивать и моделировать переменные.

3.4.8 Случайные функции

Наблюдаемая величина в каждой точке пространства x считается одной реализацией $z(x)$ случайной переменной $Z(x)$. Ее среднее называется дрифтом, $m(x)$. Считается, что в точках, где измерения не были сделаны, величины $z(x)$ тоже определены несмотря на то, что они неизвестны. Они также могут считаться реализацией соответствующей случайной переменной $Z(x)$.

В математических терминах совокупность всех этих случайных переменных называется случайной функцией. Случайная функция имеет такую же связь с одной из своих реализаций, как и случайная переменная - с одним из ее результатов, исключая то, что реализация случайной функции является функцией, тогда как результатом случайной величины является число. Случайная функция характеризуется конечными пространственными распределениями, т.е. объединенными распределениями любых наборов переменных $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_k)$, для всех k , и для всех точек x_1, x_2, \dots, x_k .

С помощью случайных функций, например, могут быть смоделированы следующие переменные:

- Содержания полезных компонентов для месторождений драгоценных, черных и цветных металлов, урана, угля, алмазов, песков и нерудного сырья.
- Другие показатели качества добываемых полезных ископаемых
- Геометрические переменные, такие как мощность пласта, вскрыши, глубина геологического горизонта, отметка уровня подземных вод и т.п.
- Пористость и проницаемость, для нефтяных резервуаров и водоносных слоев, гидростатического напора и коэффициента проницаемости пород в гидрогеологии

- Концентрация элементов геохимического анализа в пробах почвы и отложениях, концентрация загрязнений в почве, воде и атмосфере, Прежде чем начать моделирование необходимо сделать несколько предварительных предположений о характеристиках распределений случайных функций.

3.4.9 Гипотезы стационарности и внутренняя (intrinsic) гипотеза

В статистике обычно предполагается, что переменная стационарна, если ее распределение инвариантно к смещению. Другими словами стационарная, случайная функция является однородной и повторяемой в пространстве. При любом приращении h распределение $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_k)$ остается тем же самым $Z(x_1+h), Z(x_2+h), \dots, Z(x_k+h)$. Это делает статистический вывод законным даже на одиночной реализации функции. В самом строгом значении стационарность требует, чтобы все моменты были инвариантны к смещению, но поскольку это не может быть проверено из-за ограниченности экспериментальных данных, то обычно достаточно, чтобы только первые два момента (среднее и дисперсия) были константами. Это называется “неполной стационарностью” или стационарностью второго порядка. Другими словами, математическое ожидание (или среднее) $Z(x)$ должно быть константой для всех точек x . Следовательно,

$$E(Z(x))=m(x)=m \quad (3.13)$$

Во-вторых, ковариационная функция между двумя точками x и $x+h$ зависит от вектора h , но не от точки x . То есть,

$$E[Z(x) Z(x+h)]-m^2=C(h) \quad (3.14)$$

Нет смысла упоминать здесь о дисперсии, потому что она равна ковариации для нулевого интервала, $C(0)$.

На практике часты ситуации, когда предположение о стационарности не подтверждается. Понятно, что когда присутствует тренд, то значение среднего не может считаться константой. “Нестационарными” пространственными переменными занимается самостоятельный раздел геостатистики, который выходит за рамки этой книги. Заинтересованные читатели могут обратиться к работам [8,9].

В этой книге мы будем рассматривать только случаи, когда среднее является константой. Однако, в геостатистике принято несколько смягчать условия гипотезы стационарности. С этой целью Матероном [8] была разработана “внутренняя (intrinsic) гипотеза”. Она допускает, что приращение случайной функции является слабо стационарным. Это означает, что среднее и дисперсия приращения $Z(x+h)-Z(x)$ существуют и не зависят от расположения точки x .

$$E[Z(x+h)-Z(x)]=0 \quad (3.15)$$

$$\text{Var}[Z(x+h)-Z(x)]=2 \gamma(h) \quad (3.16)$$

Функция $\gamma(h)$ называется полувариограммой (или вариограммой - для краткости). Она является основным инструментом для структурной интерпретации явления, а также – для оценивания случайной функции.

Стационарные пространственные переменные всегда удовлетворяют внутренней гипотезе, но обратное - не обязательно верно. Позже в этой главе мы увидим, что, если пространственная переменная стационарна, то ее вариограмма $\gamma(h)$ и ее ковариация $C(h)$ эквивалентны.

Большинство оценок, используемых в науках о Земле, являются линейными комбинациями (т.е. взвешенными движущимися средними) данных. Это верно для

метода обратных расстояний и для кригинга (как это будет показано дальше) и даже для полигонального метода, где все веса проб, кроме одного, равны нулю. Поэтому важно уметь вычислять дисперсию линейных комбинаций с помощью вариограммы и/или ковариационной функции. В противоположность стационарному случаю, при работе с внутренними переменными все операции выполняются только для приращений.

3.4.10 Как определить, стационарна ли переменная

Подробное рассмотрение вариограмм будет в следующем разделе. Одна из главных задач этапа подготовки и предварительной обработки данных - определение степени стационарности исследуемой переменной.

На практике вариограммы используются только для ограниченных расстояний. Это ограничение может быть связано, например, с протяженностью однородных зон внутри месторождения или размерами эллипсоида поиска, используемого в кригинге. Таким образом, рассматриваемое явление должно быть стационарным только для данного расстояния. Проблема заключается в том, чтобы обнаружить на рассматриваемом объекте ряд окрестностей, для которых математическое ожидание и вариограмма могут быть приняты постоянными, и где имеется достаточно данных для получения значащих оценок. Такое предположение квазистационарности является компромиссом между масштабом однородности явления и чувствительностью опробования (Рис. 3.8).

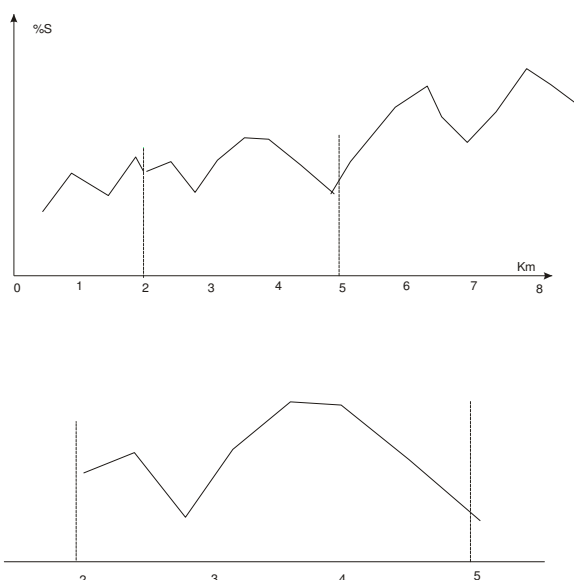


Рисунок 3.8. Диаграмма изменения содержания золота вдоль главного разреза по месторождению. На 8 км длине, содержание является нестационарным, из-за растущего тренда. Но внутри интервала 2-5 км оно может быть определено, как локально стационарное, потому что колебания маскируют тренд.

На практике очень часты случаи, когда оценка производится в пределах ограниченного пространства (Жила, рудное тело, выемочный или подсчетный блок руды и т.п.). В этих условиях рассматриваемая переменная обычно сохраняет свою «стационарность» и делает возможным получение точных геостатистических оценок.

3.4.11 Функция пространственной ковариации

До подробного рассмотрения свойств вариограммы (в следующей главе), мы обсудим некоторые основные свойства пространственной ковариации и определим связь между ней и вариограммой для стационарных случайных функций.

Ниже перечислены три важных свойства ковариации. Доказательства могут быть найдены в работе [4].

$$C(0) = \sigma^2 \quad (3.17)$$

$$C(h) = C(-h) \quad (3.18)$$

$$|C(h)| \leq C(0) \quad (3.19)$$

Отметьте, что в некоторых выражениях появляются абсолютные значения, потому что ковариация может иметь отрицательные значения.

Следующее задача - установить связь между вариограммой и соответствующей ковариационной функцией:

$$\gamma(h) = C(0) - C(h) \quad (3.20)$$

Доказательство:

$$\begin{aligned} 2\gamma(h) &= E\left\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\right\} \\ &= E\left[(Z(x+h) - m)^2 + (Z(x) - m)^2 - 2(Z(x+h) - m)(Z(x) - m)\right] \\ &= 2C(0) - 2C(h) \end{aligned} \quad (3.21)$$

Результат показывает, что соответствующая ковариация получается простым “перевертыванием” вариограммы. Рисунок 3.9. иллюстрирует этот вывод.

Понятно, что это свойство действительно только для вариограмм, имеющих порог. Можно математически доказать, что ограниченные порогом вариограммы получаются только для стационарных пространственных переменных, следовательно только стационарные пространственные переменные имеют вариограммы с порогом. И наоборот, беспороговые вариограммы получаются из нестационарных пространственных переменных.

4.8 Минимум математических знаний для успешной работы.

Для грамотного и осмысленного применения линейной геостатистики необходимо уметь делать четыре основные математические операции [1]:

- уметь вычислять среднее и дисперсию случайных величин (и позже - пространственных переменных),
- уметь использовать элементы теории множеств, т.е. записывать операции одинарного и двойного суммирования вместо длинных списков переменных,

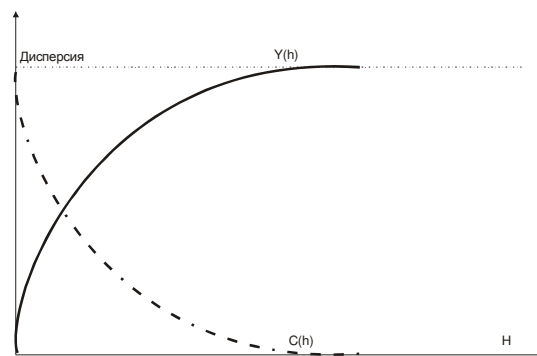


Рисунок 3.9. Вариограмма начинается с нуля и возрастает до значения порога (дисперсии массива данных), а пространственная ковариационная функция начинается от дисперсии и уменьшается до нуля.

- уметь дифференцировать уравнения для нахождения минимума функции, и
- быть знакомым с матричной формой записи систем линейных уравнений.

Так как третья и четвертая темы рассматриваются в любом учебнике по математическому анализу, то читатель не будет иметь проблемы с поиском соответствующей литературы. Поэтому мы сделаем обзор только первых двух пунктов.

3.4.12 Среднее и дисперсия линейной комбинации

В геостатистике для оценивания значений переменных в точках или блоках в основном используются линейные комбинации данных, например в виде:

$$Z_0^* = \lambda_1 Z_1 + \lambda_2 Z_2 + \dots + \lambda_{10} Z_{10} \quad (3.22)$$

Как будет показано ниже основной интерполяционный метод геостатистики - кригинг оптимизирует выбор весов (λ_i) для минимизации дисперсии оценивания.

Поэтому нам нужно уметь выражать дисперсию через функцию от весов (λ_i), и позже - через модели вариограмм. Для начала необходимо знать среднее и дисперсию линейной комбинации:

$$E[Z_0^*] = \lambda_1 E[Z_1] + \lambda_2 E[Z_2] + \dots + \lambda_{10} E[Z_{10}] \quad (3.23)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}[Z_0^*] = & \lambda_1^2 \text{Var}[Z_1] + \lambda_2^2 \text{Var}[Z_2] + \dots + \lambda_{10}^2 \text{Var}[Z_{10}] + \\ & + 2\lambda_1 \lambda_2 \text{Cov}[Z_1, Z_2] + \dots + 2\lambda_9 \lambda_{10} \text{Cov}[Z_9, Z_{10}] \end{aligned} \quad (3.24)$$

Этот результат хорошо известен в математике. Доказательство можно найти в литературе по статистике. Отсюда мы можем перейти к вычислению среднего и дисперсии ошибки оценивания. Если нашей целью является использование приведенной выше линейной комбинации для оценивания значения переменной в точке x_0 , то ошибка оценивания :

$$Z_0^* - Z_0 = \lambda_1 Z_1 + \lambda_2 Z_2 + \dots + \lambda_{10} Z_{10} - Z_0 \quad (3.25)$$

Это выражение - предыдущая линейная комбинация с дополнительным слагаемым (с весом равным -1). Поэтому ее среднее и дисперсия:

$$E[Z_0^* - Z_0] = \lambda_1 E[Z_1] + \lambda_2 E[Z_2] + \dots + \lambda_{10} E[Z_{10}] - E[Z_0] \quad (3.26)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}[Z_0^* - Z_0] = & \lambda_1^2 \text{Var}[Z_1] + \lambda_2^2 \text{Var}[Z_2] + \dots + \lambda_{10}^2 \text{Var}[Z_{10}] + 1^2 \text{Var}[Z_0] \\ & + 2\lambda_1 \lambda_2 \text{Cov}[Z_1, Z_2] + \dots + 2\lambda_9 \lambda_{10} \text{Cov}[Z_9, Z_{10}] - \\ & - 2\lambda_0 \lambda_1 \text{Cov}[Z_0, Z_1] - \dots - 2\lambda_0 \lambda_{10} \text{Cov}[Z_0, Z_{10}] \end{aligned} \quad (3.27)$$

В следующих главах будет показано, как оценивать эти дисперсии для пространственных переменных (но не сами случайные переменные), используя вариограммы или ковариации для учета их расположения в пространстве. Там же будет рассмотрен процесс минимизации дисперсии оценки.

3.4.13 Одинарное и двойное суммирование

Подробные уравнения для вычисления математического ожидания (среднего) и дисперсии - длинные и громоздкие. Чаще бывает разумнее использовать короткую запись без записи всех слагаемых. Операция суммирования предназначена как раз для этого. Символом этой операции является греческая буква \sum (сигма). Теперь можно записать формулу математического ожидания, как одинарное суммирование:

$$E[Z_0^*] = \sum_{i=1}^{10} \lambda_i E[Z_i] = \lambda_1 E[Z_1] + \lambda_2 E[Z_2] + \dots + \lambda_{10} E[Z_{10}]$$

(3.28)

Аналогично можно записать выражение для дисперсии

$$\sum_{i=1}^{10} \lambda_i^2 \text{Var}[Z_i] = \lambda_1^2 \text{Var}[Z_1] + \lambda_2^2 \text{Var}[Z_2] + \dots + \lambda_{10}^2 \text{Var}[Z_{10}]$$

(3.29)

В заключении необходимо написать формулу дисперсии в терминах ковариаций. Так как каждое слагаемое содержит два индекса, то требуется двойное суммирование по двум переменным:

$$2 \sum_{i=1}^9 \sum_{j>i}^{10} \lambda_i \lambda_j \text{Cov}(Z_i, Z_j) = 2(\lambda_1 \lambda_2 \text{Cov}[Z_1, Z_2] + \dots + \lambda_9 \lambda_{10} \text{Cov}[Z_9, Z_{10}])$$

(3.30)

5 Построение и моделирование вариограмм.

Введение

Для того, чтобы использовать аппарат геостатистики в процессе решения различных практических задач, необходимо прежде всего располагать вариограммной моделью исследуемого объекта (массива месторождения, блока, рудопотока и т.д.), которая должна максимально соответствовать истинной структуре его изменчивости [10].

Руководства по геостатистике часто 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;
- построение экспериментальных вариограмм;
- исследование полученных функций на наличие различных эффектов;
- создание пространственной модели вариограммы.

Ниже все эти стадии рассматриваются подробно.

В первом разделе приведены основные теоретические положения, связанные с вариограммами, которые помогают более глубокому пониманию происходящих процессов. В заключительной части приводятся 2 примера структурного анализа месторождений.

5.3 Вариограмма [4]

3.4.14 Определение вариограммы

В главе 2 вариограмма внутренней случайной функции определена как:

$$\gamma(h) = 0.5 \text{Var}[Z(x+h) - Z(x)]$$

(4.1) Для стационарных и внутренних переменных среднее $Z(x+h) - Z(x)$ равно нулю, и поэтому $\gamma(h)$ является просто средним квадрата разности

$$\gamma(h) = 0.5 E[Z(x+h) - Z(x)]^2$$

(4.2)

Здесь x и $x+h$ относятся к точкам в n -мерном пространстве, где n может быть 1, 2 или 3. Например, когда $n=2$ (т.е. на плоскости), x обозначает точку (x_1, x_2) и h – вектор. Следовательно, вариограмма является функцией от двух компонент h_1 и h_2 , или альтернативно, от модуля вектора h и его ориентации. Для заданного направления вариограмма показывает, насколько изменяются значения исследуемой величины при увеличении расстояния между точками. Когда направление изменяется, то с помощью вариограммы можно определить анизотропию массива. На рисунке 4.1. показана типичная вариограмма.

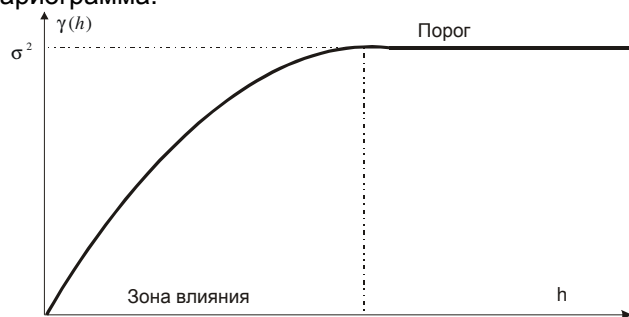


Рисунок 4.1. Типичная вариограмма, которая достигает предела, называемого порогом (sill), на расстоянии, называемом зоной влияния (range)

Вариограмма имеет следующие особенности:

- Она всегда начинается с нуля (для $h=0$, $Z(x+h)=Z(x)$). Она может прерываться только после начала.
- Она обычно возрастает с увеличением h ,
- Она возрастает до некоторого уровня, называемого порогом, и затем становится плоской. Иногда она может возрастать и дальше.

Свойства вариограммы сейчас будут рассмотрены в деталях.

3.4.15 Непрерывность и зона влияния

Степень возрастания вариограммы с расстоянием показывает, как быстро уменьшается влияние пробы. После того как вариограмма достигает ее ограничивающего значения (порога - sill), корреляции между пробами больше нет. Это

критическое расстояние, называется зоной влияния (range). Для стационарных переменных $\gamma(h)$ на расстоянии больше зоны влияния эквивалентна дисперсии. Это означает, что:

$$\gamma(h) = 0.5 \text{Var}[Z(x+h) - Z(x)] = 0.5 [\text{Var}(Z(x+h)) + \text{Var}(Z(x))] = \sigma^2 \quad (4.3)$$

Не все вариограммы достигают порога. Некоторые из них (см. рис. 4.2.) продолжают возрастать с увеличением расстояния. Это свойство является одним из фундаментальных отличий вариограммы от ковариационной функции. Последняя существует только для стационарных переменных и поэтому ограничена.

Зона влияния необязательно одинакова во всех направлениях. Поэтому она отражает феномен анизотропии. Кроме того, даже для одних и тех же направлений может существовать более одной зоны влияния. Это происходит, когда имеется несколько вложенных структур, действующих в разных направлениях по-разному. Примеры анизотропии и вложенных структур будут представлены позже.

3.4.16 Поведение около начала

Мы исследовали поведение вариограммы только на сравнительно больших расстояниях. Но более важно изучить ее поведение для малых значений h , потому что это связано с непрерывностью и пространственной регулярностью исследуемой переменной. На рис. 4.3. изображены четыре типа поведения вариограммы около начала.

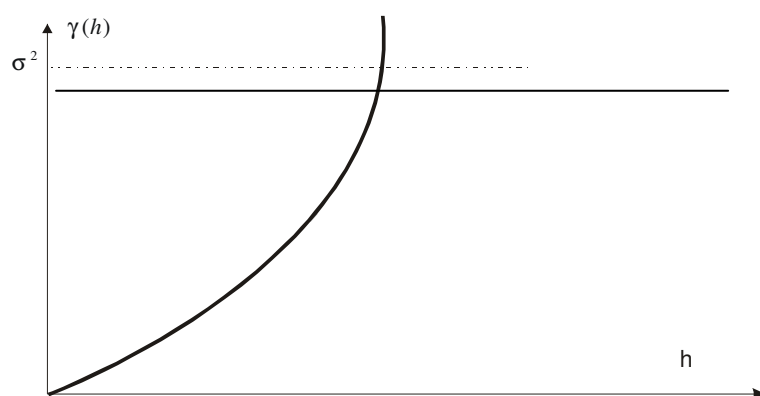


Рис 4.2. Беспороговая вариограмма

- **Квадратичный.** Этот тип показывает, что пространственная переменная имеет высокую непрерывность, а функция дифференцируема. Квадратичная форма может также указывать на присутствие тренда.
- **Линейный.** Пространственная переменная непрерывна, но не дифференцируема, и, таким образом, менее регулярна, чем предыдущая.
- **С разрывом в начале.** Функция не стремится к нулю, при h близких к 0. Это означает, что переменная в высокой степени нерегулярна на малых расстояниях.
- **Плоский.** Чисто случайная функция или «белый шум». Пространственные переменные $Z(x+h)$ и $Z(x)$ некоррелированы для всех значений h , т.е. расстояние между ними не имеет значения. Это предельный случай полного отсутствия какой-либо структуры.

Вариограммы большинства геологических переменных, включая содержания металлов, как правило имеют разрыв в начале. Это явление называется эффектом самородка, потому что было впервые отмечено на золотом месторождении в Южной Африке, где его связывали с присутствием в руде самородков золота. Содержание резко изменяется от нуля (снаружи самородка) до высокого значения внутри него. Золото - это не единственный минерал, который содержит самородки. Крупницы пирита, случайно расположенные в угле, приводят к неустойчивому изменению в содержании

серы. Термин “эффект самородка” также применяется для характеристики непостоянства исследуемой переменной на малых расстояниях даже в том случае, когда известно, что на высокую изменчивость влияет другой фактор, такой как микроструктура руды, ошибка измерения переменной или ошибки в определении местоположения пробы.

3.4.17 Анизотропия

Когда вариограмма вычисляется в различных направлениях, то иногда поведение ее бывает различным для некоторых из этих направлений (т.е. наблюдается анизотропия). Если этого не происходит, то вариограмма зависит только от величины расстояния между двумя точками и называется изотропной. Можно выделить два различных типа анизотропии: геометрическую анизотропию и зональную анизотропию.

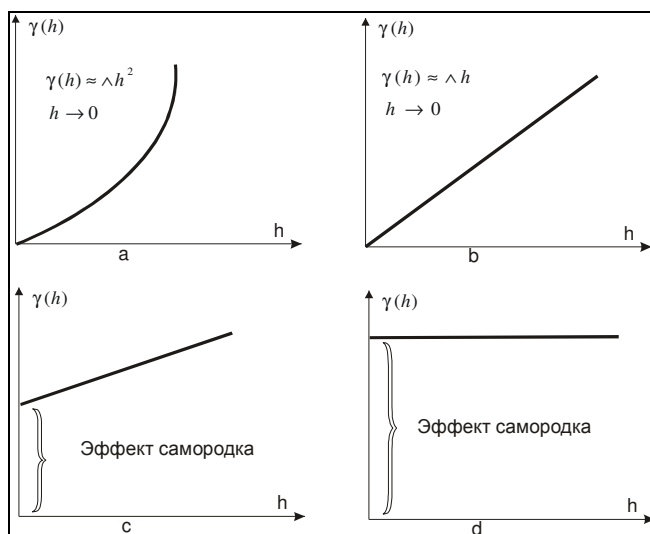


Рисунок 4.3. Поведение вариограммы около начала координат. Квадратичная форма (а); линейное поведение (b); разрыв в начале (с, d).

Геометрическая анизотропия

На рисунке 4.4. изображены примеры геометрической анизотропии. На левом рисунке вариограммы имеют одинаковый порог в обоих направлениях, но зоны влияния различны, в то время, как на правом рисунке обе функции линейны, но имеют разные углы наклона.

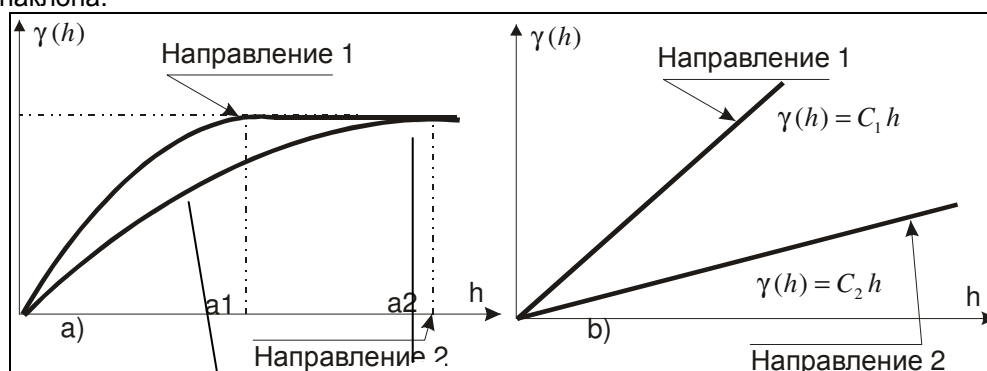


Рисунок 4.4. Геометрическая анизотропия

Мы можем нарисовать диаграмму, показывающую зависимость зоны влияния или угла наклона от направления. (Рис. 4.5.). Если кривая является эллипсом (в 2-х мерном пространстве), то анизотропия называется геометрической (или эллиптической). В этих случаях простейшими преобразованиями (разворотом системы координат и

применением масштабного коэффициента для разных осей координат) эллипс превращается в окружность, и анизотропия устраняется.

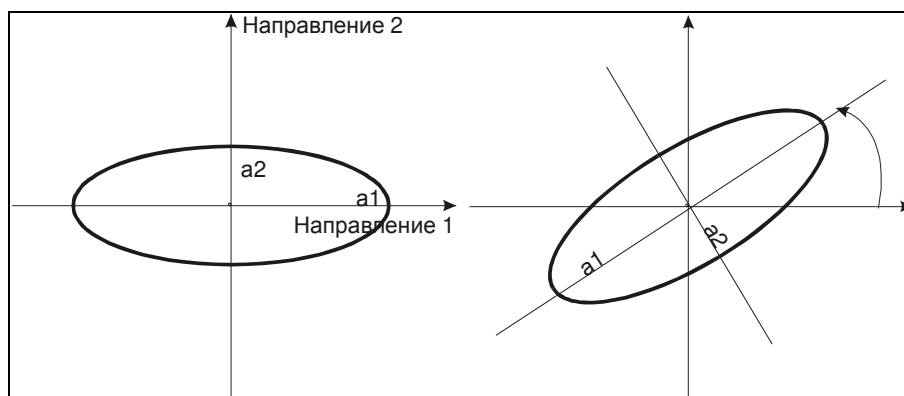


Рисунок 4.5. Расположение и разворот главных осей эллипса в случае геометрической анизотропии

Это преобразование особенно просто, когда главная ось эллипса совпадает с координатными осями, как показано в левой части рисунка 4.5. Если уравнение вариограммы в направлении 1 обозначить как $\gamma_1(h)$, то конечная вариограмма после исправления анизотропии имеет следующий вид:

$$\gamma(h) = \gamma_1(\sqrt{h_1^2 + k^2 h_2^2}) \quad (4.4)$$

где h_1 и h_2 – два компонента h , и k – коэффициент анизотропии, определенный, как:

$$k = \frac{\text{range } 1}{\text{range } 2} \text{ или } k = \frac{\text{slope } 1}{\text{slope } 2}, \quad (4.5)$$

где range – зона влияния,
slope – угол наклона

При первом вычислении вариограммы, важно исследовать по крайней мере четыре направления. Если вариограмма вычисляется только в двух перпендикулярных направлениях, то анизотропию можно просто не обнаружить. Это случается, например, когда главные оси эллипса анизотропии повернуты относительно направлений, в которых рассчитываются вариограммы, на 45 градусов, как показано на правой части рисунка 4.5.

Зональная (или стратифицированная) анизотропия

Существуют более сложные виды анизотропии. Например, вертикальное направление в слоистом массиве часто играет особую роль, потому что между слоями имеется больше различий, чем вдоль них. В этих случаях пороги вариограммы не одинаковы для разных направлений. На практике принято разделять такую вариограмму на две компоненты: изотропную плюс еще одну составляющую, которая действует только в вертикальном направлении:

$$\begin{aligned} \text{Изотропная компонента} & : \gamma_0(\sqrt{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2}) \\ \text{Вертикальная компонента: } & \gamma_1(h_3) \end{aligned} \quad (4.6)$$

Полная вариограмма:
$$\gamma(h) = \gamma_0(h) + \gamma_1(h)$$
 (4.7)

3.4.18 Присутствие тренда

Теория показывает, что для внутренних и стационарных переменных, вариограмма возрастает медленнее, чем квадрат расстояний для больших дистанций. Таким образом, можно записать:

$$\frac{\gamma(h)}{h^2} \rightarrow 0 \text{ при } h \rightarrow \infty$$
 (4.8)

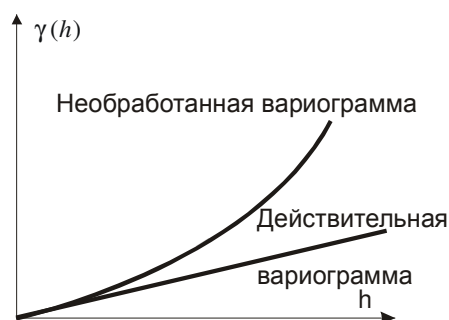


Рисунок 4.6. Вид вариограммы, свидетельствующий о наличии тренда

На практике часто случается, что вариограммы возрастают быстрее, чем h^2 . Это указывает на наличие тренда (Рис. 4.6.). Экспериментальная вариограмма обеспечивает оценку $0.5 E(Z(x+h) - Z(x))^2$, которая называется необработанной («сырой») вариограммой, в отличие от действительной (или основной) вариограммы. Эти две вариограммы совпадают, только если приращение имеет нулевое среднее. Иначе говоря:

$$E[Z(x+h) - Z(x)]^2 = \text{Var}[Z(x+h) - Z(x)] + (E[Z(x+h) - Z(x)])^2$$
 (4.9)

Экспериментальная вариограмма = основная вариограмма + (параметр смещения)²

Если присутствует тренд, то эмпирическая (экспериментальная) вариограмма переоценивает основную вариограмму.

3.4.19 Вложенные структуры

Глядя на экспериментальные вариограммы, иногда можно увидеть вложенные структуры. На Рис. 4.7. более длинная зона влияния очевидно является дополнительной (вложенной) структурой, потому что вариограмма достигает порога на этом расстоянии. Более короткую зону влияния можно распознать по характерному изменению кривизны функции. Это хорошо заметно, когда две зоны влияния достаточно отличаются друг от друга. Если нет, то изменение кривизны линии часто не является очевидным доказательством наличия нескольких структур.

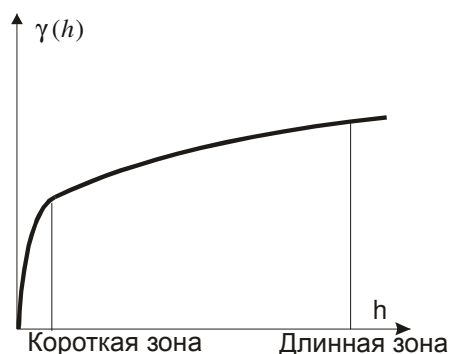


Рисунок 4.7. Вложенная структура, составленная из структур с короткой и длинной зонами влияния.

Вложенные структуры указывают на присутствие процессов, оперирующих в различных масштабах. Например, это может быть ошибкой измерения на уровне пробы, т.е. для $h=0$. Здесь мы имеем дело с эффектом самородка. На петрографической шкале (т.е. $h < 1$ см) это может быть изменчивость, обусловленная переходом от одного минералогического агрегата к другому. На уровне пласта или минерализованной залежи (т.е. для $h < 100$ м) появляется третий тип изменчивости в точке перехода от руды к пустой породе или от одного типа породы (руды) к другому.

Пропорциональный эффект

Считается, что вариограмма имеет пропорциональный эффект, когда ее значение (особенно ее порог) пропорционально квадрату локального среднего содержания. Это часто встречается у логнормально распределенных данных. Вариограммы для различных зон имеют одинаковую форму, но порог в богатых зонах намного больше, чем в бедных. Так же как порог часто оказывается пропорциональным квадрату локального среднего содержания, основная вариограммная модель может быть найдена делением значений каждой локальной вариограммы на квадрат локального среднего содержания и затем усреднение полученных величин в процессе подгонки вариограммной модели. См. об этом подробнее в последующих разделах.

Скважинный эффект и периодичность

В некоторых случаях экспериментальная вариограмма на небольших расстояниях сначала поднимается до значения порога (часто — выше него), а затем снова падает вниз. Этот «бугор» вариограммы соответствует провалу ковариационной функции в область отрицательных значений, поэтому он называется скважинным эффектом. Иногда эту особенность можно объяснить геологическими причинами, например зональностью (периодичностью) свойств изучаемого явления. Но наиболее общая причина этого эффекта связана с естественными флуктуациями вариограммы или статистическими флуктуациями из-за недостаточного количества данных при вычислении экспериментальной вариограммы.

Периодическое поведение вариограмм, так же как и ковариационной функции во многих случаях обусловлено скорее человеческой активностью, чем природой. Поэтому очень важно проверять, что эффект настоящий, а не создан искусственно.

5.4 Анализ исходной информации

После того, как данные собраны и введены в компьютер, необходимо тщательно их проверить, чтобы убедиться, что они корректны и представляют собой то, что требовалось. Это означает, что любые числовые ошибки в данных или в координатах должны быть исправлены, и для имеющихся данных вычислены основные статистические показатели. Но что более важно, геостатистики должны детально ознакомиться с имеющейся исходной информацией и проблемой, которая будет решаться. 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 программе опробования, 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? 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 понадобится повторить, когда это откроется. Вышеперечисленные проверки всегда очень важны в начале любой оценки запасов руды, но они еще более важны настоящее время, потому что во многих странах мира люди, проводящие эти исследования, лично отвечают за любые ошибки и оплошности в своей работе. Геостатистики, работающие в компаниях, или как независимые консультанты, должны быть очень точными в своих выводах, т.к. их работа может внести серьезные корректировки в оценку запасов руды и экономическое положение горного предприятия.

Прежде всего должна быть сделана серия решений, которые позволяют в целом правильно начать исследование. Во-первых, должны быть определены переменные и геологические зоны для изучения. Затем геостатистики решают:

- стационарны ли исследуемые переменные,
- что является основанием данных,
- являются ли они аддитивными,
- работать с самими переменными или их производными значениями, и
- проводить ли изучение в двухмерном пространстве или трехмерном.

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 разный вес и объем (килограммы в сравнении с сотнями тонн руды). Поэтому, хотя средние содержания могут быть одинаковы, их дисперсии всегда будут разными. Скважины кернового и ударного бурения могут иметь одинаковый диаметр, но их статистические характеристики могут существенно отличаться.

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

Среднеарифметическое содержания дает совершенно ложную оценку содержания руды в случае использования проб разных размеров. Следовательно, чтобы рассчитать содержание в этом случае, необходимо использовать значение мощности пласта, 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. С другой стороны, отметьте, что, если плотность руды на участке неодинакова, то будет благоразумно использовать в исследованиях результаты аккумуляции: $\text{содержание} \cdot \text{мощность} \cdot \text{плотность}$ и $\text{мощность} \cdot \text{плотность}$.

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 (жила), 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 по разным методикам в разное время.

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.

3.4.20 Ураганные содержания и их корректировка

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. Подробно методы «борьбы» с ураганными содержаниями описаны в части 1.

3.4.21 Композирование проб

С целью получения достоверных данных в статистических расчетах следует использовать только пробы одинаковой длины, объема и формы. Нарушение этого принципа может заметно сказаться на результатах и в будущем сделает невозможным в частности получение точечной модели вариограммы .

В компьютерных системах обработки геологической информации имеются специальные процессы **композирования** (приведения к одинаковой длине) проб перед любой их статистической обработкой , т.к. это правило действует не только в геостатистике. О влиянии на результаты оценки формы и объема проб будет сказано в главе 6.

Обычно пробы приводятся к среднему значению длины пробы в массиве данных или к высоте уступа реального карьера, если месторождение будет отрабатываться открытым способом. При этом часто можно получить дополнительные результаты, например, выделить из композируемых проб безрудные (по заданному бортовому содержанию) интервалы и т.п.

Если мощность исследуемого рудного тела неодинакова, т.е. длина рудных пересечений существенно отличается, желательно использовать для анализа не величину показателя качества (v) пробы, а ее произведение на мощность (M) пересечения (линейный запас - vM).

Такое преобразование позволяет получить надежную вариограмму даже в случаях, когда вариограмма для (v) недостаточно надежна. В дальнейшем по этим данным создается вариограммная модель, а полученные для каждой точки оценки кригинга делятся на соответствующие значения мощности рудного тела в данной точке.

В большинстве горных (геологических) компьютерных систем вариограмму "линейного запаса" можно легко получить одновременно с расчетом экспериментальной вариограммы по интересующему исследователя показателю качества.

5.5 Построение экспериментальных вариограмм

3.4.22 Общие сведения

Когда читатель досконально разберется с массивом исходной информации и проведет его композирование, можно начинать расчет экспериментальных функций. Практически в каждом пакете программ для обработки геологической информации имеются средства для расчета 3-х мерных вариограмм по заданным направлениям. Все они обычно работают по похожим алгоритмам и требуют практически одинакового набора исходной информации.

Экспериментальную вариограмму обычно вычисляют, используя следующую формулу:

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

(4.10)

где x_i – местоположение проб, $Z(x_i)$ – их значения и $N(h)$ – количество пар $(x_i, x_i + h)$, разделенных расстоянием h , которые действительно используются в расчете. Эту формулу очень легко использовать, когда пробы регулярно расположены в одномерном пространстве, например вниз по скважине, вдоль подземной выработки или сейсмического профиля.

Если пробы не расположены по регулярной сети, то отсутствующие значения нельзя рассчитывать по соседним пробам или приравнивать нулю, потому что истинная изменчивость будет искажаться. Квадрат разности вычисляется для всех имеющихся пар проб.

Когда данные двумерные, вариограммы должны вычисляться по крайней мере в четырех направлениях для проверки анизотропии. Первый шаг – это выбор лага (lag) вариограммы и его допуск, затем – выбор основных углов и угловой допуск.

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

Процедура, приведенная выше, теоретически может быть обобщена и для трехмерного случая, применительно к выбранным классам пространственных углов. На практике трехмерный случай играет особенную роль. Очень часто вертикальное направление в массиве имеет более изменчивое поведение чем горизонтальные из-за пластообразного залегания многих геологических структур.

3.4.23 Рекомендации по расчету экспериментальных вариограмм

Практически все современные компьютерные горные системы предлагают набор программ для расчета вариограмм, которые могут в одном запуске рассчитать 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 с помощью этих программ обычно требуется подготовить следующий набор исходной информации.

Для запуска процесса необходимо указать:

- имя файла, содержащего данные опробования;
- название переменной (переменных или их функций), по которой выполняется расчет вариограмм;
- длину единичного интервала расстояний и количество интервалов, для которых будут рассчитываться значения вариограммы ;
- требуемые направления в пространстве, по которым будут рассчитаны вариограммы.

Подробное описание процессов Датамайн для расчетов вариограмм приведено в соответствующем разделе части 1.

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 безнадежно ожидать этого от детальных функций по направлениям и следует вернуться к этапу анализа исходных данных. Если этот шаг также не дает результатов, то следует предположить, что исследуемый объект имеет не одну структуру изменчивости. В этом случае рекомендуется использовать для анализа **относительные вариограммы**.

Многие месторождения далеки от стационарности, когда 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 результаты.

Альтернативой данному подходу (если установлено наличие пропорционального эффекта) является использование **относительных** вариограмм, которые позволяют

учитывать при расчетах вариограмм 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 обычно только третий вид относительной вариограммы, где взвешивается по своему среднему значению каждая пара проб

$$m_{PR}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{(i,j) \text{ с } |i-j|=h} \frac{(V_i - V_j)^2}{\left(\frac{V_i + V_j}{2}\right)^2} \quad (4.11)$$

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.

В этом случае можно рассчитать параметры относительной вариограммы по логарифмической. [15].

Пусть Z имеет логнормальное распределение со средним m, дисперсией σ^2 , и вариограммой $m(h)$. Общая относительная вариограмма в данном случае будет равна значениям обычной вариограммы, деленным на квадрат среднего по месторождению.

$$m_{PR}(h) = \frac{m(h)}{m^2} \quad (4.12)$$

Зона влияния обеих вариограмм обычно одна и та же.

Относительная дисперсия (порог относительной вариограммы) равна экспоненте логарифмической дисперсии минус 1.

$$\sigma_{PR}^2 = \exp(\delta\ell) - 1 \quad (4.13)$$

где: $\delta\ell$ - логарифмическая дисперсия.

Эффект самородков относительной вариограммы определяется по формуле

$$C_{OR} = \sigma_{PR}^2 - \left[\exp(\delta\ell - C_{OL}) - 1 \right] \quad (4.14)$$

Таким образом, превращение логарифмической вариограммы в общую относительную вариограмму не составляет труда. Однако описанный метод расчета можно использовать только, если зависимость среднего показателя от дисперсии носит линейный характер (на логарифмической бумаге она будет прямой линией). В противном случае используются более сложные регрессионные уравнения. Обычно окончательный ответ на вопрос, какую вариограмму предпочесть, дает перекрестная проверка ("кросс-валидейшн") с помощью кригирования месторождения для всех подходящих моделей (см. главу 5).

После того, как получены "хорошие" изотропные вариограммы, можно приступать 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. Не бывает особых трудностей, чтобы определить анизотропию жильного и осадочного (пластового) месторождения, а также некоторых других. Определенные выводы можно сделать, рассматривая карты изолиний показателей качества.

В горном компьютерном мире существуют программы, которые определяют основные оси анизотропии исследуемых массивов. Одна из таких программ - VISOR австралийской компании Сноуден (см. часть 1). Она рассчитывает для рассматриваемых участков массива круговые диаграммы, на которых можно идентифицировать направление основных структур залежи. В первой части книги приведена методология определения основных структур изменчивости массива с помощью инструментов системы Датамайн.

Если читатель не может предположить главных направлений анизотропии геологического тела, то следует попробовать рассчитать вариограммы для всей полусферы, разделив ее на пространственные пирамиды (сектора) с углом при вершине 30-60 градусов. Надо иметь в виду, что этот процесс носит интерактивный характер, и требуется обычно несколько попыток для получения удовлетворительных результатов.

При расчетах вариограмм требуется задать 2 параметра, связанных с расстоянием: лаг (интервал расстояния) и допуск лага (расстояние по обе стороны от лага, которое определяет интервал выбора для анализа).

Если пробы размещены по регулярной сети, то величина шага сети может использоваться как лаг. Если пробы размещены случайно, то (для начала) можно использовать для лага среднее расстояние между пробами.

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

На рис. 4.8. показаны 2 изотропные вариограммы, первая имеет лаг 10 м (среднее расстояние между пробами), а вторая 50 м. Вторая функция более плавная и лучше характеризует структуру изменчивости массива.

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, где изображается величина **среднего** квадрата разности относительно расстояния, или другой – в виде облака всех точек квадратов разностей относительно расстояний - «вариограммного облака». Преимущество стандартного изображения функции заключается в синтезе всей информации в одну точку для каждого класса расстояния, но в этом случае теряются детали. Иногда эти детали могут помочь специалисту лучше понять поведение вариограмм и избавиться от явно нереальных ситуаций.

3.4.24 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.4.9.).

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.

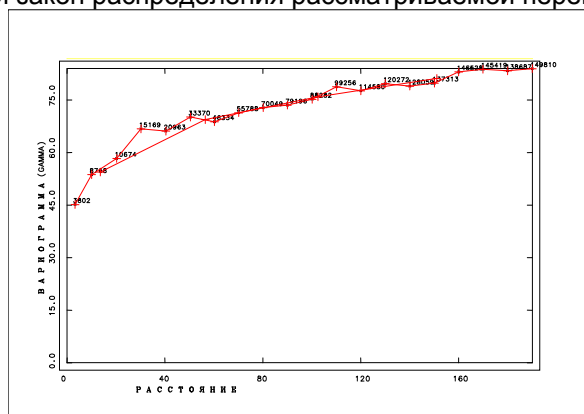


Рисунок 4.8. Влияние размера лага на характер изотропной вариограммы FeMag для железорудного месторождения

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(среднее)";
- выражение "f(среднее)/C" (где C- средний по месторождению порог вариограммы) подставить сомножителем в модель вариограммы для использования в дальнейших расчетах.

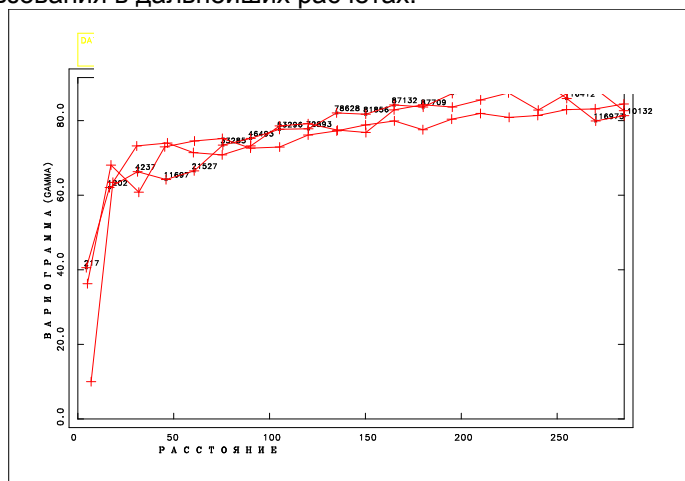


Рисунок 4.9. Вариограммы FeMag для 3-х взаимно перпендикулярных направлений массива железорудного месторождения

Эффект включений 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. Пример такого эффекта на вариограмме показан на рис. 4.10.

Тренд (глобальный или локальный) 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.

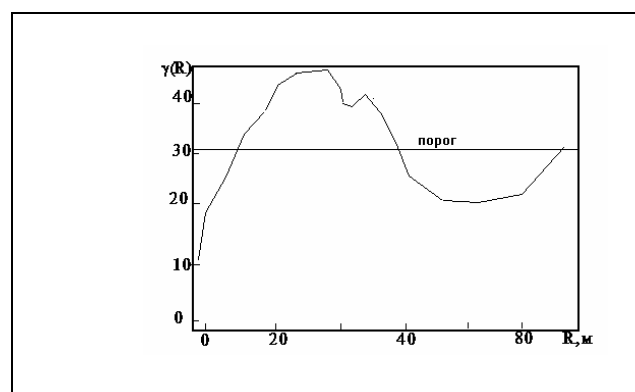


Рисунок 4.10. Эффект включений на вариограмме.

Как было видно в упражнениях по расчету экспериментальных вариограмм, присутствие даже одного выброса 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 содержаний 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 пробам. 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 скорее глупые. Читая это, каждый, 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.

5.6 Подбор моделей вариограмм

3.4.25 Введение

Экспериментальная вариограмма может быть непосредственно использована для решения геологоразведочных задач, однако, такое использование ограничено условиями, которые вытекают из выборочного характера имеющихся для ее оценки данных. В результате дискретности систем разведочных наблюдений рассчитанная реализация вариограммы соответствует только тому ограниченному набору значений аргумента, который определяется объемом выборочной совокупности и взаимным расположением точек измерения геологической переменной в пространстве.

В практике же решения задач геостатистики обычно необходима информация о значениях вариограммы для любых и неизвестных заранее 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.

Опыт подсказывает, что аналитическая форма модели не так важна, как ее главные свойства. Расположим их в порядке уменьшения важности:

- эффект самородка,
- наклон линии в начале,
- зона влияния,
- порог,
- анизотропия.

Поведение 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.

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 присутствует 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.

3.4.26 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.

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ C, & |h| > 0 \end{cases} \quad (4.15)$$

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

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= C_0 + C_1 \left(\frac{1.5h}{A} - \frac{0.5h^3}{A^3} \right) && \text{при } h \leq A \\ \gamma(h) &= C_0 + C_1 = C && \text{при } h > A \end{aligned} \quad (4.16)$$

$$\gamma(0) = 0,$$

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.4.11).

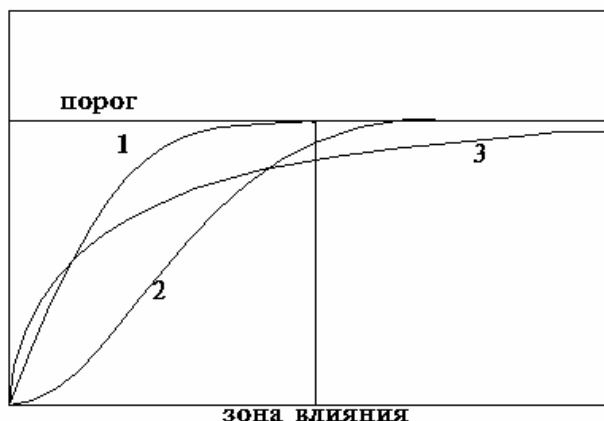


Рисунок 4.11. Пороговые модели вариограмм: 1- сферическая, 2- Гаусса, 3- экспоненциальная.

Экспоненциальная модель (Рис. 4.11) 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:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{A}\right) \right] \quad (4.17)$$

Модель Гаусса (Рис.4.11) имеет параболическое поведение в начале координат и редко используется на практике (в основном для характеристики слабоизменчивых массивов с большим количеством проб). Порог здесь достигается только условно. Для малых расстояний иногда можно спутать параболическую часть этой функции с эффектом тренда.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h^2}{A^2}\right) \right] \quad (4.18)$$

Беспороговые модели чаще всего представлены степенной (4.19), **линейной** (при показателе степени уравнения (4.19) равном 1) и **логарифмической** (Де-Вийса) функцией (4.20).

$$\gamma(h) = Ah^p + B \quad (4.19)$$

$$\gamma(h) = A \ln h + B \quad (4.20)$$

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 других реже используемых моделей можно привести следующие:

Кубическая модель характеризуется параболическим поведением в начале и, в общем, близка к модели Гаусса за исключением того, что она не является бесконечно дифференцируемой. Ее уравнение приведено ниже.

$$\gamma(h) = \begin{cases} C(7r^2 - 8.75r^3 + 3.5r^5 - 0.75r^7), & \text{если } r < 1 \\ C, & \text{иначе} \end{cases} \quad (4.21)$$

где $r=h/a$.

Двухмерная модель скважинного эффекта имеет следующий вид.

$$\gamma(h) = C(1 - \exp(-|r|)J_0(2\pi r_2)) \quad (4.22)$$

где $r = h/a$, $r_2 = h/\lambda$ и J_0 – функция Бесселя.

Базовая синусоидальная модель (рис. 4.12) – одна из редких моделей со скважинным эффектом в трехмерном пространстве, которая соответствует очень непрерывным структурам. Ее уравнение имеет вид:

$$\gamma(h) = C \left(1 - \frac{\sin r}{|r|} \right) \quad (4.23)$$

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.

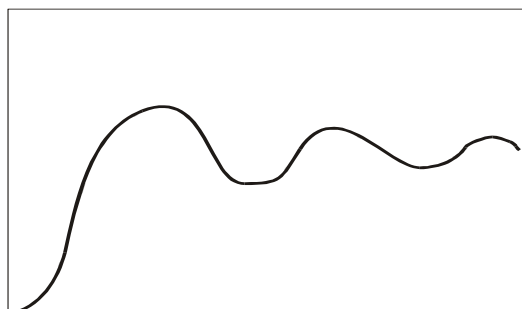


Рисунок 4.12. Базовая синусоидальная модель

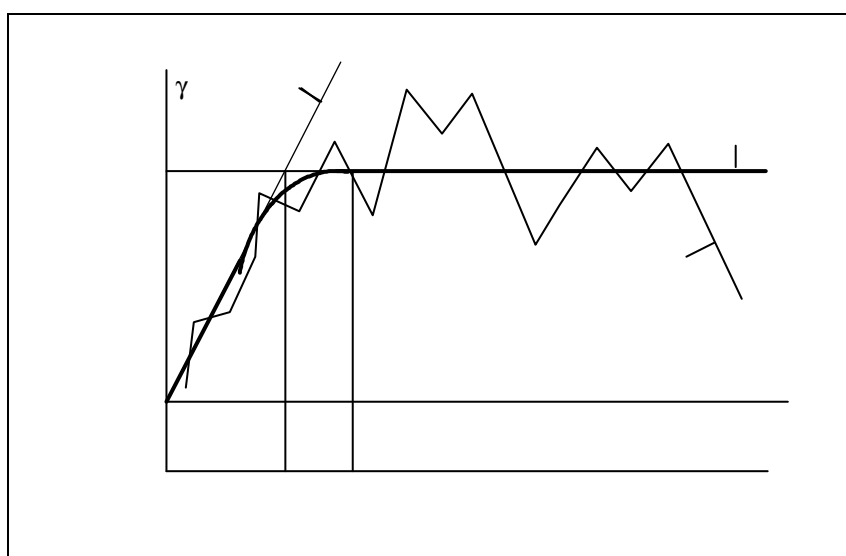


Рисунок 4.13. Визуальный подбор сферической модели

3.4.27 Подбор моделей к экспериментальным вариограммам

Подбор моделей может производиться как визуально (что на практике встречается чаще всего), так и различными 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.

В большинстве случаев бывает достаточно визуальной подгонки моделей. Очень просто, например, вручную подобрать модель к сферической функции (аналогично - и к экспоненциальной), рис 4.13.

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.4.14), описываемыми различными моделями. Итоговая функция модели может принимать вид:

$$\gamma(h) = C_0 + \gamma_1(h) + \gamma_2(h) + \dots + \gamma_n(h) \quad (4.24)$$

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.

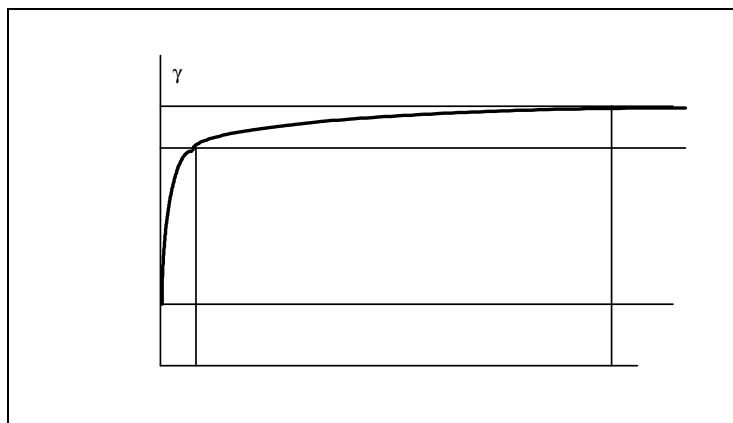


Рисунок 4.14. Пример двухструктурной сферической модели вариограммы. A1 и C1 - параметры первой модели, A2 и C2 - параметры второй модели

В разных компьютерных системах, как правило, имеются специальные программы для визуальной интерактивной подгонки моделей к экспериментальным вариограммам.

При работе с этими программами одна или несколько экспериментальных вариограмм показываются на экране. Пользователь может выбрать из предлагаемых моделей наиболее подходящую, визуально подогнать ее к экспериментальному графику. Когда нужная модель выбрана, то она может быть сохранена в выходном файле или выведена на плоттер в виде чертежа, рис. 4.15.

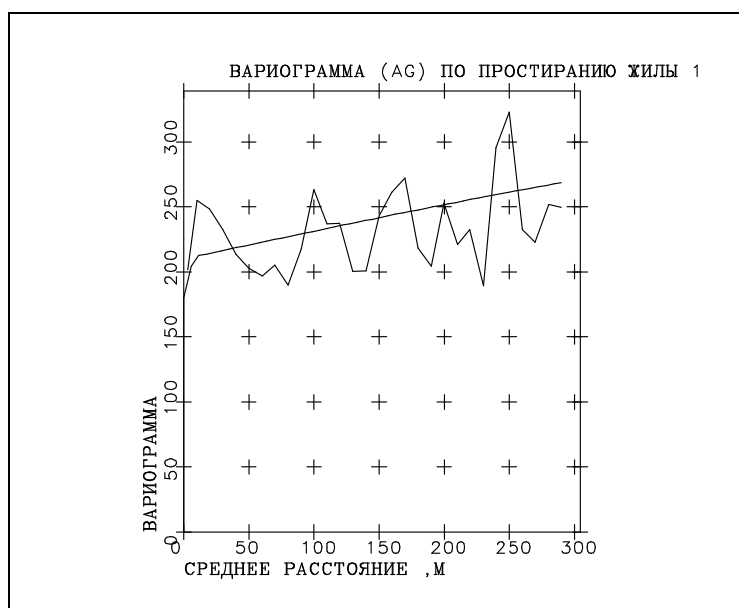


Рисунок 4.15. Пример подбора двухструктурной сферической модели вариограммы с помощью процесса VARFIT системы Датамайн.

3.4.28 Приведение моделей к точечному виду (регуляризация)

Все экспериментальные вариограммы строятся на пробах, имеющих размеры и объем, отличные от точки. Иногда приходится обрабатывать данные нескольких видов опробования с разными размерами проб. В последующих расчетах чаще всего приходится распространять свойства модели на самые различные объемы руды и породы. Между тем известно (см. гл. 6), что форма и параметры вариограммы тесно связаны с размерами основания (блока или пробы, для которых делается оценка) (Рис.4.16).

Для сравнения и объединения результатов необходимо исключить влияние на них объема проб, т.е. привести модели к точечному основанию. Эта стадия изучения массива также является желательной, если нельзя без серьезного искажения результатов допустить, что полученную нами модель можно признать точечной. Все последующие этапы геостатистического исследования используют вариограммную модель только на точечном основании.

Различают 2 наиболее простых, но часто встречающихся случая регуляризации:

- 1) месторождение разведано пробами одинаковой длины (l);
- 2) рассматривается слой (или пласт) одинаковой мощности (l).

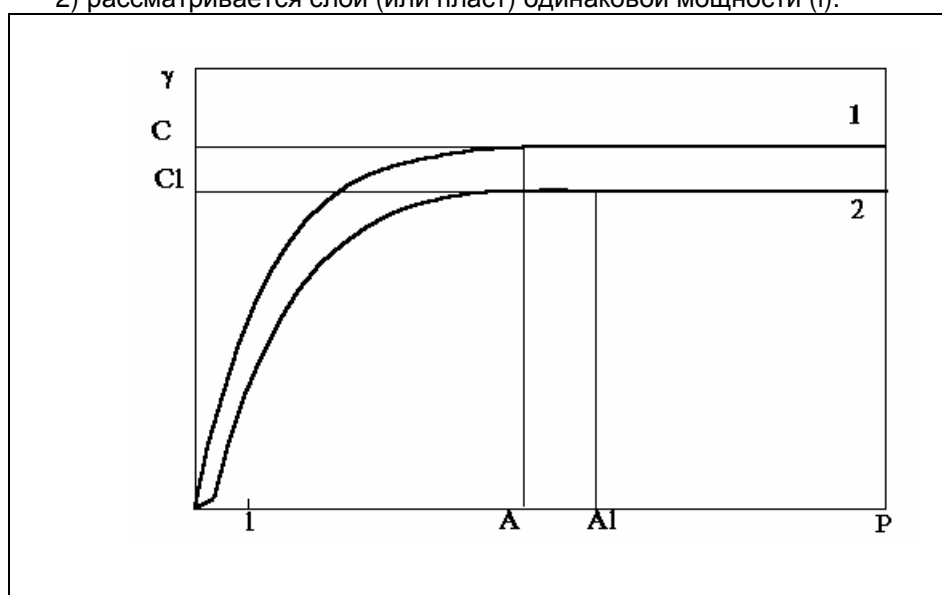


Рисунок 4.16. Общий вид вариограммы: 1- точечной, 2- на основании l .

В данных случаях Порог точечной вариограммы равен (для расстояний $h > l$)

$$C = C_l + \gamma(h, l), \quad (4.25)$$

где: C_l - порог вариограммы с основанием l ;
а выражение:

$$\gamma(h, l) = \frac{l}{2a} - \frac{\beta}{20a^3} \quad (4.26)$$

Зона точечной вариограммы для проб одной длины равна

$$A = A_l - l, \quad (4.27)$$

а для пластов : $A = A_l$ (4.28)

Такая аппроксимация дает ошибку не более 10% в наиболее неблагоприятном случае и менее 1% в основных ситуациях, встречающихся на практике (т.е. при $h > 3l$ и при любом соотношении l/A)

3.4.29 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 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:

1. Сначала предположим, что оси эллипсоида А, В и С параллельны соответственно Y, X, 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.
3. Затем поворачиваем систему координат на угол Q (Q = 0 - 90 градусов) против часовой стрелки вокруг "новой" оси X. Таким образом, можно этими двумя поворотами (углы P и Q) задать практически любую ориентацию пространственного эллипсоида.
4. Если есть необходимость, то можно развернуть систему еще на один угол (G) против часовой стрелки 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 будут 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.

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

$$\begin{aligned} \text{Формула модели:} \quad G(h) &= C_0 + G_1(h) + G_2(h), \\ \text{где:} \quad G_1(h) &= C_1(1.5/a_1 - 0.5(h/a_1)^{**3}) \quad \text{при} \quad h < a_1 \\ &= C_1 \quad \text{при} \quad h \Rightarrow a_1 \\ G_2(h) &= C_2(1.5/a_2 - 0.5(h/a_2)^{**3}) \quad \text{при} \quad h < a_2 \\ &= C_2 \quad \text{при} \quad h \Rightarrow a_2 \end{aligned}$$

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

Р 1-Р3>Эффект самородков (C₀) для осей А, В, С

Р 4-Р6>Разница между порогом первой структуры вариограммы и C₀ - (C₁)

P 7-P9>Зона влияния (A1) для первой структуры
P10-P12> Разница между порогом второй структуры вариограммы и (C0+C1) -
(C2)
P13-P15>Зона влияния (A2) для второй структуры

3.4.30 Надежность моделей вариограмм (робастные методы оценивания)

При невозможности использования гипотезы стационарности применительно к исследуемому массиву обычный расчет вариограмм может дать существенные отклонения от реальности. Одним из способов корректировки ситуации и получения надежных экспериментальных вариограмм в этой ситуации является применение специальных (робастных) методов для их расчета.

Выбору модели экспериментальной вариограммы и нахождению значений ее параметров может предшествовать преобразование, которое уменьшает смещение экспериментальной вариограммы относительно ее математического ожидания для данной пространственной переменной в данном геометрическом поле. Одним из способов такого преобразования является метод "большого складного ножа" (jack-knife), который был предложен М.Кенуием в 1956 г. с целью уменьшения смещенности статистических оценок; в 1958 г. этот метод был развит Дж.Тьюки для построения доверительных интервалов таких оценок.

Сглаженная оценка экспериментальной вариограммы, полученная методом складного ножа, имеет следующий вид:

$$\hat{\gamma}(h) = K\hat{\gamma}(h) - (K-1) \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \hat{\gamma}_i(h), \quad (4.29)$$

где $\hat{\gamma}_i(h)$ - оценка вариограммы для i разбиения, $i=1, \dots, KN$, по выборке значений пространственной переменной

$$X(t_i), i = 1, \dots, KN,$$

где K - число разбиений выборки,

N - число наблюдений в каждом разбиении.

Подобранная модель $\hat{\gamma}(h)$ может быть проверена на достоверность. С этой целью методом, изложенным в главе 4 (см. 4.21), с использованием модели $\hat{\gamma}(h)$ определяется дисперсия проб заданной длины (l) по месторождению. Эта расчетная дисперсия сравнивается с фактической. Несущественное отличие между ними свидетельствует о надежности вариограммной модели.

Низкая надежность и недостаточная устойчивость вариограмм обычно связаны с отклонениями фактического распределения результатов разведки месторождения (значений пространственной переменной в геометрическом поле) от нормального.

Если такое отклонение имеет место, то используют один из трех методов: исключение из исходного множества нетипичных (экстремальных) значений, логарифмирование значений пространственной переменной или применение специальных методов расчета экспериментальных вариограмм.

Из них наиболее известен метод, предложенный Н.Кресси [13], который рекомендует рассчитывать вариограммы по формуле

$$\hat{\gamma}(h) = \left[\frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N |x(t_i+h) - x(t_i)|^2 \right]^{1/2} / \left(0.457 + \frac{0.494}{N} \right) \quad (4.30)$$

или, в случае применения медианных оценок, по формуле

$$2\hat{\gamma}(h) = \left[Me \left(|x(t+h) - x(t)|^2 \right) \right]^{1/2} / \left(0.457 + \frac{0.494}{N} \right) \quad (4.31)$$

Точки вариограммного облака могут быть также рассчитаны по формуле

$$|x(t+h) - x(t)|^2 \quad (4.32)$$

Проверка и анализ предлагаемого подхода показали его эффективность при использовании выборок пространственных переменных с экстремальными

значениями. За счет двойного преобразования (извлечения корня и возведения в четвертую степень) можно значительно уменьшить влияние этих оценок на поведение экспериментальной вариограммы. Свои методы повышения надежности и устойчивости вариограмм предлагают также М.Армстронг, Р.Диамонд [16], П.Дауд [17], С.Чанг [18], Х.Омре [19], М.Дагберт, М.Давид [20] и другие исследователи.

Однако, по мнению М.Армстронг [21], использования этих приемов в большинстве случаев удастся избежать, если тщательно подойти к анализу, проверке и классификации исходной информации, так как главные причины неустойчивого поведения вариограммы связаны с некорректным применением результатов разведки месторождения и неправильным заданием начальных параметров расчета экспериментальных вариограмм.

3.4.31 Проверка выбранных 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 [22].

Метод перекрестной проверки (cross-validation) был предложен П.Дельфинером в 1976 г. для выбора наилучшей модели ковариационной функции при определении состава экспертной группы, формируемой с целью выработки оценочных заключений и принятия управленческих решений. Этот метод реализуется следующими процедурами:

- 1) выбором модели экспериментальной вариограммы пространственной переменной и принятием таких значений ее параметров, которые представляются подходящими;
- 2) удалением из имеющейся экспериментальной выборки фактического значения переменной в одной из опробованных точек геометрического поля и оценкой значения переменной в этой точке по оставшейся выборке геостатистическим способом при помощи кригинга с выбранной моделью вариограммы; эти расчеты сопровождаются определением дисперсии соответствующей оценки кригинга;
- 3) повторением шага (2) для всех значений выборки и вычислением квадратов разностей между фактическими значениями переменной и ее геостатистическими оценками;
- 4) нормированием квадратов разностей на дисперсии оценок кригинга в соответствующих точках геометрического поля и вычислением среднего значения и стандартного отклонения нормированных квадратов разностей по всему геометрическому полю;
- 5) повторением шагов 2-4 для каждого из принятых значений параметров выбранной модели вариограммы; в качестве наилучшего выбирается такой вариант модели, для которого среднее значение квадратов разностей ближе других к нулю.

Если полученные результаты проверки будут представляться неудовлетворительными, то выбирается другая модель, проверка параметров которой выполняется описанным способом. Рассмотренная процедура проверки параметров модели получила название процедуры пропуска одного наблюдения.

Развитием этой процедуры в геостатистике является предложенный несколько раньше С.Гейсером (1975) метод повторного выбора для предсказания. Метод С.Гейсера усиливает возможности уточнения значений параметров моделей вариограмм благодаря систематически повторяющемуся частичному использованию исходных данных, т.к. в нем применяется разбиение исходной выборки на группы значений переменной (и пропуск одного наблюдения является частным примером рассматриваемой методики). В этом случае при выборе наилучших параметров модели вариограммы среднюю меру расхождения между фактическими значениями

пространственной переменной и ее оценками, оптимизируемую по совокупности параметров модели \mathcal{G} , можно представить в следующем виде:

$$D_{N,n}(\mathcal{G}) = \frac{1}{Kn} \prod_{i=1}^K \prod_{j=1}^n \left[x(t_i)^{(n)} \hat{x}(t_i)^{(n)} \left(x(t)^{(N-n)}, T^{(N-n)}, T^{(n)}, \mathcal{G} \right) \right], \quad (4.33)$$

где $x(t) = [x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_N)]$ - выборка значений пространственной переменной объемом N,

$T = (t_1, t_2, \dots, t_N)$ - вектор координат точек наблюдения этой выборки,

t_i - координата i наблюдения,

K - число разбиений выборки на n и $(N-n)$ наблюдений,

\prod - мера расхождения между истинными значениями и их оценками, полученными по $(N-n)$ наблюдениям,

$\hat{x}(t_i)$ - оценка значения переменной в пропущенной точке t_i .

Оптимальность понимается в смысле шага (5) вышеописанной процедуры перекрестной проверки.

Определяемые перекрестной проверкой параметры моделей вариограмм характеризуются ограниченностью и условностью, которые обусловлены отсутствием однозначных ответов на следующие вопросы:

а) какова подходящая мера расхождения фактических и рассчитанных значений пространственной переменной?

б) как определить множество различных интерполирующих функций для заданной схемы разбиения исходной выборки на группы наблюдений?

в) как выбрать схему разбиения при заданных интерполирующей функции и наборе данных?

г) как связать меру расхождения с оценкой при условии совместного выбора интерполирующей функции и схемы разбиения?

Наиболее обоснованно может быть решен вопрос о выборе интерполирующей функции. Если в качестве меры расхождения выбрана разность $\prod_{i=1}^n \hat{x}(t_i) - x(t_i)$, то кригинг будет наилучшей линейной интерполяцией, обеспечивающей несмещенность оценок с минимальной дисперсией. При решении остальных трех вопросов приходится руководствоваться такими соображениями, как удобство и простота вычислений, но следует отдавать себе отчет в том, что при этом отнюдь не всегда достигается оптимальность в математическом смысле.

Из сказанного следует, что модель вариограммы, признанная лучшей с помощью метода перекрестной проверки, является таковой лишь для выбранной меры расхождения, схемы разбиения, интерполирующей функции и числа конкурирующих моделей, и для данного ряда наблюдений.

Изменение даже одного из этих условий может привести к иной лучшей модели. Таким образом, метод перекрестной проверки нельзя рассматривать как метод доказательства или как критерий проверки статистических гипотез, в частности, о модели и параметрах вариограмм. Его следует воспринимать и использовать как исследовательский метод анализа данных, дающий возможность многократно изучать и переформулировать модель, добиваясь наилучшего соответствия модели и имеющихся данных.

После расчета оценок содержаний в пробах методом перекрестной проверки с помощью корреляционного анализа возможно оценить насколько далеко точки полученной диаграммы рассеяния удалены от линии $X = Y$, т.е. вычислить коэффициент корреляции фактических и оцененных величин. Та модель, которая даст более высокий коэффициент, будет предпочтительней для использования, чем другие.

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.

6 Кригинг

Введение

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, ОК), используемый, когда среднее содержание неизвестно, кригинг неизвестного среднего и простой кригинг (simple kriging, SK), используемый, когда среднее содержание известно.

Уравнения этих трех оценок выведены для стационарного случая и обобщаются для случая внутренних переменных.

В конце главы приводятся практические аспекты и рекомендации по применению кригинга, а также рассматривается пример, иллюстрирующий различные свойства кригинга.

6.3 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 нам нужен точный способ оценивания значений в промежуточных точках или средних по блокам. Точность оценивания зависит от нескольких факторов:

- количество проб и качество данных в каждой точке.
- 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 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).

6.4 Уравнение кригинга [4]

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:

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

(5.1)

Объем V может быть представлен всем месторождением или обрабатываемым 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:

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

(5.2)

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:

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

(5.3)

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.

3.4.32 Обычный кригинг

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

$$E[Z(x)] = m = E[Z_v]$$

(5.4)

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

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

(5.5)

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

$$E[\sum \lambda_i Z(x_i) - Z_v] = \sum \lambda_i m - m = m[\sum \lambda_i - 1] \quad (5.6)$$

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:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \sum \sum \lambda_i \lambda_j C(x_i, x_j) + \bar{C}(V, V) - 2 \sum \lambda_i \bar{C}(x_i, V) = \\ &= 2 \sum \lambda_i \bar{\gamma}(x_i, V) - \sum \sum \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j) - \bar{\gamma}(V, V) \end{aligned} \quad (5.7)$$

где $\bar{\gamma}(x_i, V)$ - среднее вариограммы между x_i и объемом V (Рис. 5.1), т.е.

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

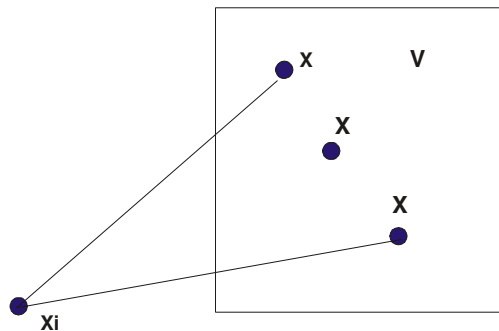


Рисунок 5.1. Соотношение между точкой данных и объемом.

Как будет показано в Главе 6, $\bar{\gamma}(V, V)$ является средним вариограммы между любыми двумя точками x и x' , независимо распределенных по всему объему V (Рис. 5.2).

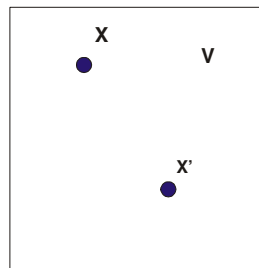


Рисунок 5.2. Точки внутри объема V .

$$\bar{\gamma}(V, V) = \frac{1}{V^2} \iint \gamma(x - x') dx dx' \quad (5.8)$$

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.

$$\phi = \text{Var}(Z_V^* - Z_V) - 2\mu(\sum \lambda_i - 1) \quad (5.9)$$

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:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N \lambda_j \gamma(x_i, x_j) + \mu &= \bar{\gamma}(x_i, V) \quad i = 1, 2, \dots, N \\ \sum_i \lambda_i &= 1 \end{aligned} \quad (5.10)$$

Минимальная дисперсия, называемая дисперсией кригинга вычисляется по формуле:

$$\sigma_K^2 = \sum \lambda_i \bar{\gamma}(x_i, V) - \bar{\gamma}(V, V) + \mu \quad (5.11)$$

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

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & & \gamma_{1N} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & & \gamma_{2N} & 1 \\ & & & & \\ & & & & \\ \gamma_{N1} & \gamma_{N2} & & \gamma_{NN} & 1 \\ 1 & 1 & & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \\ \lambda_N \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\gamma}(x_1, V) \\ \bar{\gamma}(x_2, V) \\ \\ \bar{\gamma}(x_N, V) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

Если ? - 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:

$$\sigma_K^2 = X^T B - \bar{\gamma}(V, V) \quad (X^T = X \text{ транспонированное}) \quad (5.13)$$

Обратная матрица A не является положительно определенной.

3.4.33 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:

$$E[Z(x+h) - Z(x)] = 0 \quad (5.14)$$

$$\text{Var}[Z(x+h) - Z(x)] = 2\gamma(h), \quad (5.15)$$

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. 5.3).

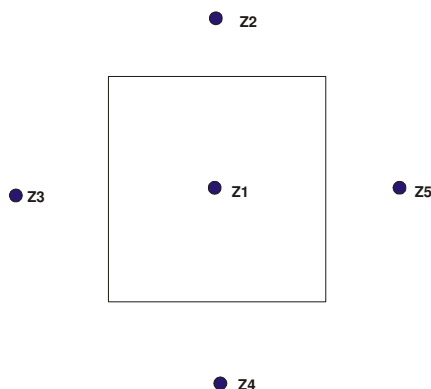


Рисунок 5.3. Конфигурация данных для оцениваемого блока

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:

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

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.

3.4.34 Кригинг значения среднего

В обычном кригинге целью является оценивание линейной функции пространственной переменной, например - содержания в точке или среднего содержания по блоку. В рассматриваемом сейчас случае целью оценивания является значение неизвестного среднего m . Следовательно, основное уравнение можно записать как:

$$m^* = \sum_{i=1}^N \lambda_{mi} Z(x_i) \quad (5.16)$$

Как и раньше эта оценка должна быть несмещенной, и дисперсия ее должна быть минимальной. Чтобы быть несмещенной, ошибка оценивания должна иметь математическое ожидание = 0. Т.е.

$$E[m^* - m] = E\left[\sum_{i=1}^N \lambda_{mi} Z(x_i) - m\right] = 0$$

Так как среднее $Z(x)$ есть m , то это условие можно записать, как

$$\sum_{i=1}^N \lambda_{mi} = 1 \quad (5.17)$$

Дисперсия ошибки оценивания –

$$\text{Var}[m^* - m] = \text{Var}\left[\sum_{i=1}^N \lambda_{mi} Z(x_i) - m\right] = \sum_j \sum_i \lambda_{mi} \lambda_{mj} C(x_i, x_j) \quad (5.18)$$

Как и в обычном кригинге, эта дисперсия минимизируется с использованием коэффициентов Лагранжа. Следовательно, оценки кригинга –

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N \lambda_{mj} C(x_i, x_j) &= \mu_m \quad i = 1, 2, \dots, N \\ \sum_{i=1}^N \lambda_{mi} &= 1 \end{aligned} \quad (5.19)$$

Можно вычислить соответствующую дисперсию кригинга. Интересно, что в этом случае она равна коэффициенту Лагранжа.

$$\sigma_K^2 = \text{Var}(m^*) = \mu_m \quad (5.20)$$

3.4.35 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 $Y(x)$:

$$Y_v^* = \sum_{i=1}^N \lambda'_i Y(x_i) \quad (5.21)$$

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.

$$E[Y_v^* - Y_v] = E\left[\sum_{i=1}^N \lambda'_i Y(x_i) - Y_v\right] = 0 \quad (5.22)$$

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

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

(5.23)

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

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

(5.24)

Соответствующая дисперсия кригинга:

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

(5.25)

Решение системы кригинга (5.24) дает веса кригинга и, отсюда, оценку Y_V . Оценку Z_V можно вывести заменой $Y(x)$ на $Z(x)$ -м. Это дает:

$$\begin{aligned} Z_V^* &= Y_V^* + m = \sum \lambda_i' [Z(x) - m] + m = \\ &= \sum \lambda_i' Z(x_i) + m[1 - \sum \lambda_i'] = \sum \lambda_i' Z(x) + m\lambda_M \end{aligned}$$

(5.26)

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 СК дает оценку ОК. В итоге получаются два интересных результата:

$$\lambda_M \mu_m = \mu$$

(5.27)

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

(5.28)

Первое из уравнений обеспечивает интерпретацию коэффициента Лагранжа для ОК в терминах веса среднего в СК 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.

3.4.36 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.

$$E[Z_V | Z_V^*] = Z_V^*$$

(5.29)

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

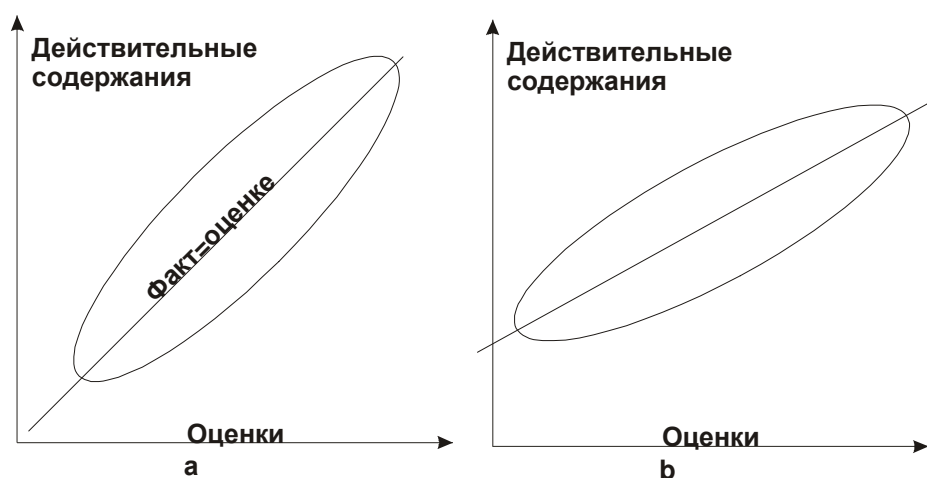


Рисунок 5.4 Регрессия действительных значений и оценок, (а) условно несмещенная и (б) условно смещенная

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.

3.4.37 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 (5.30). 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.

$$\sigma_Z^2 \approx \sigma_{Z^*}^2 + \sigma_K^2$$

(5.30)

где: σ_Z^2 - дисперсия точных значений

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

σ_K^2 - дисперсия кригинга

Из формулы 5.30 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 (см. следующий раздел) проявляется в том, что при уменьшении эффекта самородка вариограммной модели значения весов близрасположенных 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.

6.5 Практические рекомендации по использованию кригинга

3.4.38 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 высоко структурная 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. часть 1).

Кто хочет найти больше информации об этом, может обратиться к [23,24].

3.4.39 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.

В главе 4 была подчеркнута важность 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.

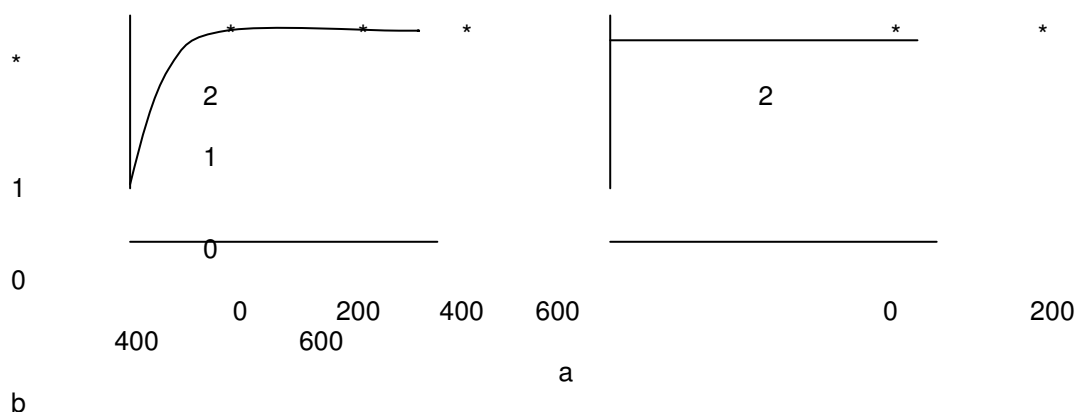


Рисунок 5.5. Две возможные модели вариограммы с разным поведением в начале; (а) сферическая с зоной 200м, порогом 2.0 и (б) чистый эффект самородка 2.0

На Рис 5.5 показаны две возможные модели, подобранные к экспериментальной вариограмме, которая уже достигла порога в первой точке. Используя крайние случаи, ее можно смоделировать (1) сферической вариограммой с порогом 2.0 и зоной 200м (нулевой эффект самородка) или (2) чистым эффектом самородка с порогом 2.0. Если у нас нет каких-либо предшествующих знаний об исследуемом объекте, то мы не можем отдать предпочтение ни одной из упомянутых выше моделей.

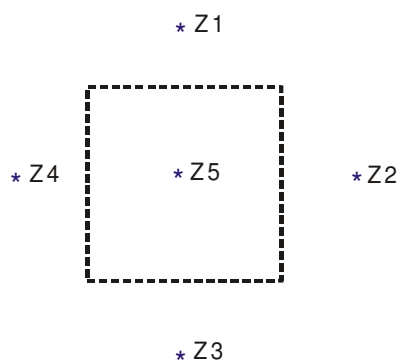


Рисунок 5.6. Оцениваемый по 5 пробам блок, размерами 200м на 200м

Предположим, что мы хотим оценить блок 200м на 200м (Рис. 5.6), 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. 5.1)

Таблица 5.1. Веса и дисперсии кригинга для 5 точек опробования

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

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 5.2 приведены результаты аналогичных расчетов для 9 точек, также расположенных по регулярной сети 200м на 200м.

Таблица 5.2. Веса кригинга и дисперсия кригинга для конфигурации из 9 точек

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

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.

3.4.40 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. 5.7).

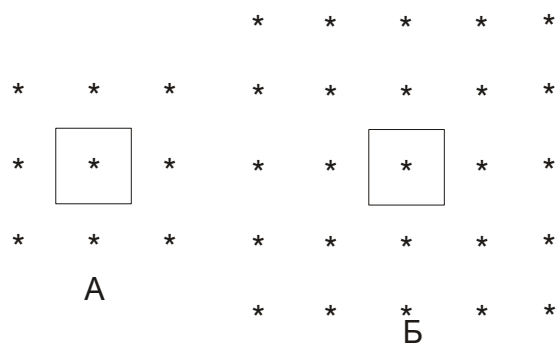


Рис 5.7. Блок с одним ареалом данных (а), и с двумя ареалами данных (б)

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). На Рисунке 5.8 изображены веса кригинга для конфигураций проб из 9 и 25 точек для этих моделей вариограмм.

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.

Сферическая модель, зона =250м,

кригингом, используя оставшиеся пробы. Если эту операцию повторить для всех точек (или для созданного подмножества их) и для всех подобранных моделей вариограмм, то мы получим серию ошибок оценивания для каждой точки данных и для каждой модели вариограммы. Когда вариограмма подходит к данным, то среднее ошибок оценивания и среднее стандартизованных ошибок оценивания должны быть равны нулю, а дисперсия стандартизованных ошибок оценивания должна равняться 1.0.

Существуют практические проблемы в использовании этой методологии с данными бурения, потому что, когда выбирается и оценивается проба, то результат кригинговой оценки зависит в основном от ближайших (смежных) проб. Поэтому данная перекрестная проверка проверяет только, насколько хорошо подогнан вертикальный компонент вариограммной модели (в случае вертикальных скважин), а не вся оставшаяся модель.

3.4.42 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. 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 бортовой. 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.

6.6 Примеры оценки месторождений с помощью кригинга.

3.4.43 Общие сведения

Все трудности создания корректной пространственной модели вариограммы как правило окупаются повышенной точностью оценок запасов исследуемых месторождений. Итак, следующей стадией после геостатистического (вариограммного) анализа залежи является ее моделирование и оценка запасов.

Сначала (обычно методами каркасного моделирования, см. часть 1) выполняется геометризация месторождения и отдельных его частей. На этом этапе также может использоваться кригинг для интерполяции точек боковых и торцовых поверхностей пространственных объектов.

Далее создается блочная (ячеистая) модель месторождения с заданными размерами элементарных блоков, позволяющими получить наиболее детальную оценку запасов по всему объему месторождения.

Здесь с помощью специальных компьютерных программ залежь разбивается на множество ячеек, размеры которых зависят от сложности геометрии рудного тела в данном месте модели.

Следующий этап - интерполяция всех показателей качества, учитываемых при геологическом опробовании, по ячейкам блочной модели.

По сравнению с другими традиционными оценочными методами КРИГИНГ дает несмещенную среднюю оценку содержания по исследуемому объему (месторождению), а также - минимальную дисперсию оценки.

Первое преимущество означает, что при верно выбранной модели вариограммы мы получим практически истинное среднее содержание данного компонента по оцениваемой залежи. Большинство традиционных методов (например, метод многоугольников или ближайшей пробы) в этих же условиях приводят к переоценке запасов руды в недрах.

Второе преимущество означает наименьшую (по сравнению со всеми другими методами) ошибку в оценке количества и качества запасов.

Сегодня известны и применяются на практике более 10 различных видов кригинга, каждый из которых имеет свою область использования. Некоторые виды этого оценочного метода имеют очень сложный математический аппарат и могут выдавать много дополнительной информации в самых трудных горно-геологических условиях.

В очень упрощенном виде описание алгоритма вычислений точечного (обычного) кригинга выглядит следующим образом.

1. Определяется точка C , в которой необходимо оценить содержание A_c .
2. Задается рабочая область (вокруг этой точки), в которой учитываются все попадающие туда пробы (x_i).
3. Вычисляются расстояния между точкой и центрами проб, а также между всеми пробами.
4. Вычисляются значения вариограммы для всех этих расстояний с учетом анизотропии массива.
5. Формируется система линейных (в случае обычного кригинга) уравнений с n неизвестными (где n - число учитываемых в расчете проб).
6. В результате решения этой системы для каждой пробы определяется весовой коэффициент - λ_i .
7. Рассчитывается оценка содержания в точке C

$$A_c = \sum_i \lambda_i A_i \quad (5.31)$$

8. Рассчитывается дисперсия кригинга (дисперсия оценки) для данной точки.

При использовании блочного кригинга все исследуемое пространство предварительно делится на блоки одного или разных размеров. Внутри каждого блока создается 3-х мерная регулярная сеть точек, для каждой из которых вычисляются все параметры кригинга.

После этого рассчитываются соответствующие средние значения этих параметров. В некоторых программах используется несколько другой алгоритм расчета.

Таким образом, кригинг дает нам для каждой точки (или блока) по крайней мере 3 параметра:

- величину оцениваемой переменной;
- величину возможной ошибки (дисперсию кригинга);
- количество проб, используемых в интерполяции .

Многие пакеты и системы компьютерных программ, используемые для обработки геологической информации, имеют в своем составе процессы различных видов кригинга. Детальное описание соответствующих программ системы Датамайн приведено в соответствующих разделах части 1.

3.4.44 Примеры использования кригинга

Месторождение железной руды [4]

Данные, используемые для оценки этого месторождения, включают 500 керновых проб вертикальных скважин длиной по 15м каждая. Модель вариограммы состоит из эффекта самородка 1.8 и двух анизотропных сферических структур. Их пороги и зоны в горизонтальном и вертикальном направлениях представлены в Таблице 5.3.

Таблица 5.3. Параметры модели вариограммы, изотропной в горизонтальном направлении

	Порог	Зона влияния по горизонтали	Зона влияния по вертикали
Эффект самородка	1.8	-	-
1-я структура	1.2	80 м	65 м
2-я структура	1.5	400 м	65 м

Первый шаг в кригинге – это выбор размеров сетки. Так как расстояние между скважинами около 80м, то в горизонтальной плоскости сетка (элементарный блок) для кригинга будет иметь размеры 100м на 100м. Высота ячейки сетки будет 15м, потому что это длина секции керна. В итоге сетка состоит из 19 ячеек в направлении Восток – Запад, 12 ячеек в направлении Север – Юг и из 36 вертикальных слоев. Не рекомендуется в этих условиях использовать кригинг для очень маленьких блоков (скажем 10м на 10м по горизонтали) или блоков, которые короче, чем длина секций керна (15м). Причины этого рассматриваются позже в этой главе.

После определения размеров и ориентации сетки кригинга, необходимо выбрать размер окрестности кригинга (количество проб, участвующих в оценке каждой точки (блока)). Так модель имеет 40% эффект самородка, то она имеет плохую структуру и, поэтому требуется большая окрестность со многими исходными пробами. После нескольких проверок было решено использовать для оценки минимум 8 проб и оптимально 80 проб. Эллипс поиска был ограничен по горизонтали радиусом 500м и по вертикали радиусом 300м.

На рисунке 5.9 изображены изолинии качества для одного горизонта, который находится около центра месторождения. Внешние блоки, которые заштрихованы, совсем не оцениваются кригингом, потому что для них недостаточно данных (менее 8 проб). В таблице 5.4 представлены базовые статистики кригинговой оценки и соответствующие СКО кригинга.

Такой же размер окрестности, как и для точечного кригинга, используется для кригинга блоков размером 100м на 100м. Единственная разница между кригингом точек и блоков заключается в том, что блоки должны быть условно дискретизированы для вычисления выражений типа $\bar{\gamma}(V, x)$ и $\bar{\gamma}(V, V)$. В данном случае используется дискретизация $6 * 6 * 1$. Это означает, что, например, в каждом из горизонтальных направлений блок условно делится на 6 частей, для каждой из которых делается

оценка. Так как длина керна равна высоте блока, то вертикальная дискретизация должна быть 1.

На Рисунках 5.10 и 5.11 показаны оценки блочного кригинга и соответствующие СКО, а в Таблице 5.5 представлены базовые статистики. Общая форма изолиний качества такая же, как и для точечного кригинга. Сравнивая статистики оценок блочного и точечного кригинга, мы видим, что средние содержания для всего района равны, но минимальное значение для точек меньше минимума для блоков. И наоборот, максимум для точек больше максимума для блоков. Это связано с тем, что гистограмма содержаний блоков более узкая, чем гистограмма для точек.

Таблица 5.4. Основные статистики точечного кригинга и соответствующих СКО

	Число точек	Минимум	Максимум	Среднее	СКО
Оценки для точек	7501	52.91	59.12	56.84	0.704
СКО	7501	1.655	2.380	2.127	0.103

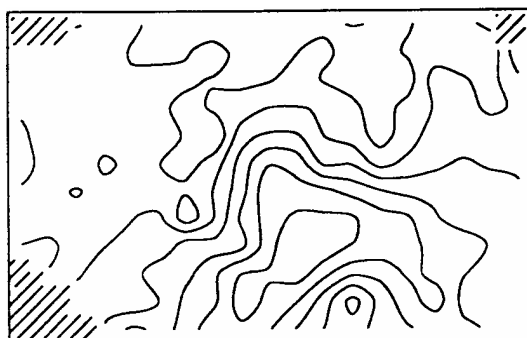


Рисунок 5.9. Изолинии качества для горизонта 14, полученные точечным кригингом с использованием для оценки от 8 до 80 проб.

Таблица 5.5. Основные статистики блочного кригинга и соответствующих СКО

	Число точек	Минимум	Максимум	Среднее	СКО
Оценки для точек	7501	53.27	58.97	56.54	0.605
СКО	7501	0.720	1.636	1.238	0.166

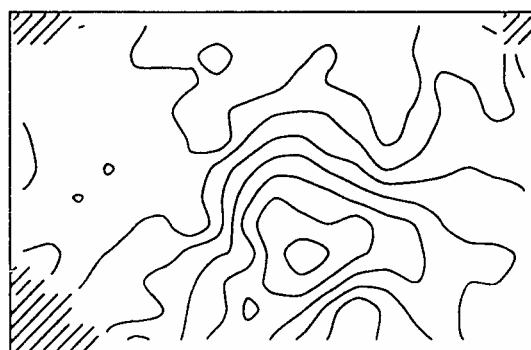


Рисунок 5.10. Изолинии для горизонта 14, полученные блочным кригингом с использованием от 8 до 80 проб

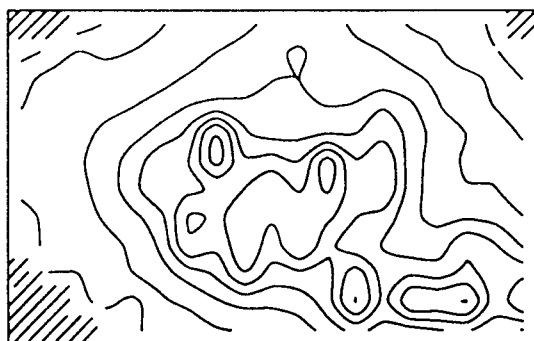


Рисунок 5.11. Изолинии СКО оценок блочного кригинга для горизонта 14.

Разница между СКО для точек и блоков довольно значительная. Лучшая оценка для точек имеет СКО 1.655, в то время как наихудшая для блоков – 1.636. Это происходит из-за того, что намного легче оценивать среднее значение больших объемов, чем малых.

Покажем теперь, что произойдет, если для оценки использовать маленькую окрестность, содержащую только несколько проб. На Рисунке 5.12 изображены изолинии, полученные с использованием только ближайших трех проб. Понятно, что здесь что-то не так, но что именно? До рассмотрения деталей, отметим, что в углах стало меньше заштрихованных блоков. В данном случае кригингом будет оценено больше блоков, потому что для оценки ячейки сетки требуется меньше проб в окрестности кригинга.



Рисунок 5.12. Изолинии, полученные для точечного кригинга с использованием только трех ближайших проб

Чтобы понять, что здесь неправильно, обратим внимание на четыре соседних ячейки сетки в области, где отмечена большая концентрация изолиний. Рассмотрим строки с 2 до 5 в колонке 12 на горизонте 14. В Таблице 5.6 представлены координаты трех проб, используемых для кригинга каждой ячейки, вместе с их содержаниями и весовыми факторами. В трех случаях из четырех все 3 пробы получены из одной скважины. В таблице также представлены оценка кригинга и соответствующая СКО для каждой ячейки. Обратите внимание на разбросанность оценок кригинга.

Таблица 5.6. Координаты, веса кригинга и содержания, эффективно используемые для кригинга четырех выбранных ячеек сетки

Блок (12,5,14): Оценка кригинга = 54.83, СКО = 2.14

	Коорд. X	Коорд. Y	Коорд. Z	Вес	Содержание
1я Проба	-1450	-995	17.25	35.1%	56.6
2я Проба	-1450	-995	18.75	32.4%	56.9

3я Проба	-1450	-995	15.75	32.4%	51.05
----------	-------	------	-------	-------	-------

Блок (12,4,14): Оценка кригинга = 53.68, СКО = 2.27

	Коорд. X	Коорд. Y	Коорд. Z	Вес	Содержание
1я Проба	-1475	-1092	17.25	32.3%	55.0
2я Проба	-1475	-1092	15.75	33.8%	54.25
3я Проба	-1475	-1092	18.75	33.8%	51.85

Блок (12,3,14): Оценка кригинга = 55.05, СКО = 2.27

	Коорд. X	Коорд. Y	Коорд. Z	Вес	Содержание
1я Проба	-1494	-1195	20.25	35.3%	51.6
2я Проба	-1295	-1236	17.25	36.6%	57.0
3я Проба	-1295	-1236	18.75	28.1%	56.1

Блок (12,2,14): Оценка кригинга = 58.75, СКО = 2.33

	Коорд. X	Коорд. Y	Коорд. Z	Вес	Содержание
1я Проба	-1319	-1330	17.25	44.1%	58,9
2я Проба	-1319	-1330	18.75	27.9%	58,6
3я Проба	-1319	-1330	20.25	28.0%	58.65

Чтобы исключить эти эффекты использования для оценки ближайших проб одной скважины, в расчетах нужно использовать больше проб. Но одно только увеличение общего количества проб в окрестности не достаточно. Например, если количество их увеличивается с 5 до 9, то ближайшие точки все еще будут находиться на одной скважине, и проблема не будет решена. Мы должны гарантировать, что в систему кригинга войдут пробы из нескольких скважин. Один из простых и удобных путей сделать это – использовать угловые сектора. На Рисунке 5.13 изображено восемь угловых секторов, центр которых находится в оцениваемой ячейке сетки (например, в ячейке 12, 4, 14).

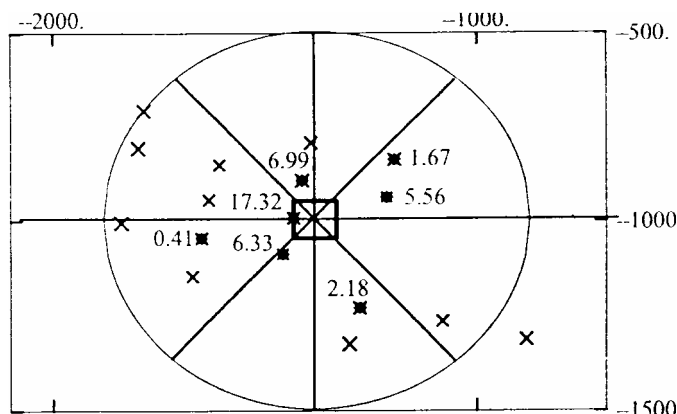


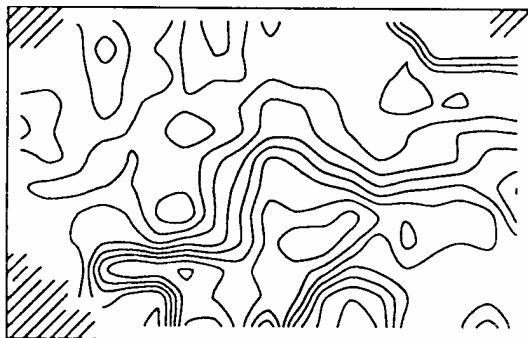
Рисунок 5.13. Целевая ячейка (12, 4, 14) с окрестностью вокруг нее, разделенной на 8 угловых секторов

Так как максимальный радиус поиска был ранее установлен равным 500м, то пробы за пределами него не участвуют в вычислениях. Размеры окружности

показывают, насколько большая окрестность кригинга выбрана. Крестиками на рисунке отмечено положение проб на одном горизонте. Числа обозначают выраженные в процентах веса кригинга для тех проб, которые были использованы в вычислениях. В расчете также участвовали пробы других уровней (горизонтов).

После задания требуемого количества секторов, процесс размещает шаблон окрестности кригинга относительно оцениваемой ячейки и использует для расчета ближайшую пробу или пробы отдельно в каждом секторе. Пользователь обычно может оценить, как много секторов требуется использовать. Следующий пример кригинга ячеек выполнен с применением 4-х угловых секторов, каждый из которых содержит, по крайней мере, 3 пробы (Рис. 5.14).

Рисунок 5.14. Изолинии, полученные для точечного кригинга с использованием 4-х



угловых секторов, содержащих, по крайней мере, по 3 пробы каждый.

Полученный результат оказывается несколько лучшим по сравнению с предыдущим, использующим только три ближайшие пробы, но еще недостаточно приемлемым. Осталось еще несколько концентраций изолиний. Карта, представленная в начале этого примера (Рис 5.9) , вычислена с использованием 8 угловых секторов, что является лучшим выбором, а результат - намного удовлетворительнее. Этот пример показывает, как важно включить достаточное количество проб в систему кригинга.

Кригинг маленьких блоков по редкой сети

Одним из главных применений геостатистики в горной промышленности является оценивание содержания блоков на разных этапах технико-экономической оценки месторождений. Обычно на этой стадии доступны пробы, расположенные по очень редкой сети. Чтобы качественно спроектировать рудник, инженеры часто делают кригинг очень маленьких блоков. Затем для оценки извлекаемых запасов руды подсчитывается количество блоков, содержание в которых выше бортового. Цель этого параграфа – показать, как может быть опасна оценка маленьких блоков на этой стадии и как ее результаты могут ввести в заблуждение.

Так для одного из месторождений золота был сделан кригинг блоков размером 2м на 2м, с использованием разведочной сети 10м на 10м. На рисунке 5.15 **a** и **b** изображены гистограммы действительных содержаний и соответствующих оценок кригинга, взятые из этой статьи.

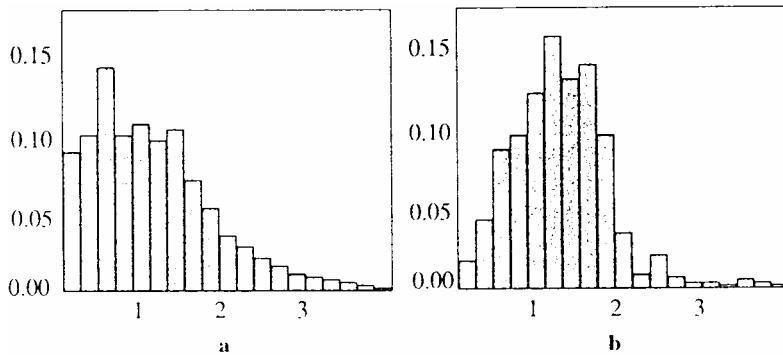


Рисунок 5.15. Гистограммы (а) действительных содержаний и (б) оценок кригинга, полученные по данным редко расположенных проб

Хотя у обеих гистограмм одинаковое среднее (условно - 1.0), но они имеют разные формы и разные дисперсии. Как и ожидалось, дисперсия оценок кригинга меньше, чем действительных содержаний блоков. Поэтому кривая «содержание – тоннаж», рассчитанная по оценкам кригинга блоков, отличается от действительной. Это доказывает, что кригинг не должен использоваться для оценивания содержаний малых блоков по редко расположенным данным опробования. Кстати, это утверждение распространяется и на интерполяцию методами обратных расстояний.

Понимая, что делать кригинг малых блоков по редко расположенным данным не рекомендуется, хочется знать, насколько малы могут быть эти блоки. Опыт показывает, что лучше брать блоки с таким же размером, как и среднее расстояние между пробами. В самом крайнем случае, блоки в горизонтальной плоскости могут иметь размер, равный половине расстояния между пробами. Например, для железной руды минимальные размеры блоков – 40м на 40м на 15м или 50м на 50м на 15м. Это означает, что блоков для кригинга получается в четыре раза больше чем исходных данных.

Другой момент, на который надо обратить внимание, это - расположение полученных блоков относительно проб. На Рисунке 5.16 (а) изображен план проб, размещенных по регулярной сети 100м на 100м, и блоков, имеющих размер, равный половине расстояния между пробами. В углу каждого блока находится проба. Поэтому, если использовать для всех блоков одинаковую окрестность кригинга, то у всех блоков будет одинаковая дисперсия кригинга. Это неверно в случае расположения блоков, как показано на Рис. 5.16 (б). Блоки, содержащие пробы в центре, будут иметь пониженную дисперсию кригинга; те из них, которые помечены цифрой (2), будут иметь большую дисперсию, а помеченные цифрой (3), - очень большую дисперсию, потому что они значительно удалены от проб. Поэтому важно правильно оценивать не только размер блоков, но и их расположение.

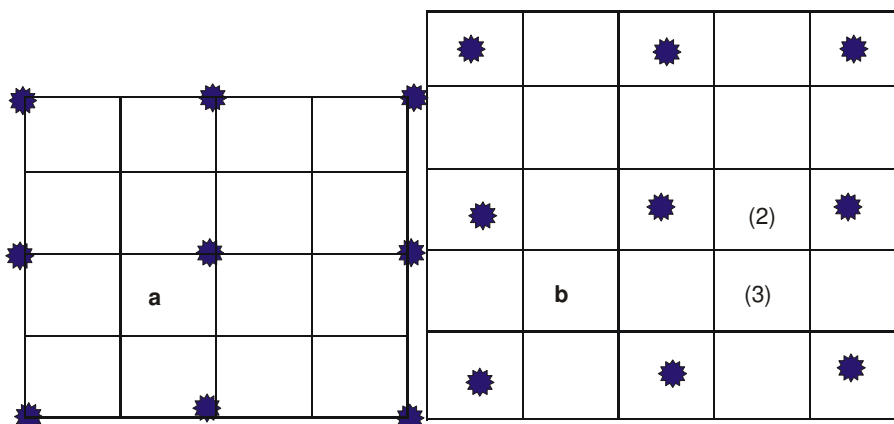


Рисунок 5.16. Два возможных расположения блоков размером 50м на 50м относительно проб, размещенных по сети 100м на 100м. В левой части (а) все блоки имеют одинаковую дисперсию кригинга, в то время как в (б) блоки, помеченные (2) и (3),

имеют большую дисперсию, чем блоки, содержащие пробы в центре. Поэтому расположение блоков (а) предпочтительнее

6.7 Оценивание общих запасов [4]

3.4.45 Общие сведения

Выше мы увидели, как можно использовать кригинг для получения локальной оценки точки или содержания в блоке. Закономерно появляется вопрос, можно ли использовать кригинг для оценивания общих запасов; т.е. запасов, содержащихся во всем месторождении или большей его части. Выражение "глобальная оценка" в общем относится к оцениванию запасов на стадии ТЭО, когда доступно только сравнительно небольшое количество проб. Для качественной разработки месторождения требуется значительно больше проб: керновых или бороздовых.

Необходимо различать две ситуации: (1) когда имеется сравнительно немного разведочных данных, и (2), когда мы имеем большое количество информации (например, более нескольких сотен точек опробования). В первом случае кригинг можно непосредственно использовать, но во втором – этому будет мешать проблема обращения матрицы кригинга.

Один из способов решения этой проблемы (второй случай) – разделение региона на зоны, включающие, скажем, не более чем 100-200 точек каждая, и кригинговые расчеты для каждой зоны отдельно. Это даст нам наиболее точную оценку среднего содержания. Однако задача вычисления общей дисперсии кригинга все еще остается. Было бы привлекательным просуммировать (или взять среднее) индивидуальные дисперсии кригинга, но это приведет к неправильному ответу. Существует теоретический метод расчета общей дисперсии оценивания, но он очень сложный. На стадии ТЭО требуется более простой метод.

В этом разделе представлено несколько методов для оценивания сопутствующих дисперсий оценивания.

3.4.46 Дисперсия распространения

Предположим, что мы хотим оценить среднее содержание внутри региона V ; т.е. мы хотим вычислить интеграл:

$$Z(V) = \frac{1}{V} \int_V Z(x) dx \quad (5.32)$$

Предположим также, что доступной информацией является лишь среднее содержание в маленьком блоке v . Обычно V является извлекаемым блоком или участком, а v – скважиной или пробой другого типа. Поэтому мы должны оценить $Z(V)$ из $Z(v)$, где:

$$Z(v) = \frac{1}{v} \int_v Z(x) dx \quad (5.33)$$

Считается нормальным использовать содержание $Z(v)$, как оценку для $Z(V)$. Какая в этом ошибка? Во-первых, если $Z(x)$ удовлетворяет стационарной или внутренней гипотезе, то $Z(v)$ - несмещенная оценка $Z(V)$. Нам нужно вычислить дисперсию распространения содержания v в V . Иногда это обозначается $\sigma_E^2(v, V)$ или, для краткости, - σ_E^2 .

Концептуально - это просто дисперсия оценивания $Z(V)$ через $Z(v)$. В геостатистике выражение " дисперсия распространения " обычно используется для случая, когда блок оценивается по содержанию пробы в его центре. В общем случае выражение "дисперсия распространения" используется для более сложных ситуаций, где в вычислениях участвует несколько проб. Теоретически значение дисперсии распространения получается из выражения:

$$\sigma_E^2(v, V) = \frac{2}{vV} \iint_V \gamma(x-y) dx dy - \frac{1}{v^2} \iint_v \gamma(x-x') dx dx' - \frac{1}{V^2} \iint_V \gamma(x-y) dy dy' \quad (5.34)$$

Поэтому

$$\sigma_E^2(v, V) = 2\bar{\gamma}(v, V) - \bar{\gamma}(v, v) - \bar{\gamma}(V, V) \quad (5.35)$$

где $\bar{\gamma}(v, V)$, $\bar{\gamma}(v, v)$ и $\bar{\gamma}(V, V)$ - средние значения вариограмм, когда конечные точки вектора h независимо движутся внутри V и v соответственно (рис. 5.17).

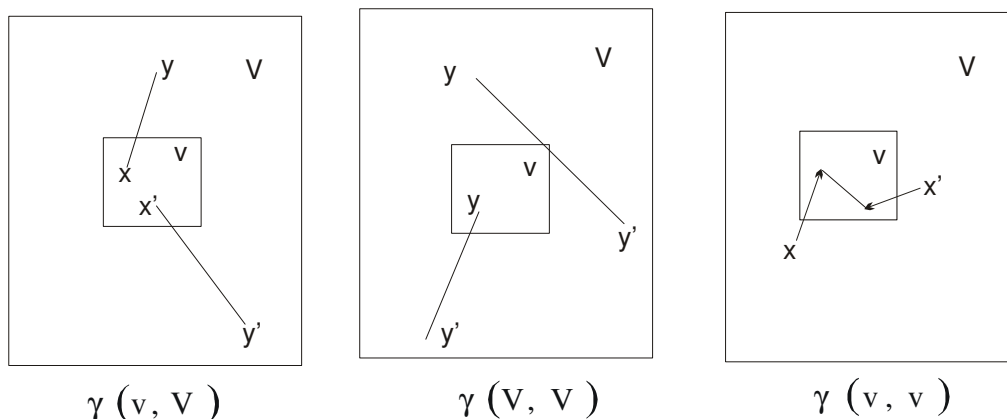


Рисунок 5.17 Схема, объясняющая выбор пар точек для расчета вариограммы.

Формула (5.35) подходит для любых форм объемов v и V . При этом объем v может не находится внутри V .

Формулу (5.35) можно переписать в виде:

$$\sigma_E^2(v, V) = [\bar{\gamma}(v, V) - \bar{\gamma}(V, V)] + [\bar{\gamma}(v, V) - \bar{\gamma}(v, v)] \quad (5.36)$$

Эта формула делает понятным, что дисперсия распространения уменьшается, когда:

- проба v лучше представляет оцениваемый регион V . В предельном случае $v=V$, т.е. $\sigma_E^2(v, V) = 0$.
- вариограмма более регулярна, т.е. переменная более непрерывна.

Другое понятное и не менее важное свойство дисперсии распространения заключается в том, что она использует вариограмму и геометрию оцениваемой области, но не действительные значения проб. Это свойство также характерно для дисперсии и весов кригинга.

Обычно люди путают дисперсию изменчивости $\sigma_E^2[v|V]$ с дисперсией распространения $\sigma_E^2(v, V)$. Дисперсия изменчивости имеет физический смысл; она измеряет дисперсию проб данного объема v внутри другого объема V . В свою очередь, дисперсия распространения является концепцией, характеризующей ошибку, связанную с различными шаблонами сети опробования. Теоретически эти две дисперсии связаны следующим способом: дисперсия изменчивости является средним значением дисперсии распространения, когда пробы v занимают все возможные позиции внутри V .

Теперь мы можем вычислить общие запасы (и среднее содержание) для большого региона, известного как зона минерализации.

3.4.47 Зона минерализации

В данном случае предполагается, что зона минерализации известна, а месторождение - двумерное (например, угольный пласт или золотая жила). Для простоты зона представлена прямоугольником, но эту же процедуру можно применить и для региона любой другой формы.

Вначале мы предполагаем, что пробы расположены по регулярной или почти по регулярной сетке. Чтобы оценить общий тоннаж руды, надо умножить площадь региона на среднюю мощность пласта или жилы (здесь среднее обозначает среднеарифметическое). Интерполяционные расчеты (включая кригинг), использующие большое количество проб, расположенных по регулярной сетке, показали, что весовые факторы проб очень близки к $1/N$, где N – количество проб. Поэтому наша оценка равна:

$$Z^*(V) = \sum \frac{1}{N} Z_i \quad (5.37)$$

Соответствующая дисперсия оценивания –

$$\frac{2}{NV} \sum_i \int \gamma(x_i - y) dy - \frac{1}{V^2} \iint \gamma(y - y') dy dy' - \frac{1}{N^2} \sum \sum \gamma(x_i - x_j)$$

(5.38)

Если количество проб (N) большое, то эта формула становится громоздкой. Поэтому мы аппроксимируем ее, предполагая, что сумма ковариаций между ошибками распространения равна нулю.

На Рис. 5.18 изображены N квадратов с пробами в центрах. Пусть $Z(v_i)$ будет действительным, но неизвестным средним i-го квадрата.

*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*

Рисунок 5.18. Регулярная сеть опробования

Так как среднее всей области является просто средним маленьких квадратов, то ошибка, полученная при использовании среднего проб, как оценки области, равна:

$$\sum \frac{1}{N} [Z(v_i) - Z_i]$$

(5.39)

Таким образом, это будет среднее частных ошибок. Чтобы упростить вычисления, предположим, что сумма ковариаций между ними равна нулю. Отсюда получаем дисперсию оценивания

$$\sigma_{\text{EST}}^2 = \text{Var}\left(\frac{\sum(Z_i - Z(v_i))}{N}\right) = \frac{1}{N^2} \sum \text{Var}(Z_i - Z(v_i))$$

(5.40)

Таким образом, $\text{Var}(Z_i - Z(v_i))$ является дисперсией распространения значения центральной пробы на весь квадрат v_i . Так как все квадраты имеют одинаковый размер, то

$$\sigma_{\text{EST}}^2 = \frac{1}{N} \sigma_E^2(0, v)$$

(5.41)

Этот метод основан на прямой композиции и верен только в том случае, когда форма блоков близка к квадратной. Если отношение длины блока к ширине больше 3:1, то нужно использовать композицию линией и сечением, которые описываются в следующем параграфе. Когда решается вопрос, какой принцип аппроксимации использовать, нужно учитывать анизотропию вариограммной модели. Отношение длины блока к его ширине следует вычислять в единицах зоны влияния вариограммы, а не в единицах расстояния. Например, если пробы расположены по действительно квадратной сети (Рис. 5.18), но вариограмма имеет отношение анизотропии 2:1, то конфигурация проб после учета анизотропии растянется как показано на Рис. 5.19.

*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*

Рисунок 5.19. Сеть опробования после учета анизотропии

Представленный выше метод используется, когда пробы равномерно распространены в пространстве. Он не может быть использован, если данные в одном направлении намного гуще, чем в другом, как, например, происходит в сейсмозазведке или (иногда) в бороздовом опробовании подземных горных выработок. Когда пробы располагаются на близком расстоянии вдоль линий, между которыми – большое расстояние, то для вычисления дисперсии оценивания должен использоваться другой метод аппроксимации. Он включает в себя объединение ошибок, сделанных при экстраполяции содержаний проб вдоль линий, и, затем экстраполяцию линейных содержаний на пространство между линиями.

На Рис. 5.20 показаны 2 профиля d_1 и d_2 с пробами. Если расстояние между пробами вдоль линий профилей равно s , то на первой линии размещается $n_1=d_1/s$ проб.

Сечения по пробам шириной v_1 и v_2 имеют центры на линии профиля. Поэтому вся область V представляет собой сумму отдельных сечений.

Пусть $Z(V)$ будет действительным, но неизвестным содержанием всего объема V . Примем также, что $Z(v_i)$ и $Z(d_i)$ - действительные значения сечения v_i и линии d_i . Предположим также, что линии сечений изучены точно, поэтому мы знаем истинное значение $Z(d_i)$. Чтобы оценить $Z(V)$, мы должны взвесить каждое $Z(d_i)$ по его сечению v_i . Так как расстояние между профилями постоянно, то $v_1/d_1 = v_2/d_2$ и мы получим

$$Z^*(V) = \frac{\sum_i v_i Z(d_i)}{\sum_i v_i} = \frac{\sum_i d_i Z(d_i)}{\sum_i d_i} \quad (5.42)$$

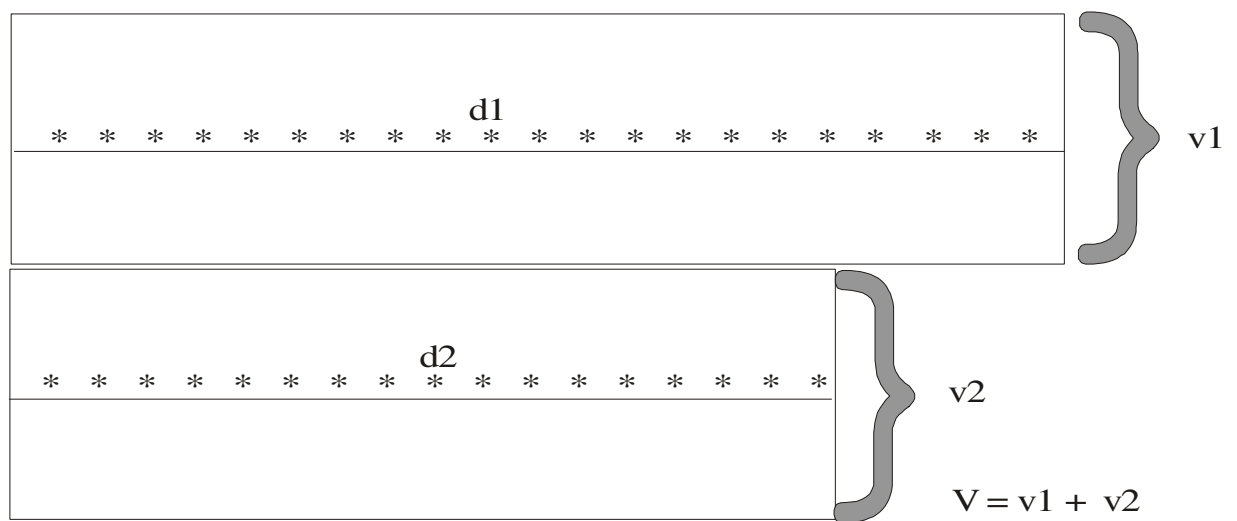


Рисунок 5.20. Два профиля длиной d_1 и d_2

Аналогично действительное, но неизвестное значение $Z(V)$ равно:

$$Z(V) = \frac{\sum_i v_i Z(v_i)}{\sum_i v_i} = \frac{\sum_i d_i Z(v_i)}{\sum_i d_i} \quad (5.43)$$

Поэтому ошибка оценивания – взвешенное среднее элементарных ошибок оценивания, что означает, что разность $Z(d_i) - Z(v_i)$ равна:

$$Z^*(V) - Z(V) = \frac{\sum_i d_i [Z(d_i) - Z(v_i)]}{\sum_i d_i}$$

(5.44)

По принципу аппроксимации дисперсия оценивания –

$$\sigma_E^2 = \text{Var}[Z^*(V) - Z(V)] = \frac{\sum_i d_i^2 \sigma_{Ei}^2}{\left(\sum_i d_i\right)^2},$$

(5.45)

где σ_{Ei}^2 – элементарная дисперсия распространения центральной линии сечения на ее область влияния. Обратите внимание на то, что они взвешены с помощью квадратов длин d_i .

Более достоверно сечения линий вычисляются расчетом среднего содержания проб вдоль линии сечения. Так как пробы расположены на одинаковом расстоянии, то для оценивания $Z^*(d_i)$ используется среднее n_i проб:

$$Z^*(d_i) = \sum_k Z(s_k) / n_i$$

(5.46)

Общая ошибка оценивания $Z^*(V) - Z(V)$ может быть разделена на два слагаемых.

$$\frac{\sum_i d_i [Z(d_i) - Z(v_i)]}{\sum_i d_i} + \frac{\sum_i d_i [Z^*(d_i) - Z(d_i)]}{\sum_i d_i}$$

(5.47)

Левое слагаемое соответствует случаю распространения линии сечения на окружающее пространство, в то время как правое слагаемое соответствует случаю распространения проб на линию сечения. Если мы предположим, что $Z(s_{ik})$ и $Z^*(s_{ik})$ являются действительными и оцененными содержаниями k -ой пробы в i -ой секции, то второе слагаемое можно переписать, как

$$\frac{\sum_i d_i / n_i \sum_k [Z^*(s_{ik}) - Z(s_{ik})]}{\sum_i d_i}$$

(5.48)

Как обычно, сумму ковариаций полагаем равной нулю, поэтому мы можем просуммировать дисперсии. В итоге получаем:

$$\sigma_E^2 = \frac{\sum_i d_i^2 \sigma_{Ei}^2}{\left(\sum_i d_i\right)^2} + \frac{\sum_i d_i^2 \sigma^2(O,s)/n_i}{\left(\sum_i d_i\right)^2}$$

(5.49)

Если N обозначает общее количество проб ($N = \sum_i n_i$) то

$$\sigma_E^2 = \frac{\sum_i d_i^2 \sigma_{Ei}^2}{\left(\sum_i d_i\right)^2} + \frac{\sigma^2(O,s)}{N}$$

(5.50)

Поэтому общая дисперсия оценивания является композицией сечения, которая отвечает за распространение линии сечения на ее область, и композицией линии,

$$\frac{\sigma^2(O,s)}{N}$$

(5.51)

которая отвечает за ошибки, сделанные, когда значения проб распространялись на линию сечения.

В некоторых случаях границы рудного тела заранее неизвестны. Поэтому они должны быть определены из доступной информации, например - данных опробования скважин. Эта неопределенность знаний о геометрии рудного тела приводит ко второму источнику ошибки, называемой геометрической ошибкой, которая должна быть добавлена к ошибке, описанной ранее.

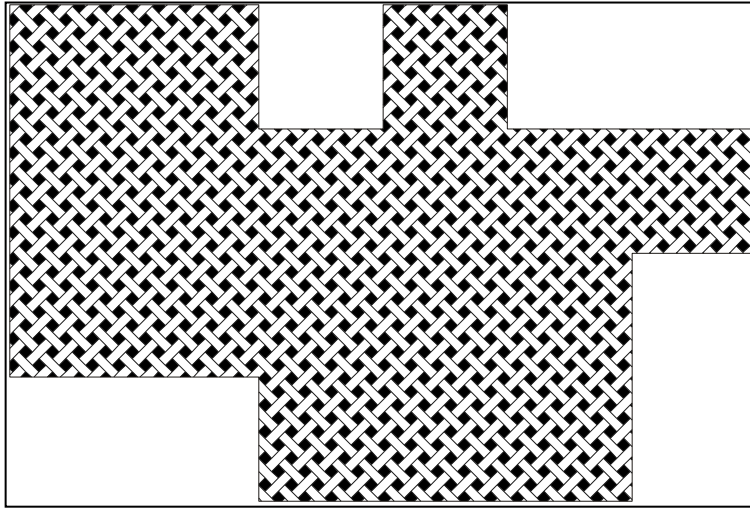


Рисунок 5.21. Расположение минерализованных и породных блоков на участке. Скважины расположены в центрах соответствующих блоков.

На Рис. 5.21 изображен регион, содержащий 48 скважин. Семнадцать из них попадают в рудное тело (соответствующие блоки заштрихованы), остальные нет. Простейший путь определить размеры рудного тела – это объединить все квадраты сетки с результатами опробования.

Для вычисления отношения геометрической ошибки к квадрату минерализованной области A используется формула:

$$\frac{\sigma_A^2}{A^2} = \frac{1}{N^2} \left[\frac{N_2}{6} + 0.061 \frac{(N_1)^2}{N_2} \right] \quad (5.52)$$

где N – количество положительных (минерализованных) проб (здесь 17). Параметры N_1 и N_2 рассчитываются суммированием количества сторон квадратов сетки по вертикали и горизонтали. Чтобы быть более точным, N_1 и N_2 вычислены делением общего количества квадратов сетки в каждом направлении на 2. Обратите внимание, что N_1 должно быть больше или равно N_2 . В приведенном примере – 12 горизонтальных сторон и 10 вертикальных. Поэтому при $N_1=6$ и $N_2=5$, получаем

$$\frac{\sigma_A^2}{A^2} = \frac{1}{17^2} \left[\frac{5}{6} + 0.06 \frac{(6)^2}{5} \right] = 6.6\%$$

Обратите внимание, что при вычислении N_1 и N_2 все выступы и впадины на границах зоны должны быть учтены, включая периметр внутренних блоков. Вычисленная таким образом геометрическая ошибка должна быть введена в дисперсию оценивания. При выполнении этого требуется некоторая осторожность.

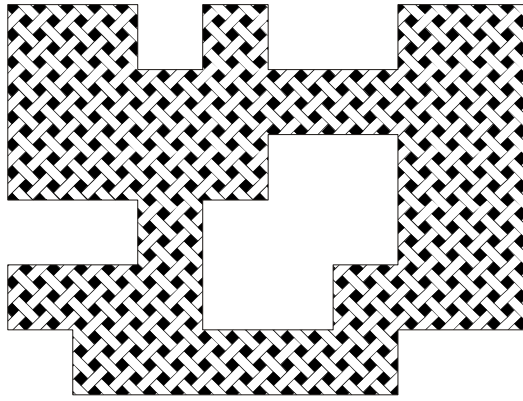


Рисунок 5.22. Расположение минерализованных и породных блоков

На Рис. 5.22 изображена конфигурация региона с пустой зоной в центре рудного тела. Это обстоятельство несколько затрудняет вычисление N_1 и N_2 . Сначала рассмотрим вертикальное направление, общее количество сторон квадратов сетки по внешней границе 16, а внутри 6, что дает в итоге 22. Аналогично - в горизонтальном направлении, общий периметр равен 26 (20+6). Это означает, что N_1 равно 13 и N_2 равно 11. Остальные вычисления производятся так же как и раньше.

3.4.48 Оптимальная сеть опробования

Теперь мы знаем, как вычислить дисперсию оценивания, и можем найти оптимальную сеть бурения для оценивания той или иной переменной (содержания). Здесь термин "оптимальная" означает сетку, которая дает требуемую дисперсию оценивания при наименьшем количестве скважин (проб), и поэтому имеет наименьшую стоимость. Для изотропного месторождения должна использоваться регулярная квадратная сетка. Когда присутствует анизотропия, отношения расстояний между пробями вдоль основных осей должно быть пропорционально отношению анизотропии.

Предположим, что мы хотим оценить среднюю мощность пласта и среднее содержание (здесь мы имеем в виду содержание серы в угле) на участке 4км на 4км. Для упрощения мы принимаем, что пласт простирается по всему участку и является изотропным. На участке возможно пробурить 16 скважин по 1км сетке или 64 скважины по сети 500 м, как показано на рис. 5.23.

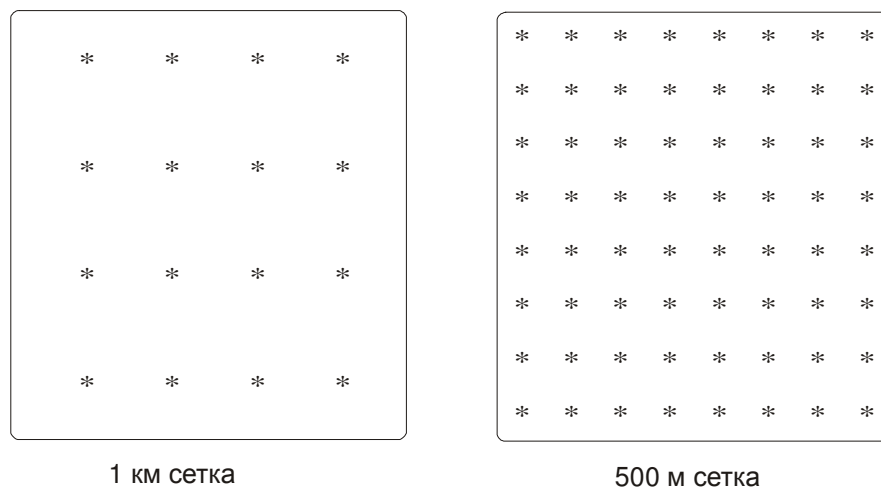


Рисунок 5.23. Две возможных сетки бурения

Предположим, что вариограмма мощности - сферическая с зоной 1500м и порогом 1.0, а вариограмма содержания серы - также сферическая с зоной 200м и порогом 0.4.

Дисперсию распространения можно найти, используя таблицы или небольшую компьютерную программу. В данном случае рассчитанные значения будут следующими:

$$\sigma_E^2(0|v) = 0.27 \quad \text{для мощности} \quad \text{и} \quad = 0.38 \quad \text{для содержания серы}$$

Поэтому дисперсия оценивания в расчете на 1 скважину:

$$\sigma_E^2 = 0.27/16=0.0169 \quad \text{для мощности} \quad \text{и} \quad = 0.38/16=0.0238 \quad \text{для содержания серы}$$

Эти вычисления были повторены для 500м сетки:

$$\sigma_E^2 = 0.0020 \quad \text{для мощности} \quad \text{и} \quad = 0.0055 \quad \text{для содержания серы}$$

Сравнивать лучше не сами дисперсии, а коэффициенты вариации. Чтобы получить грубую оценку точности, можно взять интервал, равный среднему \pm удвоенное СКО, что соответствует 95% доверительному интервалу. Для 1000м сетки значения мощности имеют точность $\pm 6.6\%$, тогда как содержания серы – только $\pm 61.2\%$. Эти цифры отражают зоны влияния двух моделей вариограмм (1500м в сравнении с 300м). В результате, если даже эта сетка опробования оптимальна для мощности, то она не позволит достаточно точно оценивать по результатам опробования содержания серы.

Оптимальная сетка бурения зависит также от размера и (для маленьких размеров) от формы оцениваемого региона. Определяющим фактором, формирующим дисперсию оценивания, является общее количество скважин (проб), а не расстояние между ними. Поэтому, хотя 1000м сетка может быть оптимальной для одной переменной и определенной области, но она не будет достаточно плотной для района меньшего размера и будет излишне дорогой для большей области.

Когда границы рудного тела в начале разведки неизвестны, то лучше на этом этапе бурить скважины по достаточно широкой сетке и, затем, когда границы станут известными, заполнять их. В этом случае нельзя вначале определять дисперсию оценивания и оптимальное расположение, так как геометрическая ошибка зависит от размера и формы зоны минерализации.

7 Оценка извлекаемых запасов

Общие сведения

Проблема оценки извлекаемых запасов является одной из центральных при освоении полезных ископаемых. Она тесно связана с решением таких вопросов, как изучение природной изменчивости оруденения, 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.

Следуя М.Давиду [25], "Руда представляет собой естественное твердое вещество, из которого могут быть с выгодой получены полезные компоненты посредством горных работ и сепарации 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 взаимосвязанных 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 принятыми экономическими и горно-техническими 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 добываемыми рудами 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.

7.3 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 6.1 и 6.2 представлены действительные содержания для блоков с размерами (основанием) 1 на 1 м (Рис. 6.1) и - 2 на 2 м (Рис. 6.2). Средние обеих 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 6.1. 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 6.2. Истинные значения содержаний 16-ти блоков размерами 2 на 2 м

Распределения блоков (рис. 6.3) 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.

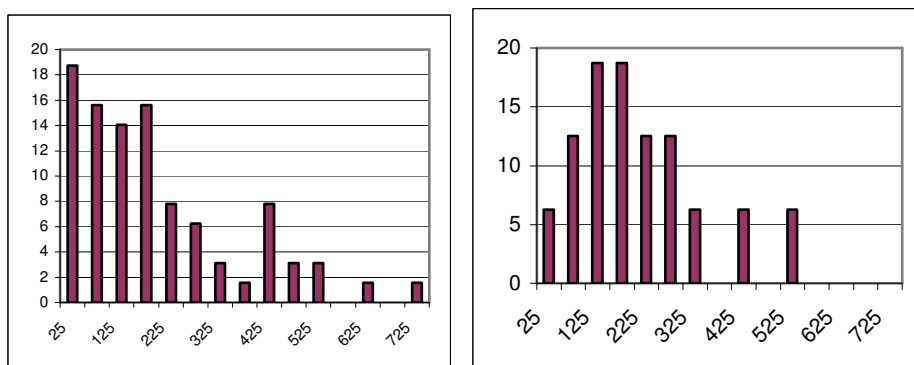


Рисунок 6.3. Гистограммы содержаний для блоков 1*1 м (слева) и 2*2 м (справа)

Такое соответствие можно скорее всего 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.6.4)[4]. Таким образом, мы получим гистограмму, характеризующую реальные условия разработки месторождения.

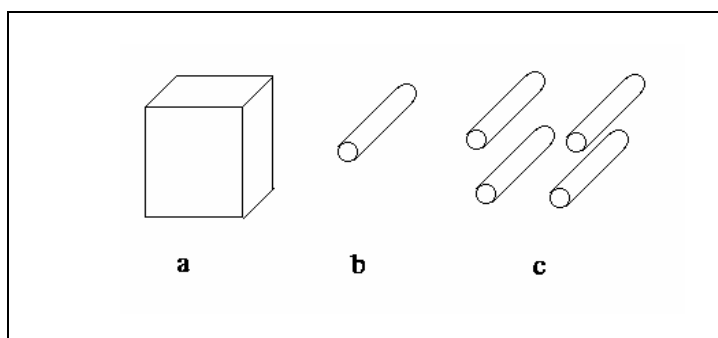


Рисунок 6.4. Различные основания для оценки запасов: а - выемочный блок, b - керновый образец, с- группа керновых образцов.

Если сеть разведочных выработок регулярна, то среднее этого распределения не будет сильно отличаться от среднего гистограммы проб. Однако, дисперсия будет намного меньше (Рис.6.5).

Если задавать различные бортовые содержания и для каждого значения рассчитывать запасы (тоннаж) руды и запасы металла, то получим функцию "тоннаж - металл" (Рис.6.6).

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.

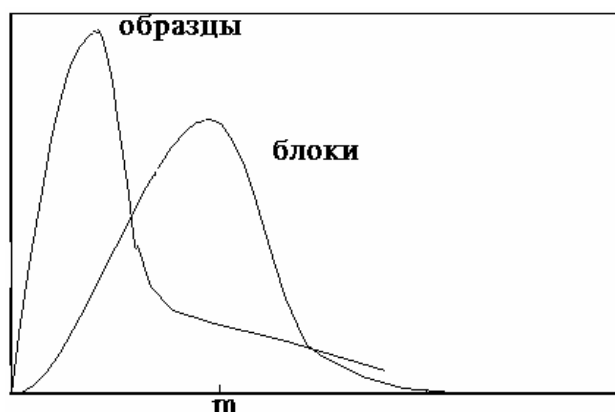


Рисунок 6.5. Гистограммы содержаний, построенные по разным основаниям

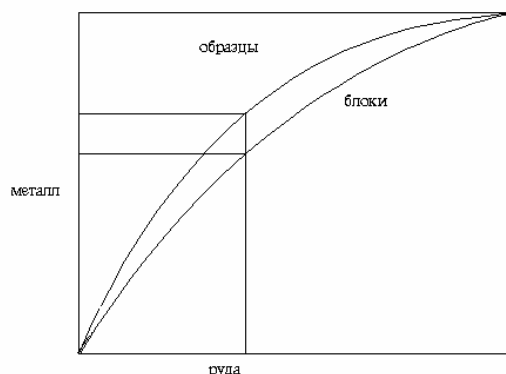


Рисунок 6.6. Зависимость запасов металла от запасов руды для различных оснований: образцов и блоков .

7.4 Дисперсия точечной пробы внутри объема

Итак, теперь понятно, чем больше основание, принятое для оценки запасов, тем меньше дисперсия качества руды. Следующий шаг – оценка дисперсии блоков по вариограмме проб.

Обозначим основания с разными объемами, как v (меньшее) и V (большее). Если данные двумерные, то это будут области, а не объемы. В нашей модели изучаемые переменные предполагаются, как реализации $z(x)$ случайной функции $Z(x)$. Если все значения величины внутри объема V доступны, то можно найти среднее содержание и дисперсию внутри этого объема. Среднее равно

$$m_v = \frac{1}{V} \int_V z(x) dx$$

(6.1)

а дисперсия содержаний внутри объема V

$$s^2(0|V) = \frac{1}{V} \int_V (z(x) - m_v)^2 dx$$

(6.2)

Здесь 0 означает точку с практически нулевым объемом. Если мы рассмотрим разнообразие реализаций, то дисперсию $z(x)$ внутри V можно получить, как математическое ожидание $s^2(0|V)$ для всех возможных реализаций:

$$\sigma^2(0|V) = E[s^2(0|V)]$$

(6.3)

Можно показать, что эта дисперсия связана с вариограммой формулой:

$$\sigma^2(0|V) = \frac{1}{V^2} \iint \gamma(x - y) dx dy$$

(6.4)

Этот интеграл есть среднее, вычисленное изменением x и y независимо по всему объему V. Поэтому введем обозначение $\bar{\gamma}(V, V)$. Получим

$$\sigma^2(0|V) = \bar{\gamma}(V, V)$$

(6.5)

На практике $\bar{\gamma}(V, V)$ вычисляется дискретизацией блока V.

7.5 Дисперсия блоков v внутри блока V

Теперь мы обсудим новую случайную функцию, определенную, как пространственное среднее объемов v:

$$Z_v(x) = \frac{1}{v} \int_v Z(x+t) dt$$

(6.6)

Цель – найти изменчивость этой новой переменной $Z_v(x)$ внутри большого объема V. Обычно v представляет собой керновую пробу, а V может представлять горный выемочный блок, или v – суточная добыча, а V – все месторождение (рис. 6.7).

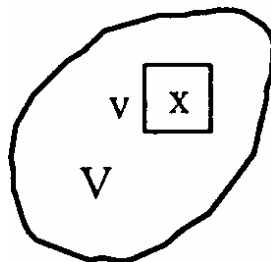


Рисунок 6.7. Маленький блок v с центром в точке x внутри объема V

Дисперсия v внутри V обозначается $\sigma^2(v|V)$ и рассчитывается следующим образом:

$$\sigma^2(v|V) = E\left(\frac{1}{V} \int_v (Z_v(x) - m_v)^2 dx\right) \quad (6.7)$$

Раскрывая это выражение, получаем:

$$\sigma^2(v|V) = \frac{1}{V^2} \int_v \int_v \gamma(x-y) dx dy - \frac{1}{V^2} \int_v \int_v \gamma(x-y) dx dy = \bar{\gamma}(V, V) - \bar{\gamma}(v, v) \quad (6.8)$$

Объединение результатов (6.5) и (6.8) дает уравнение, называемое аддитивным отношением Крига.

$$\sigma^2(v|V) = \bar{\gamma}(V, V) - \bar{\gamma}(v, v) = \sigma^2(0|V) - \sigma^2(0|v) \quad (6.9)$$

Это выражение можно написать для трех объемов v , V и V' , где $v \subset V \subset V'$:

$$\sigma^2(v|V') = \sigma^2(v|V) + \sigma^2(V|V') \quad (6.10)$$

Например, v может быть секцией керна, V – блоком, а V' - большим участком или всем месторождением. В этом случае формулу можно интерпретировать, как "дисперсия керна внутри месторождения равна дисперсии керна внутри блока плюс дисперсия блока внутри месторождения". Сейчас мы проверим это утверждение для данных, рассмотренных ранее (см. рис. 6.1 и 6.2). Здесь v соответствует блоку 1м на 1м, а V - блоку 2м на 2м.

Ранее мы получили:

$$\sigma^2(v|V') = \sigma_{1 \times 1}^2 = 27,592 \quad (6.11)$$

$$\sigma^2(V|V') = \sigma_{2 \times 2}^2 = 16,641.1 \quad (6.12)$$

Значение $\sigma^2(v|V)$ можно вычислить, как дисперсию четырех малых блоков внутри одного большого. Получаем 10,951. Легко проверить, что это значение эквивалентно 27,592-16,641 и, следовательно, удовлетворяет аддитивному отношению. На самом деле это справедливо для всех случаев, где малые блоки v полностью заполняют больший по размеру блок, в данном случае – V .

7.6 Изменение основания: регуляризация

Обозначим за $Z(x)$ случайную функцию, определенную на точечном основании. Ее среднее для объемов V определяет новую случайную функцию $Z_v(x)$ с основанием V . Можно показать, что вариограмма этой новой регуляризованной переменной:

$$\gamma_v(h) = \bar{\gamma}(V, V_h) - \bar{\gamma}(V, V) \quad (6.13)$$

где V_h обозначает основание V , перемещенное на расстояние h (преобразованное вектором h), а $\bar{\gamma}(V, V_h)$ представляет собой среднее значение вариограммы между произвольной точкой в V_h и другой точкой в V (рис.6.8).

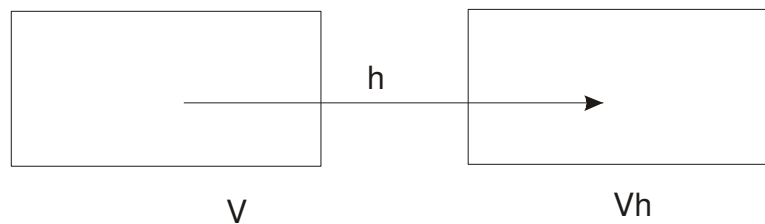


Рисунок 6.8. Объем V , перемещенный вектором h в объем V_h

Когда расстояние h мало по сравнению с размером V , то расстояние от произвольной точки в V до произвольной точки в V_h может значительно меняться. Например, если V – прямоугольник с длиной l , то горизонтальные расстояния меняются от $h-l$ до $h+l$. Однако, когда длина h значительно больше размера V , то все расстояния довольно близки к h . Следовательно, среднее значение вариограммы $\bar{\gamma}(V, V_h)$ приблизительно равно $g(h)$. Поэтому мы определим зависимость:

$$\gamma_v(h) = \gamma(h) - \bar{\gamma}(V, V) \quad (6.14)$$

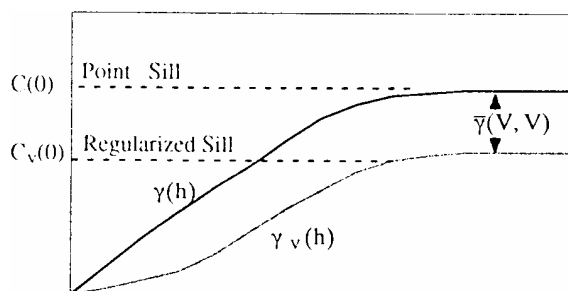


Рисунок 6.9. Вариограмма с точечным основанием и регуляризованная вариограмма

Данные опробования, используемые для оценки запасов, не всегда имеют одинаковый размер основания. Например, одни скважины могут иметь диаметр 8 дюймов, а другие - 2 дюйма. Важно уметь вычислять вариограммы, соответствующие этим двум основаниям. На рис. 6.9 представлена регуляризованная вариограмма и соответствующая функция для точечного основания. Более подробные сведения о регуляризации см. в глав 4.

Например, рассчитаем модели вариограмм для блоков 2м на 2м и 3м на 3м и получим, что $\bar{\gamma}(V, V) = 11,150$ для блоков 2м на 2м и $\bar{\gamma}(V, V) = 13,900$ для блоков 3м на 3м.

Найдем:

- для блоков 2м на 2м - $\gamma_R(h) = \gamma_{|x|}(h) - 11,150$
- для блоков 3м на 3м - $\gamma_R(h) = \gamma_{|x|}(h) - 13,900$

В результате - теоретические пороги регуляризованных вариограмм равны 16,450 и 13,700 соответственно. На Рис. 6.10 изображены эти три экспериментальные вариограммы. Их пороги близки к вычисленным теоретически.

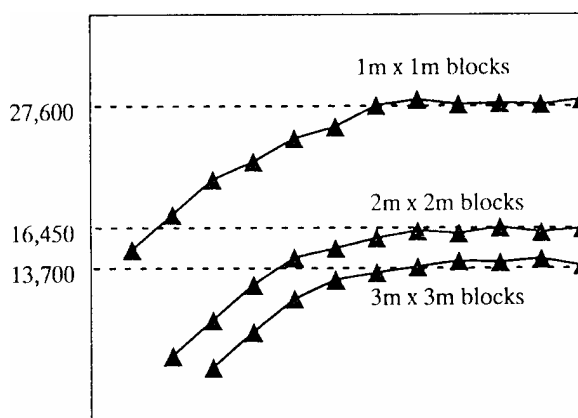


Рисунок 6.10. Экспериментальные вариограммы для трех размеров оснований

7.7 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 устанавливается, 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 оценки. 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. 6.11). 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 6.11. 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 блоки выбираются для добычи, 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:

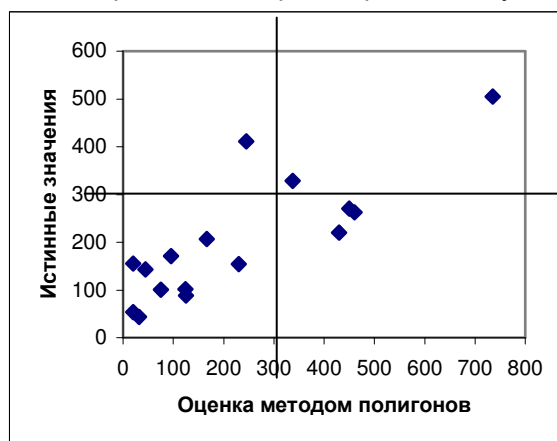
1. Истинные значения > 300 ; значение оценки > 300 . Эти блоки правильно оценены, как рудосодержащие. Они соответствуют правой верхней части диаграммы.

2. Настоящее значение < 300 ; значение оценки < 300 . Эти блоки пустой породы корректно оценены как пустая порода. Они лежат в левой нижней части диаграммы.

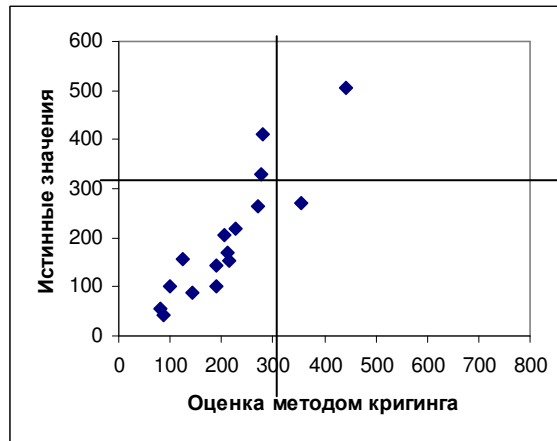
3. Настоящее значение > 300 ; значение оценки < 300 . Эти истинные рудосодержащие блоки были ошибочно отнесены к пустой породе; эта ошибка оценивания может иметь важное значение для рудника. Эти блоки лежат в левой верхней части диаграммы.

4. Настоящее значение < 300 ; значение оценки > 300 . Эти блоки пустой породы были отнесены к рудосодержащим. Этот второй тип ошибки оценки не отменяет предшествующую ошибку и может иметь негативные экономические последствия для рудника. Такие блоки расположены в правой нижней части диаграммы.

Рисунок 6.12 показывает диаграмму рассеяния, соответствующую 2-м методам оценки запасов для нескольких выемочных блоков: полигональному 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 неверную интерпретацию блоков для каждого метода оценки (см. блоки в левой верхней и правой нижней четвертях). Сравнение подтверждает, что кригинг работает лучше.



а)



b)

Рисунок 6.12. Диаграмма рассеяния истинных значений в сравнении с оценками; (а) для полигональной оценки и (б) для кригинга. В идеале, точки должны лежать на диагонали (настоящие значения = значениям оценки).

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

7.8 Применение дизъюнктивного кригинга для оценки извлекаемых запасов.

Построение зависимости "запас - содержание" дает большую информацию для планирования отработки месторождения. Тем не менее, эта информация является недостаточной по следующим причинам:

- 1) определение количества руды не обеспечивает ответа на вопрос, где непосредственно находится эта руда (т.е. можно предсказать запасы, но не положение руд в пространстве);
- 2) для диагностики, является ли блок промышленным или нет, точное содержание полезного ископаемого в нем предполагается известным, хотя на самом деле известной является лишь его оценка (т.е. по совокупности блоков месторождения можно предсказать окончательный результат эксплуатации, но нельзя детально предвидеть, каковы будут, например, результаты поквартальной деятельности);
- 3) наконец, во многих случаях соотношение между распределением содержаний полезного ископаемого в блоках и пробах оказывается более сложным, чем может быть выражено рассмотренными выше зависимостями.

Дизъюнктивный кригинг (ДК) [15] предусматривает получение условных распределений содержаний для относительно небольших объемов блоков, вплоть до точечного основания. Такое распределение в условиях неоднородности оруденения может быть получено как разложение пространственной переменной в виде полиномов Эрмита

$$g(X) = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{i!} H_i(X), \quad (6.15)$$

где $H_i(X)$ - ненормализованные полиномы Эрмита степени i ;
 $n + 1$ - соответствующий номер члена разложения.

Каждый коэффициент C_i оценивается независимо от других (в этом происхождение названия ДК) решением простой системы уравнений кригинга

$$C_i = \sum_{\alpha=1}^n \mathcal{E} H_i(X), \quad (6.16)$$

\mathcal{E} - результат решения уравнения

$$\sum_{\beta=0}^n \mathcal{E} H_\beta = \mathcal{E} H_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (6.17)$$

где ρ_{ij} - i -я степень корреляции между нормализованными значениями переменных в пробах ξ и δ_j ;
 $\rho_{v\xi}$ - то же между блоком v и пробой ξ .

Для $i = 0$ система редуцируется.

Система не содержит никаких условий к членам разложения для обеспечения положительности $g(X)$.

В результате мы получаем для каждого блока модели месторождения (выемочного блока, участка) не только среднее содержание и дисперсию кригинга, но и функцию вероятности того, что оцененная руда будет иметь содержание выше бортового.

Зависимость, которая устанавливается между величиной бортового содержания и выходом соответствующей ему промышленной руды, позволяет корректировать план ее добычи. На данном месторождении эта зависимость позволяет уменьшить расхождения между планируемыми и фактически добываемыми запасами руд (по некоторым оценкам) с 18 до 3% [1].

Как было показано выше, интересующие горняка зависимости могут быть установлены, если известен закон распределения содержаний полезного ископаемого в пробах или других объемах, для которых эти содержания определены.

7.9 Геостатистическое 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 (см.гл. 5). 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 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 обработке месторождения.

3.4.49 Условные модели

Детальное рассмотрение теории Условного Моделирования остается за рамками данной книги. Мы можем лишь отослать искушенного читателя к работам Жорнеля, например [27], а в особенности к его статье [28].

Предположим, что мы имеем множество проб $Y(X_a)$ в известных точках X_a , со средним содержанием $E[Y(X_a)] = m$. Смоделируем значения переменной во всех точках X исследуемого пространства и получим множество оценок $Z(X)$, которое имеет то же статистическое распределение, что множество реальных проб $Y(X_a)$.

Условность моделирования заключается в том, что модельные значения содержаний в точках опробования X_a принимаются равными значениям реальных проб, т.е. $Z(X_a) = Y(X_a)$. Выполним оценивание всех точек пространства кригингом и получим множество оценок $Y^*(X)$, которые в точках опробования принимают значения $Y(X_a)$, т.е. $Y^*(X_a) = Y(X_a)$.

Выполним еще раз операцию кригинга, взяв в качестве исходных данных опробования в точках X_a - смоделированные ранее значения $Z(X_a)$. Получим новое множество оценок - $Z^*(X)$.

Теперь мы имеем 3 множества значений $Z(X)$, $Y^*(X)$ и $Z^*(X)$. Так как кригинг обладает свойством точной интерполяции (см. гл. 5), то справедливы равенства $Z^*(X_a) = Z(X_a)$ и $Y^*(X_a) = Y(X_a)$. Мы можем определить значение содержания в каждой точке пространства по функции

$$Z_s(X) = Y^*(X) + [Z(X) - Z^*(X)],$$

которая обеспечивает требования условности $Z_s(X_a) = Y(X_a)$, т.к.

$$Z^*(X_a) = Z(X_a) \text{ и } Y^*(X_a) = Y(X_a).$$

За счет "довеска" $[Z(X) - Z^*(X)]$ получается дополнительный разброс $Z_s(X)$ по сравнению с $Y^*(X)$, который дает дисперсию, близкую к реальной.

Далее имеем $E(Z_s(X)) = m$, т.к. $E(Y^*(X)) = m$, $E[Z(X) - Z^*(X)] = 0$ и величины Y и Z некоррелированы. Вариограмма полученной новой функции равна вариограмме $Y(X_a)$.

Процесс условного моделирования может быть реализован по схеме, изображенной на рис. 6.13.

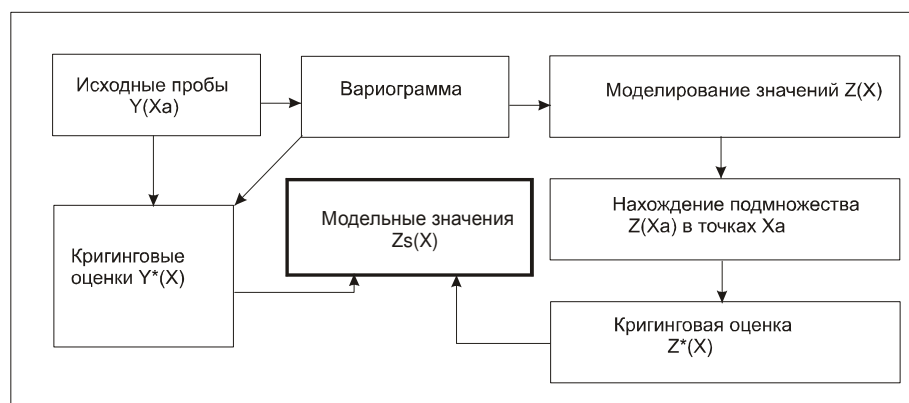


Рисунок 6.13. Алгоритм условного моделирования

Во многих науках, где концептуальная или математическая сложность мешает развитию детерминистического подхода к анализу риска, используется компьютерное моделирование для эффективных эмпирических решений проблемы. В развитии геостатистических методов оценки запасов метод Условного Моделирования (УМ) был введен для создания альтернативного моделирования рудных тел, точно отражающего характер изменчивости и неопределенности массива, что недоступно в методах оценки, построенных на ограниченных данных опробования.

Метод УМ существует уже более 15 лет, но его сложные реализации на компьютерах препятствовали его распространению в горной промышленности. Однако, с ростом мощности компьютеров и возрастанием числа используемых методов оценки запасов на УМ стали обращать больше внимания.

Основным источником риска в оценке запасов чаще всего является неопределенность в геологической интерпретации объекта (т.е. в определении геологических структур, непрерывности минерализации и т.п.) в неопробованных районах месторождения. Обычно эти определения носят качественную природу, и риск от неправильной или не совсем точной интерпретации геологии объекта редко может быть оценен количественно. Однако, если данная интерпретация принята, как лучшая модель объекта большинством экспертов, то всегда существуют достаточно много других источников ошибок в статистической оценке содержаний внутри принятой модели. Речь идет об ошибках, которые могут и должны быть учтены при оценке запасов.

Используемые на практике методы оценки запасов ориентированы главным образом на оценку среднего значения величины, а не на измерение характера ее изменчивости. Из всех традиционных методов только Кригинг позволяет определить погрешность оценки (остальные методы рассчитывают только значение показателя в данной точке путем интерполяции), что является основным преимуществом геостатистических методов.

Для решения вопросов, связанных с оценкой неподтверждения геологической информации используется несколько подходов, которые не дают достаточно надежных результатов. Однако в большинстве случаев, когда требуется полный анализ возможных ситуаций, наиболее практично использование условного моделирования а не теоретических вычислений. При осуществлении горного планирования может показаться, что классический анализ Монте-Карло (имитационное моделирование) дает удовлетворительные результаты. Например, мы имеем оценки содержаний для каждого блока и распределение частот для некоторых случаев, определяющее вероятность извлечения блока с требуемым содержанием. Чтобы оценить шанс (для примера) выбора 10 блоков месячной добычи, имеющих среднее содержание выше заданного борта, мы можем смоделировать выбор этих 10 блоков тысячами различных комбинаций. Определением среднего содержания для каждой комбинации из 10 блоков мы можем подсчитать число удачных исходов, а, следовательно, рассчитать требуемую вероятность.

Однако, метод Монте-Карло ограничивает вышеназванные условия расчета требованием независимости моделируемых величин, что неприемлемо для пространственной непрерывности реальных блоков.

Для примера, если первые 2 блока в последовательности оказываются смежными, то нереалистично представлять себе ситуацию, когда первый блок имеет очень высокое содержание, а второй - очень низкое. Хотя этот подход может быть уточнен, чтобы учитывать реальные общие вероятности и ковариации, но он также становится непрактичным, как и другие теоретические методы.

Моделирование, в свою очередь, способно учитывать концепцию пространственной непрерывности блочных содержаний. Геостатистический метод УМ в частности дает возможное решение этой проблемы.

3.4.50 Условное моделирование (УМ)

Полученная с помощью УМ цифровая модель рудного тела обычно представлена на очень детальной регулярной пространственной решетке. Главное свойство такой модели то, что она отражает всю известную информацию о рудном теле в понятиях статистических распределений пространственной изменчивости содержаний, полученных по первичным данным опробования. Кроме того, она имеет фактические значения исследуемой переменной в опробованных точках и эффективно заполняет пробелы в информации моделируемыми значениями, которые наиболее вероятны в неопробованных точках. Повторение процесса моделирования может изменить значения в точках модели, но каждый раз будет получена одинаково возможная модель реальности.

Следующие свойства модели, полученной методом УМ, позволяют использовать ее для оценки запасов и горного планирования:

-наличие детальной информации, размещенной на регулярной пространственной сети, дающее практически полное знание моделируемого рудного тела или месторождения;

-возможность многократного повторения моделирования для получения равных по возможности представлений реального объекта.

Первое свойство обеспечивает инструмент для проверки (моделирования) многих процессов, связанных с опробованием, оценкой и планированием отработки новых рудных тел или выемочных блоков, а второе - обеспечивает эмпирическое развитие анализа устойчивости (риска) для этих процедур.

Многие применения были опробованы и проверены в первые годы развития УМ. Однако, серьезные требования к ЭВМ со стороны УМ в первый период его использования ограничили распространение этого метода на практике.

В это время УМ получило большое развитие в таких областях, как нефтяная промышленность и экология, где на эту тему было опубликовано много статей. Однако, с возрастанием мощности компьютеров и развитием теории моделирования, метод сейчас получает больше внимания и со стороны горняков, в т.ч. и для оценки риска.

3.4.51 Экспериментальная оценка изменчивости рудопотока на обогатительную фабрику.

Возможность моделирования характеристик руды по регулярной сетке с малым шагом позволяет впоследствии имитировать формирование из этих ячеек рудопотоков, поступающих из карьера или шахты на обогатительную фабрику. Целью этих операций является оценка влияния размеров оборудования и последовательности извлечения запасов на изменчивость качества руды, поставляемой на переработку. Условное моделирование здесь используется для генерирования возможных характеристик руды, например, в ежедневных объемах добычи одного забоя. Затем эти смоделированные значения объединяются в цепочки рудопотоков для заданного периода времени.

Ниже рассмотрен пример карьера, разрабатывающего медно-порфирировое месторождение. Высота уступа 12 м, а опробование руды на содержание меди ведется по шламу буровзрывных скважин на всю мощность уступа. Распределение меди по данным геологоразведки - логнормальное со средним - 0.51 % и коэффициентом вариации - 95%.

Рассматривались 2 варианта используемого оборудования:

-2 экскаватора с ковшом емкостью 8 куб м каждый, работающих на 2-х разных уступах одновременно;

-1 экскаватор с ковшом емкостью 15 куб м, работающий на одном уступе.

В первом случае ежедневно отрабатывается 2 блока размерами 15x7.5x12 м на двух горизонтах, а во втором случае отрабатывается один блок размерами 15x15x12 м. Так как значения содержаний в последовательности смежных блоков коррелированы, то можно ожидать большей изменчивости в рудопотоке большого экскаватора. Чтобы оценить эти предположения количественно было выполнено моделирование уступных содержаний меди по регулярной сетке 7.5x7.5 м. После этого моделировался рудопоток для 2-х указанных вариантов.

В первом случае за однодневную порцию принималось среднее значение 2-х смежных ячеек модели, во втором - среднее значение квадратного блока, состоящего из 4-х ячеек.

Выемка руды имитировалась из взорванных блоков, средни размеры которых 90x15x12 м. Анализировались ежедневные значена содержаний меди в рудопотоке на фабрику в течение 10 недель.

Сначала изучалось влияние параметров вариограммной модели н изменчивость рудопотока, получаемого от одного маленького экскаватора, табл.6.3.

Таблица 6.3 Влияние параметров вариограммы на изменчивость рудопотока

Доля эффекта самородка в пороге вариограммы, %	Среднее содержание меди ж рудопотоке за 10 недель, %	Стандартное отклонение
0	48	20
20	34	22
50	37	27
100	45	31

Из таблицы видно, что с увеличением эффекта самородка вариограммной модели возрастает и изменчивость поставляемой на фабрику руды. Кстати, при подобных расчетах с использованием кригинговой модели можно закономерно получить обратный результат т.к. с ростом C_0 увеличивается сглаживающее влияние кригинга.

Во второй части работы использовалась изотропная вариограммная - сферическая модель с эффектом самородка, равным 20% от порога и зоной 90 м. Сначала моделировалась раздельная работа двух маленьких экскаваторов (Н8), т.к. они работают раздельно на 2-х уступах, то корреляция между отгружаемой ими рудой практически отсутствует. Затем моделировался совместный рудопоток для этих же 2-х экскаваторов и, наконец, исследовалась работа одного большого экскаватора (Ш5).

Оценка изменчивости содержаний в рудопотоке делалась или по стандартному отклонению, или по количеству выходов среднесуточных содержаний за пределы зоны шириной $\pm 0.33m$, где m - среднее содержание рудопотока за 10 недель. Результаты расчетов приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4. Влияние типа оборудования на изменчивость рудопотока

Тип забоя	Среднее содержание, %	Ст.отклонение	Число выходов из стандарта
Н8(1)	34	22	23
Н8(2)	52	23	27
Н8(1)+Н8(2)	43	14	10
Н15	47	22	25

Таблица показывает, что работа небольших экскаваторов гораздо более эффективна с точки зрения получения однородного рудопотока на обогатительную фабрику.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение хочется еще раз напомнить, что геостатистика не является панацеей для оценки минеральных ресурсов. Ее выводы необходимо каждый раз проверять на традиционных методах (метод обратных расстояний, например) и в случае существенных отклонений – серьезно обосновывать свои выводы, и прежде всего – себе самому.

Эксперт, которому доверяют оценку горного проекта, несет всю полноту ответственности за свои выводы, в том числе и материальную. Известны случаи, когда экспертов привлекали к суду и наказывали их громадными штрафами за некачественную работу и ошибки в оценке запасов руды. И наоборот, в большинстве западных стран существуют списки компаний и экспертов, которым доверяют, и под выводы которых банки выделяют компаниям очень большие кредиты на освоение оцененных этими экспертами месторождений.

При выполнении геостатистического исследования эксперты должны быть способны в будущем обосновать каждый свой шаг и тот набор данных, который они

использовали на каждом этапе. Лучший путь для этого – ведение рабочего журнала. Ниже приведены некоторые рекомендации Центра геостатистики Фонтенбло по организации этой работы.

(1) Рабочие журналы должны представлять собой тетрадь с ограниченным количеством жестко сброшюрованных страниц. Желательно их пронумеровать и делать записи в них черными чернилами.

(2) Никогда не вырывайте страницы из Вашего журнала. Если Вы сделали ошибку, перечеркните раздел красным карандашом, впишите дату и причину исправления.

(3) Каждый день в начале работы впишите в журнал дату, включая год. Затем опишите каждую операцию, которую Вы выполнили. Например, при расчете экспериментальных вариограмм запишите точную характеристику используемых данных и все используемые параметры процесса расчета вариограммы. Теперь Вы сможете в точности повторить этот расчет в любое время, даже спустя 5 лет.

(4) В конце исследования у Вас скапливается много информации о месторождении (планы размещения скважин, геологические разрезы, пояснительные записки и т.д. и т.п.). Скрупулезно опишите в Вашем журнале и в начале Отчета, какую информацию вы подготовили (число листов карт, даты и т.д.). Геологические представления о месторождении со временем изменяются, поэтому у Вас должны быть ссылки, к какому времени относится приведенное Вами описание.

(5) Иногда в процессе работы вносятся изменения или дополнения в состав базы данных. Отметьте это в Вашем журнале и пошлите клиенту факс с подтверждением проделанной Вами работы с новыми данными. Телефонные сообщения легко забыть или потерять. Требуйте подтверждения в письменном виде. Вклейте копию факса в Ваш журнал. Оригинал (или копия) должен быть сохранен в исходящих документах.

(6) В ходе работы у Вас будет скапливаться много отпечатанных материалов, некоторые неиспользуемые, другие очень важные. Часть из них (например – результаты статобработки данных) должна быть вклеена в журнал, т.к. это поможет Вам в будущем, когда эти данные уже будут использованы. Другие важные материалы должны быть бережно сохранены (с указанием дат и заметками на углах) в папке. Убедитесь, что они имеют хороший вид, т.к. Вам может потребоваться их копия в окончательный отчет.

Литература

1. Капутин Ю.Е., Ежов А.И., Хенли С. 1995. Геостатистика в горно-геологической практике., Апатиты, КНЦ РАН. 191 с.
2. Journé A.G. 1989. Non-parametric estimation of spatial distributions. *Journal of the Intern.Assoc.of Mathematical Geology*, Vol 1, No.3, pp. 445-468.
3. Wackernagel H. 1995. *Multivariate Geostatistics*, Springer, Berlin, 256 p.
4. Armstrong M. 1998. *Basic Linear Geostatistics*. Springer – Verlag. Berlin. 152 p.
5. Девис В.С., Статистический анализ данных в геологии, Кн.2, М.: Недра, 1990, - 427 с
6. Справочник по прикладной статистике, М," Финансы и статистика, 1989, 510+526 с.
7. Jacod J. And Joathon P. 1970. The use of random genetic models in the study of sedimentary processes. *Internal Note CGMM N-202*
8. Matheron G. 1973. The intrinsic random functions and their applications. *Adv. In applied Prob. Vol. 5*, pp 439 – 468
9. Delfiner P. 1976. Linear estimation of non-stationary phenomena. *Proc. NATO ASI Rome 1975 "Advanced geostatistics in the mining industry"* cd. M. Guarascio et al. Reidel Pub. Co., Dordrecht, Holland. Pp 49 – 68.
10. Капутин Ю.Е., Геостатистическое исследование месторождений полезных ископаемых, Петрозаводск, КФ АН СССР, 1988, 48 с.31.
11. Krige D.G., Magri E.J. 1982. Studies of the effects of outliers and data transformation on variogram estimates for a base metal and a gold ore body. - *Mathematical Geology*, V.14, N.6, p.557-564

12. Марголин А.М. 1974. Оценка запасов минерального сырья. Математические методы. М., Недра. 264 с
13. Cressie N.1984. Towards resistant geostatistics. - Geostatistics for natural resources characterisation. Dordrecht, p.21-44.
14. Armstrong M. 1984. Common problems seen in variograms. - Mathematical Geology, V.16, N.3, p.305-313
15. David M. 1988. Handbook of applied advanced geostatistical ore reserve estimation, Elsevier, Amsterdam, 216 p.
16. Armstrong M., Diamond P. 1984. Testing variograms for positive definiteness. - Mathematical Geology, V.16, N.4, p.407-421.
17. Daud P.A. 1984. Variogram and kriging: robust and resistant estimators. - Geostatistics for natural resources characterisation. Dordrecht, p.91-106.
18. Chung C.F. 1984. Use of the Jackknife method to estimate autocorrelation function (or variogram). - Geostatistics for natural resources characterisation. Dordrecht, p.55-69.
19. Omre H. 1984. Variogram and its estimation. - Geostatistics for natural resources characterisation. Dordrecht, p.107-125.
20. Dagbert M., David M. 1984. Computing variograms in folded strata-controlled deposits. - Geostatistics for natural resources characterisation. Dordrecht, p.71-90.
21. Armstrong M. 1984. Improving the estimation and modelling of the variogram. - Geostatistics for natural resources characterisation. Dordrecht, p.1-19.
22. Davis B.M. 1987. Uses and abuses of cross-validation in geostatistics. - Mathematical Geology, V.19, N.3, p.241-248.
23. Barnes R.J. and Johnson T.B.. 1984. Positive kriging, in Geostatistics for natural resources characterization, ed G. Verly et al. proceedings of NATO ASI Lake Tahoe September 1983, pp 231 – 244
24. Chauvet P. 1988. Reflexions sur les ponderateurs negatifs du krigeage. Cdi Terre, Inf. Geologique 28. pp 65 – 113
25. Давид М. 1980. Геостатистические методы при оценке запасов руд. Л., Недра. 360 с
26. Journé A.G. (1974) Geostatistics for conditional simulation orebodies. Economic Geology, Voi 69, pp. 673-687
27. Journé A.G. (1979) Geostatistica! simulation; methods for exploratio and mine planning. Engineering and Mining Journal, December 1979

Приложение 1. Англо-русский словарь основных геостатистических терминов

Anisotropy: - анизотропия

- **Geometric** – геометрическая анизотропия
- **Zonal** - зональная анизотропия

Apparent discontinuity at the origin – нарушение непрерывности в начале координат

Behavior near the origin – поведение функции в начале координат

Co- Kriging: - ко-кригинг

- **Indicator** – индикаторный ко-кригинг

Conditional simulation – условное моделирование

Conditional unbiasedness – условная несмещенность

Cross validation - перекрестная проверка

Dispersion - изменчивость

Effect: - эффект

- **Hole** - скважинный (дырочный) эффект
- **Information** – информационный эффект
- **Proportional** – пропорциональный эффект

- **Screen** – экранирующий (экранный) эффект
- **Support** – эффект основания

Formula: - формула

- **De Wijs** - формула де Вийса
- **Krige's** - формула Криге

Geostatistics: - геостатистика

- **Deterministic** – детерминистская геостатистика
- **Linear** - линейная геостатистика
- **Nonlinear** - нелинейная геостатистика
- **Nonparametric** – непараметрическая геостатистика

Intrinsic function - внутренняя функция

Kriging neighborhood – окрестность кригинга

Kriging: - кригинг

- **Autokriginng** – автокригинг
- **Block** – блочный кригинг
- **Disjunctive** – дизъюнктивный кригинг
- **Dual** - парный кригинг
- **Factorial** – факториальный кригинг
- **Indicator** – индикаторный кригинг
- **Intrinsic** - внутренний кригинг
- **Lognormal** - логнормальный кригинг
- **Median Indicator** – медианный индикаторный кригинг
- **Multigaussian** – многомерный гауссовский кригинг
- **Multiple Indicator** - многомерный индикаторный кригинг
- **Ordinary** – обычный кригинг
- **Point** - точечный кригинг
- **Probability** - вероятностный кригинг
- **Random** - случайный кригинг
- **Residual** - кригинг остатков
- **Simple** - простой кригинг
- **Transitive** - транзитивный кригинг
- **Universal** - универсальный кригинг

Method: - метод

- **Turning bands** – метод вращающихся полосок
- **Jackknife** - метод складного ножа

Nested structure - вложенная структура

Nugget effect: - эффект самородка

- **Pure** - чистый эффект самородка
- **Relative** – относительный эффект самородка

Overestimation - переоценивание

Range - зона влияния вариограммы

Recoverable reserves - извлекаемые запасы

Regionalized variables - пространственные переменные

Regularization - регуляризация

Reserves in situ – геологические запасы (в массиве)

Robust - устойчивый

Sill - порог вариограммы

Sliding neighborhood – скользящая окрестность

Smoothing - сглаживание

Stationarity - стационарность

Structural analysis – структурный анализ

Unbiased - несмещенный

Uncertainty - неопределенный

Underestimation - недооцененный

Variance: - дисперсия

- **Dispersion** - дисперсия изменчивости
- **Estimation** - дисперсия оценки
- **Extension** - дисперсия распространения
- **Kriging** – дисперсия кригинга

Variogram cloud – вариограммное облако

Variogram model: - модель вариограммы

- **2D hole effect** – модель в 2-х измерениях со скважинным эффектом
- **Cardinal sine** – основная синусоидальная модель
- **Cubic** – кубическая модель
- **Exponential** – экспоненциальная модель
- **Gaussian** – модель Гаусса
- **Power function** – степенная модель
- **Prismato-gravimetric** – призматическая гравиметрическая модель
- **Prismato-magnetic** – призматическая магнитная модель
- **Pure nugget effect** – модель чистого эффекта самородка
- **Spherical** - сферическая модель

Variogram model fitting - подбор модели вариограммы

Variogram (semivariogram): – вариограмма (полувариограмма)

- **De Wijsian** – вариограмма де Вийса
- **Experimental** - экспериментальная вариограмма
- **Gaussian** – вариограмма Гаусса
- **Generalized** – обобщенная вариограмма
- **Logarithmic** – логарифмическая вариограмма
- **Nested** – вариограмма с эффектом включений
- **Of order N** – вариограмма порядка N
- **Regularized** – регуляризованная вариограмма
- **Relative** - относительная вариограмма
- **Underlying** =- вариограмма для остатков
- **Rank order** - вариограмма рангового порядка
- **Cross** – кросс-вариограмма

Variography – вариография

На этих страницах Вы сможете найти подробный толковый англо-русский словарь статистических терминов.

<http://learn.at/infoscope/Statistics/glossary/index.html>

<http://read.at/infoscope/Statistics/glossary/index.html>

<http://now.at/infoscope/Statistics/glossary/index.html>

Приложение 2. Описание основных функций компьютерной системы ИСАТИС, разработанной компанией Геовариансес (Geovariances)

Компьютерная система Исатис (Isatis) компании Геовариансес (<http://www.geovariances.fr/>) предлагает геологам и горным инженерам большой набор инструментов для геостатистического анализа информации, оценки и моделирования месторождений. Это единственная система в мире, которая поддерживает как стационарную так и нестационарную технологию оценки, различные виды интерполяторов (линейный, логнормальный, дизъюнктивный кригинг, равномерное обуславливание и т.д.) применительно к содержаниям или индикаторам. Ниже приводится краткий перечень основных функций этой системы, дающий некоторое представление о том многообразии очень точных инструментов, которое может иметь на вооружении искушенный геостатистик.

Исатис имеет собственную базу данных, в которой может обрабатываться любой вид исходной информации. Вместе с имеющимися прекрасными графическими возможностями этот пакет обеспечивает наиболее мощные многофункциональные решения в геостатистике. Он ориентирован главным образом на 3 области использования:

- Разведка и добыча твердых полезных ископаемых
- Разведка и добыча нефти и газа
- Экология

Организация данных внутри системы:

- 4-х уровневая организация информации: Проект-Директория-Файл-Переменная.
- Манипуляция одно, двух или трехмерными данными без ограничения на число проб или переменных.
- Возможность управления информацией с четкой иерархией (сетка, линия) или без какой-либо организации (точка).
- Хранение как числовой, так и текстовой информации.
- Использование переменных, связанных с расстояниями, и легкое управление ими.
- Интеграция данных с Макро переменными, которые позволяют производить многочисленные манипуляции с этой информацией. Особенностью их является то, что они могут работать одновременно в течение процесса моделирования.
- Использование переменных Выбора для динамической выборки или маркировки проб с целью определения различных областей в пространстве.

Управление файлами и данными:

- Способность импорта/экспорта данных в другие пакеты и системы: ASCII, Arcview, Caribes, Datamine, Excel, Geocap, Geo-referenced data, Geoshare, Heresim 3D, Irap, PDS, SEG-Y, Vulcan, Whittle, Zmap-Plus.
- Система позволяет производить любое стандартное управление и пересчет данных, в том числе – преобразование 2-х мерных массивов в 3-х мерные и наоборот.
- Нарушения массива, введенные в систему, становятся географическими границами непрерывности и берутся в учет при интерполяции и статистическом анализе. Они вводятся в базу как атрибуты уже существующих данных.
- Система оперирует с 2-х и 3-х мерными полигонами, которые могут использоваться для быстрой выборки данных и статистических расчетов по этим данным.

Манипуляции с переменными:

- Система позволяет производить любые выборки данных по числовым, текстовым или географическим критериям. Они в будущем могут объединяться с помощью логических операторов.
- Для поиска слишком сближенных точек данных используется особый инструмент, который позволяет в будущем избежать проблем инверсии.
- Система имеет средства для декластеризации данных путем придания особых весов кластеризованным пробам при расчетах статистических распределений.

- Копирование или перенос переменных из одного файла в другой независимо от типа файла.
- Полный набор арифметических преобразований переменных.
- Предусмотрены процедуры фильтрации данных с помощью стандартных приемов (сглаживание информации вдоль линий и сеток и т.д.) и более сложных операций, основанных на теории конечных разностей или морфологической математике.

Особые функции для обработки геологической информации:

- Операция композирования проводится для того, чтобы привести все пробы к одинаковой длине и получить их корректную статистическую оценку.
- Может быть произведена аккумуляция содержаний вдоль линии и присваивание линии полученного значения.
- Специальный модуль рассчитывает служебные переменные (вероятная руда и вероятный металл) для точек данных с учетом заданного основания и бортового содержания. Эти переменные могут быть обработаны впоследствии (например, с помощью кригинга), чтобы оценить извлекаемые запасы месторождения.
- Приложение «Содержание – Запас» позволяет вывести на экран числовое или графическое представление результатов оценки месторождения, полученных с помощью стандартного и дизъюнктивного кригинга, а также – других методов интерполяции.

Инструменты классической статистики:

- **Общая статистика:**

Число проб, среднее, минимум, максимум, квантили, дисперсия, стандартное отклонение, данные о форме распределения, корреляционная матрица и т.д.

- **Гистограммы :**

Различные виды гистограмм и подбор законов распределения.

- **«Квантиль-квантиль» диаграммы:**

Это хороший инструмент визуализации для сравнения 2-х экспериментальных квантильных распределений с теоретическими (Равномерное, Нормальное, Степенное, Логнормальное, Гамма, Экспоненциальное и т.д.).

- **Диаграммы рассеяния:**

Это двухмерное представление данных используется для анализа корреляционной связи между 2-мя переменными или для идентификации любой аномалии в массиве данных. Можно одновременно рассчитать и показать на графике кривую регрессии. Когда анализируется более 2-х переменных, то на экране выводятся все возможные парные диаграммы. Если на одном графике изображается третья переменная, то она выделяется особым цветом.

- **Анализ главных компонент:**

Этот широко распространенный статистический метод многомерного анализа также используется в Исатисе для быстрого нахождения отношений между несколькими переменными. С этой целью применяются несколько видов графических представлений переменных и связей между ними.

Геостатистический анализ:

- **Картирование информации:**

Рассматриваемые пробы могут быть представлены в виде символов, размер которых пропорционален величине рассматриваемой переменной. Когда данные размещаются на регулярной сети, карта показывается в растровом режиме. Возможны и другие способы изображения: текстовое представление информации, контурные, символьные или градиентные карты.

- **H-Scatter диаграммы:**

Такое представление 2-х переменных в плоскости X-Y используется для анализа пространственной непрерывности данных и показа всех пар проб, которые выбираются на данном расстоянии в данном направлении.

- **Вариограммы:**

Это фундаментальный инструмент геостатистики, определяющий корреляцию между пробами и переменными, как функцию расстояния между ними. В ИСАТИС вариограммы могут быть рассчитаны вдоль любого направления в пространстве. Вы можете также посмотреть на экране вариограммное облако и использовать его для подбора модели вариограммы. Вариограмма может быть заменена большим числом других функций, используемых в статистике для анализа пространственной корреляции: коррелограммой, мадограммой, родограммой и т.д. (всего – 18 видов функций).

- **Карты вариограмм:**

Графическое представление экспериментальных вариограмм в виде карт позволяет легко идентифицировать и оценивать анизотропию и структуру исследуемых массивов. Каждая пара проб соответствует расстоянию и направлению связи, а также степени корреляционной связи между ними. Таким образом, можно получить карту распределения значения вариограммы в исследуемой плоскости, по которой проще делать выводы о структуре анизотропии массива (см. рисунок).

Возможности графики

Хотя система не является пакетом для создания изолиний, но в нее включено много графических возможностей для быстрой визуализации данных и полученных результатов. Естественно, что развитая интерактивная графика используется при анализе геологоразведочных данных и подборе вариограммных моделей.

Вывод графики в системе производится с использованием многих параметров по умолчанию. Если пользователь удовлетворен картинкой, то он может сразу же отпечатать ее. Если нет, то в системе имеется мощный графический редактор для изменения любого параметра или добавления разных изображений в составляемый отчет.

Инструменты для интерполяции данных и оценки запасов руды:

- Быстрые интерполяторы (только для оценки одной переменной):
 - Метод многоугольников.
 - Метод движущегося среднего, медианы или вертикального угла.
 - Метод обратных расстояний.
 - Подбор полинома методом наименьших квадратов.
 - Дискретные сплайны.
 - Кригинг линейной модели.
 - Кригинг модели сплайнов.
 - Учет нарушений в исследуемом массиве.
- Кригинг и ко-кригинг:
 - Совместно с оценкой рассчитывается ее дисперсия
 - Ко-кригинг использует линейную модель корегionalизации
 - Учет нарушений в исследуемом массиве.
 - Типы кригинга и ко-кригинга:
 - простой.
 - обычный.
 - IRF- k (Intrinsic Random Functions of order k) кригинг
 - Возможности кригинга и ко-кригинга:
 - Точечная и блочная оценка.

- Оценка 2-х и 3-х мерных полигонов (глобальная оценка).
 - Оценка тренда.
 - Производные первого и второго порядка.
 - Проверка результатов кригинга и ко-кригинга:
 - Выполняется для любых типов оценок в интерактивном графическом окне, показывающем данные и результаты.
 - При проверке на экран выводятся: кригинговые оценки и дисперсии, а также матрицы и веса кригинга.
 - Перекрестная проверка (cross validation).
 - Методы для экспертов:
 - Кригинг с дисперсией измеряемых ошибок.
 - Факториальный кригинговый анализ.
 - Деконволюция.
 - Кригинг остатков. Тренд отфильтровывается.
 - Внешний тренд.
 - Коллокационный ко-кригинг.
 - Кригинг неравенств.
 - Ко-кригинг переменных и их градиентных компонент.
 - Ко-кригинг для проблем инверсии. (для 2-х переменных, когда Y и Z связаны уравнением $DZ = DY/Du$).
- Дизъюнктивный кригинг
- Однородное обусловливание.
- Индикаторный кригинг (с коррекцией основания).
- Логнормальный кригинг.
- Bundled кригинг с учетом внешнего тренда.
- Bundled коллокационный ко-кригинг на основе гипотезы Маркова.
- Макро кригинг для кластеризованных данных.

Геостатистическое моделирование используется для прогнозирования вероятности реализации поставленной цели (с заданными ограничениями), используя нелинейное оценивание. Специальный процессор Исатиса может рассчитать разные типы таких прогнозов (объемный, в виде карты вероятностей, кривых риска и т.д.).

Каждый способ моделирования в Исатисе может быть описан с помощью нескольких критериев:

- Характеристикой результирующей переменной (функция: непрерывная или дискретная, а также множество величин 0 или 1)
- Моделью, которой она соответствует (фрактальной, мозаичной, булевой, различными типами Гауссовых моделей и т.п.)
- Используемым алгоритмом расчета (Turning Bands, Sequential Indicator и несколькими другими)
- Типом преобладающих входных данных

В системе имеется **набор инструментов** для условного и не условного геостатистического моделирования, который включает в себя:

- Не условное моделирование случайных функций (условных переменных) и случайных множеств (категоризованных переменных), основанное на использовании большого количества методов и моделей, известных в теории статистики.
- Условное моделирование на основе метода Turning Bands:
 - Одномерное и многомерное.
 - Возможно использование стационарных, внутренних и нестационарных моделей.
 - С использованием неподвижной или движущейся окрестности кригинга.
 - Имитация извлечения последовательности блоков

- Имитация, построенная на усеченной гауссовой модели для разнообразных условий и видов исходных данных с использованием самых разнообразных алгоритмов.

Конечно, это далеко неполный перечень возможностей системы ИСАТИС, пользователи которой – это прежде всего университеты и крупные компании, имеющие в своем штате исследовательские подразделения.
