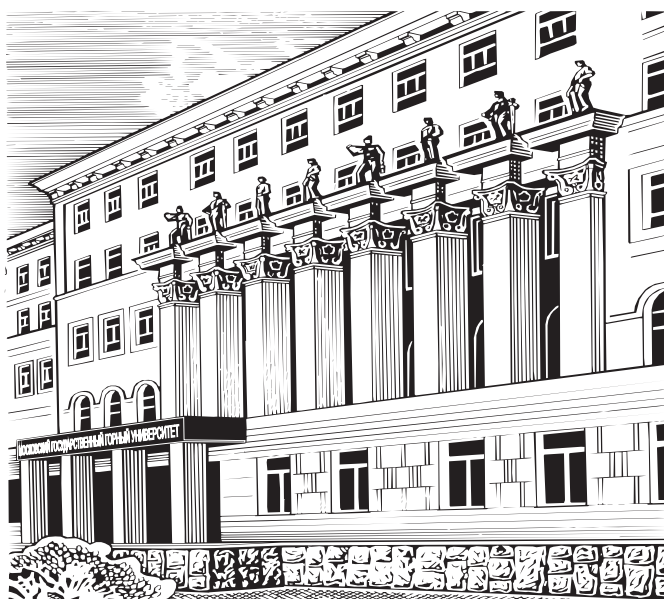


*90-летию
МГА-МГИ-МГГУ
посвящается*



РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Л.А. ПУЧКОВ

*президент МГГУ,
чл.-корр. РАН*

Зам. председателя

Л.Х. ГИТИС

*директор
Издательства МГГУ*

Члены редсовета

И.В. ДЕМЕНТЬЕВ

академик РАЕН

А.П. ДМИТРИЕВ

академик РАЕН

Б.А. КАРТОЗИЯ

академик РАЕН

А.В. КОРЧАК

академик МАН ВШ

М.В. КУРЛЕНЯ

академик РАН

В.И. ОСИПОВ

академик РАН

В.Л. ПЕТРОВ

академик МАН ВШ

Э.М. СОКОЛОВ

академик МАН ВШ

К.Н. ТРУБЕЦКОЙ

академик РАН

В.А. ЧАНТУРИЯ

академик РАН

Е.И. ШЕМЯКИН

академик РАН

В.Н. Сученко

АНАЛИЗ
ИСХОДНОЙ
ИНФОРМАЦИИ
И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
В ГЕОМЕТРИИ
НЕДР

*Допущено Учебно-методическим
объединением вузов Российской
Федерации по образованию в области
горного дела в качестве учебного
пособия для студентов вузов,
обучающихся по специальности
«Маркшейдерское дело» направления
подготовки «Горное дело»*

**Горное
образование**

МОСКВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

♦ ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»

2009



УДК 622.1:528.06

ББК 33.1

С 89

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых. СанПиН 1.2.1253—03», утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124—94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей № 77.99.60.953.Д.008501.07.07

Экспертиза проведена Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области горного дела (письмо № 51-14/6 от 29.02.2008)

Рецензенты:

- д-р техн. наук, проф. А.Б. Макаров (зав. кафедрой «Маркшейдерское дело» Российского государственного геологоразведочного университета);
- д-р техн. наук, проф. М.А. Иофис (Институт проблем комплексного освоения недр РАН)

Сученко В.Н.

С 89 Анализ исходной информации и прогнозирование в геометрии недр: Учебное пособие. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, издательство «Горная книга», 2009. — 270 с.

ISBN 978-5-7418-0559-6 (в пер.)

ISBN 978-5-98672-114-9

Приведены математико-статистические методы обработки геологоразведочных данных и условия их применения. Обоснован выбор способа расчета средних величин, сглаживания результатов опробования. Предложена классификация методов прогнозирования при геометризации месторождений. Даны практические рекомендации по прогнозированию показателей залежи полезного ископаемого.

В.Н. Сученко — д-р техн. наук, проф. кафедры маркшейдерского дела и геодезии МГГУ, кафедры геодезии РУДН.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Маркшейдерское дело» направления подготовки «Горное дело», может быть полезно для аспирантов и научных работников технологических специальностей.

УДК 622.1:528.06

ББК 33.1

ISBN 978-5-7418-0559-6

ISBN 978-5-98672-114-9

© В.Н. Сученко, 2009

© Издательство МГГУ, 2009

© Издательство «Горная книга», 2009

© Дизайн книги. Издательство
МГГУ, 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

В данной работе на основании анализа, теоретических обобщений и выполненных экспериментальных исследований представлены пути решения вопросов, заключающихся в разработке и совершенствовании методов обработки, моделирования и прогнозирования геологической информации при геометризации месторождений полезных ископаемых.

Методическую основу исследований проблем оценки основных характеристик и закономерностей размещения показателей залежи полезного ископаемого составляет комплексный подход, который включает в себя анализ и обобщение достижений науки, техники и практики геометризации месторождений.

Изучение исходных данных с применением математико-статистических методов на детально изученных и представительных участках месторождения дает возможность сделать обобщения, которые могут быть использованы при геометризации всей залежи полезного ископаемого. Кроме того, оно позволит прогнозировать качественный и количествен-

ный состав участков месторождения, подлежащих отработке.

Первые работы по применению вероятностно-статистических методов в геологии появились в конце прошлого века и связаны с именами Ф.Ю. Левинсон-Лессинга и Г. Ниггли. Анализируя результаты статистической обработки химических анализов руд, ими были установлены границы главных семейств горных пород.

С начала XX в. в работах В.В. Барышева, Д.А. Зенкова, С.Ю. Доборжинского, В.И. Краснова, К.Л. Пожарицкого, Н. Псарева, В.Г. Соловьева статистические методы использовались при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. В дальнейшем изучение закономерностей распределения содержания полезных компонентов в горных породах с применением математико-статистических методов проводились Н.К. Разумовским, Д.А. Родионовым. Ими впервые было указано на логарифмически нормальный закон распределения содержаний компонентов и высказано предположение о широком распространении логнормального закона распределения в геологии. Вместе с тем распределение содержаний полезных компонентов в рудном теле может в зависимости от формы их нахождения соответствовать и другим видам функций распределения.

В 40-50-х гг. XX в. появились работы А.Б. Вистелиуса, М.Ф. Мирчинка, В.П. Бухарцева по выявлению различных структурных соотношений корреляционными методами. Сюда же относятся работы Б.М. Роненсона, М.О. Раца.

Применение статистических методов при поиске, разведке и изучении месторождений нашли свое отражение в работах А.М. Марголина, А.Б. Каждана, П.Л. Каллистова, З.Д. Низгурецкого, В.И. Кузьмина, Д. Криге, П.И. Рыжова, В.А. Букринского,

В.М. Гудкова, В.В. Ершова, В.М. Калинин, Е.П. Тимофеев, Ж. Матерона, Э. Карлье и др. Однако применение тех или иных методов теории вероятности и математической статистики все еще носит дискуссионный характер. Как правило, все эти методы основаны на различных показателях изменчивости, анизотропии, прерывистости, устойчивости и т.д. По справедливому замечанию ряда авторов, в статистических формулах различные горно-геологические параметры выступают в отрыве от их пространственного положения.

Использование в различных направлениях науки и техники математических методов моделирования, системного анализа и других прогрессивных методологических и методических аппаратов научных исследований обусловило поднятие целого ряда отраслей на новый, более высокий уровень. В этой связи в последнее время в различных сферах активизируются исследования методов прогнозирования процессов или явлений.

Рациональное сочетание теории и практики, выражающееся в одинаково пристальном внимании ко всем началам познания формирования горно-геометрических параметров — фактическому материалу, эмпирическим обобщениям и теоретическим законам, — всегда было свойственно отечественной школе прогнозирования размещения компонентов месторождений.

Работа является попыткой дальнейшей разработки теоретических положений и методов исследований при анализе исходной и составлении прогнозной горно-геометрической информации, повышающей эффективность планирования горных работ.

Горно-геометрическое изучение недр всегда основывалось на учете пространственного размещения геологических показателей. Такой подход особенно важен при определении основных характеристик за-

лежи полезных ископаемых, которые при комплексном использовании современных методов моделирования и прогнозирования позволяют разработать научно обоснованную горно-графическую документацию размещения геологических показателей на участках, подлежащих отработке. Методы оценки и прогнозирования геологических показателей при составлении математической модели месторождений обязательно должны учитывать природное пространственное положение геологических показателей, входящих в его состав. Выбору методов должен предшествовать детальный геостатистический анализ, который обязан включать в себя определение представительности исходных данных, их взаимосвязь, оценку параметров распределения.

Цель данной книги — ознакомить студентов и научных работников с принципами и методами математической обработки результатов наблюдений при разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

АНАЛИЗ
И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ
ДАННЫХ

Глава
1

1.1. ОБЗОР МЕТОДОВ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ

Последние десятилетия характеризуются резким увеличением добычи полезных ископаемых во всем мире. При существующих темпах использования минеральных ресурсов основная доля разведанных запасов полезных ископаемых будет извлечена из недр в ближайшие десятилетия. Минерально-сырьевая проблема отчасти может решаться благодаря научно-техническим достижениям, внедрение которых позволяет сократить объем потребления сырья или заменить одни его виды другими, менее дефицитными. Однако основными способами удовлетворения потребности в сырье остаются освоение и разработка существующих и поиск новых месторождений. Поэтому важнейшей задачей и у нас в стране, и за рубежом становится разработка методов, позволяющих получить наиболее достоверные сведения о месторождениях с целью принятия максимально эффективных решений для их разработки.

Форма месторождения, его размеры и условия залегания полезного ископаемого значительно влияют на выбор методов разработки и технико-экономические показатели работы горных предприятий. В свою очередь правильность принятия решений по этим вопросам предполагает наличие достоверных сведений о месторождении, его строении, характере размеще-

ния полезных компонентов в залежи. Ряд задач этих проблем решается специалистами маркшейдерского и геологического обеспечения горного предприятия, важнейшим инструментом изучения недр для которых является геометризация месторождений.

Конечная цель геометризации месторождения — выявление закономерностей пространственного размещения форм, свойств и процессов в земной коре. Полезные ископаемые в недрах имеют разнообразные, часто очень сложные, но вполне определенные пространственные формы, залегают в самых разных условиях и характеризуются различными, но также определенными для данного периода времени свойствами веществ в этих формах.

Основы современной геометрии недр были заложены выдающимся ученым П.К. Соболевским и далее развиты его учениками и последователями. В своих работах П.К. Соболевский подвел математическую базу под геологические интерпретации, являющиеся, в конечном итоге, основой для правильного проектирования, освоения месторождения, оптимального развития горных работ, целесообразного использования соответствующей горной техники и технологии, рационального использования минерального сырья.

Геометрия недр делится П.К. Соболевским на две части — теоретическую и практическую.

В *теоретической части* месторождение полезного ископаемого рассматривается как геохимическое поле — пространство недр, в пределах которого может быть установлено распределение объемной плотности или объемной насыщенности этого пространства определенным свойством, которое может быть измерено в отдельных точках пространства и выражено числом [11, 14, 16, 41, 45]. Геохимическое поле изменяется во времени и пространстве и удовлетворяет четырем условиям: конечности, однозначности, непрерывности и плавности.

Из этого вытекают важные следствия: любое измеренное свойство, характеризующее недра, есть детерминированная функция координат пространства и времени [45]: $Z = f(x, y, z, t)$, и в любом плоском сечении его можно представить изолиниями,

аналогично топографическим поверхностям. Именно такой подход позволил создать математическую модель, отражающую определенные представления о строении моделируемых геохимических полей и, следовательно, наделенную определенным геологическим смыслом [56]. Модель геохимического поля получила заслуженное признание и широкое распространение. В прикладной части горная геометрия дает возможность решать целый ряд практических задач, связанных с рациональным ведением геологоразведочных и добычных работ, комплексным использованием недр.

Условие конечности и однозначности заключается в том, что при данных аргументах функция имеет только одно конечное значение. Условие непрерывности вступает в кажущееся противоречие с представлением о слоисто-струйчатой структуре геологического поля. Тем не менее, концепция квазистационарного поля дает возможность, абстрагируясь, определять вероятную закономерность размещения значений показателя (или средних его значений) на различных уровнях структурных элементов Земли: минеральном, формационном, геоструктурном, глобальном.

Квазистационарные поля — это поля, характеристики которых устойчивы, т.е. существенные изменения показателей происходят на расстояниях, значительно превышающих линейные размеры этих полей. Квазистационарное приближение соответствует предложению о медленности процессов. В этом случае условие непрерывности и плавности определяется тем, что при бесконечно малом изменении аргументов функция также изменяется незначительно, притом плавно, без скачков, т.е. функция дифференцируется.

Предполагается, что геологическое поле большего уровня обобщения состоит из квазистационарных полей меньшего уровня обобщения. Тогда в каждой меньшей структурной геологической единице существует стационарный случайный процесс, но с различными статистическими характеристиками.

Развитие теоретических предпосылок геометрии недр неразрывно связано с развитием теорий вероятностей и математической статистики, случайных функций, информации и дру-

гих дисциплин, которые являются их неотъемлемой составной частью.

В *практической части* геометризация месторождения полезного ископаемого представляет собой методику изучения и изображения геологических форм, условий их залегания, свойств вещества, заполняющего эти формы, и процессов, происходящих в недрах [9].

Процесс геометризации состоит из нескольких этапов.

1. Сбор и первичная обработка исходной геолого-маркшейдерской и технолого-экономической информации.

2. Создание графоаналитической модели месторождения с целью:

а) установления зависимостей между различными показателями, характеризующими месторождение;

б) составления графической документации, иллюстрирующей закономерности и зависимости;

в) выявления пространственного размещения показателей месторождения.

3. Разработка практических рекомендаций на основе результатов геометризации.

К основным методам изучения и графического отображения различных показателей месторождения относятся: метод изолиний; метод геологических разрезов (сечений) и профилей; метод объемных наглядных графиков; метод моделирования.

Метод изолиний заключается в графическом изображении пространственного размещения морфологических, качественных и других характеристик месторождения, выраженных числовыми значениями. Изолиниями при этом изображаются не только реальные поверхности, но и воображаемые, в природе не существующие. Достоверность, с которой изображается размещение показателя на планах в изолиниях, зависит от изменчивости этого показателя и условий получения его значений (густоты разведочных точек, размера проб и т.д.). В ряде случаев этот метод позволяет установить связь структуры с оруденением, наглядно представить себе пространственную модель месторождения, объективно оценить данные разведки, рекомендовать методы и приемы дальнейших работ по наиболее полному изучению и обработке месторождения.

Метод геологических разрезов позволяет с достаточной степенью точности выявить форму тела полезного ископаемого и определить его положение во вмещающих породах в любом сечении. Выбор сечений определяется формой и условиями залегания рудного тела. Однако с помощью разрезов иногда невозможно установить характер изменения содержания полезных компонентов, поэтому при геометризации месторождений метод геологических разрезов дополняют методом изолиний.

Метод объемных графиков применяется для наглядного и объемного представления геологических структур. Графики имеют вид блок-диаграмм, которые являются аксонометрической (аффинной, векторной) проекцией блоков участка или всего месторождения.

Метод объемного моделирования заключается в создании модели месторождения в трехмерном пространстве. При моделировании могут быть использованы результаты геометризации, проведенной с помощью методов изолиний, геологических разрезов и объемных графиков. Применение метода дает возможность установить форму залежи полезного ископаемого, размещение вмещающих пород, тектонических нарушений, полезных компонентов и разведанность месторождения.

Полное представление о месторождении, о пространственном размещении его форм, свойств, полезных и вредных компонентов можно получить лишь при совместном применении всех рассмотренных методов геометризации.

Горно-геометрическая документация, отражающая различные свойства и качества горно-геологических объектов, широко используется для решения производственных задач на всех уровнях. Графическая документация позволяет интегрировать огромные информационные массивы данных, осознать которые в числовом виде в достаточной степени во многих случаях невозможно. Однако высокая трудоемкость подготовки графической документации не позволяла до внедрения компьютерных технологий оперативно изменять и дополнять графические модели, т.е. осуществлять постоянный мониторинг ситуации. Объем графической документации при ведении и проектировании горных работ в общем объеме проек-

но-эксплуатационных работ составляет 48 %, однако степень их автоматизации не превышает 9 %. Объемное моделирование применялось в редких случаях лишь при создании физических моделей. Хотя по сравнению с традиционно используемыми плоскими планами и чертежами изометрические изображения горно-технических объектов в целом более наглядны.

При проектировании в горном деле используется следующая графическая информация, отражающая различные свойства месторождений полезных ископаемых и горно-технические условия:

- топографический план месторождения;
- геологические разрезы по разведочным линиям;
- погоризонтные планы;
- изолинии мощности, содержания полезных ископаемых;
- проекции, разрезы горных выработок;
- технологические планы размещения сооружений, размещения оборудования, взрывных работ, транспортных коммуникаций;
- экологические планы зон загрязненности.

Несмотря на успешное решение многих расчетных задач, широкое внедрение компьютерных технологий для создания графической информации в горном деле сдерживается рядом объективных факторов:

- горно-геологические объекты имеют сложные нелинейные очертания; при этом информация о форме объекта может быть не полной, что вызывает необходимость аппроксимации при обработке;
- производственные объекты горных разработок являются динамичными структурами и могут менять свое местоположение и форму в процессе развития горных работ;
- как правило, горно-геологические данные содержат информацию о пространственном положении и форме объекта, но восприятие объемных характеристик затруднено за счет плоскостного характера носителей информации и рабочей документации (карты, планы, чертежи).

Постоянно увеличивающиеся объемы информации требуют интегральных средств восприятия, одно из которых —

трехмерная компьютерная графика. В горных геоинформационных системах ее использование возможно на точечно-координатной основе на базе геоинформационного метода математического моделирования. Применение трехмерной компьютерной графики в горном деле целесообразно для решения следующих задач:

- моделирования рельефа и размещения на нем сооружений, отвалов, технологического оборудования (замена макетирования);
- объемного представления рудных тел сложной структуры;
- объемного представления технологических элементов сложной пространственной формы и перехода от объема к планам;
- автоматизированного получения таких графических материалов, как планы, карты, поперечные сечения, и дальнейшего решения на полученной информационной базе различных практических задач проектирования и планирования горных работ.

Объемные изображения значительно более информативны и легки для восприятия человеком. Следовательно, улучшение качества восприятия реальных объектов проектировщиком позволяет поднять качество проектирования в целом, а адекватность представления графических изображений имеет решающее значение для качества проектирования и планирования развития горных работ.

В отечественном горном деле все увереннее используется трехмерная компьютерная графика, что позволяет значительно улучшить восприятие сложных пространственных объектов, характерных для разрабатываемых месторождений полезных ископаемых. Практически все достижения современной геометрии недр нашли свое применение при создании в нашей стране и за рубежом цифровых моделей месторождений и оценке перспектив их дальнейшей разведки и разработки.

Опыт использования методов, применяемых в геометрии недр, показал их высокую эффективность как при оценке месторождений, так и при планировании горных работ. Однако отдельные методы еще не имеют однозначного решения и требуют дальнейшего изучения.

1.2. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Происхождение месторождения обусловлено действием множества разнородных по своей природе, очередности и длительности процессов, имеющих, тем не менее, сходные черты — все они вызывают перемещение вещества из одних областей пространства в другие. Следовательно, каждый процесс должен характеризоваться определенным набором физических, химических и геометрических параметров. Кроме того, все процессы формирования минеральных масс протекают во времени и месторождения даже с позиций сегодняшнего дня не кажутся первозданными и неизменными. Из всего этого вытекает особая сложность эволюции и строения геологических систем, в том числе и месторождений, и как следствие — особая трудность их анализа. Однако и этим не исчерпываются все особенности месторождений. Не всякое скопление полезного ископаемого представляет собой месторождение, а только то, которое содержит сырье, в котором есть потребность и которое можно рентабельно добывать и перерабатывать при современном уровне техники и технологии. Поэтому комплекс натуральных факторов, определяющих облик месторождения, должен дополняться комплексом технико-экономических факторов. Другими словами — в понятии месторождения объединяются геологические и экономические взгляды на сущность этого природного явления.

Месторождение полезного ископаемого рассматривается как сложная геологическая система, при геометризации которого всегда приходится абстрагироваться от ряда ее свойств и состояний. Такой подход позволяет выделять и анализировать наиболее важные для практических целей свойства и состояния системы, в которые она приходит под воздействием тех или иных факторов. Конечным результатом абстрагирования реаль-

ной геологической системы становится ее упрощенная модель (логическая, физическая, математическая и др.), которая позволяет с помощью каких-либо процедур, обычно специфических для каждого вида моделей, получить новую информацию о поведении рассматриваемой системы.

Сложная материальная система при моделировании рассматривается как единство двух объективных задач: во-первых, вещества, во-вторых, внутреннего строения. Исходя из этого единства под системой принято подразумевать некоторую совокупность элементов, объединенных связями в единую структуру таким образом, что она способна функционировать в определенном качестве, приобретая определенные состояния под влиянием внешних воздействий. Если рассматривать как геологическую систему какое-нибудь месторождение, то элементами его структуры можно считать типы руд или пород, связями между элементами — все процессы рудо- или пороодообразования, а состоянием системы — совокупность количественных параметров, характеризующих ресурсы месторождения, его размеры, условия залегания и т.д. [12, 17, 22].

Типичные черты сложных систем — большая размерность, многообразие форм связи элементов, многокритериальность. Причем критерии, которым должна удовлетворять сложная система, часто противоречат друг другу (критерии — средство для суждения, признак, на основании которого проводится оценка или классификация объекта). Практически достаточно сложно полностью описать математическими методами сложную систему, и это — главная трудность в их моделировании.

Геологические системы отличаются от технических или экономических рядом особенностей. Среди них можно отметить следующие.

1. Очень большое число элементов, выполняющих разнообразные, в том числе противоположные функции. Например, в месторождениях насчитываются десятки и сотни разновидностей пород, отличающихся характером залегания, составом, структурами, устойчивостью к процессам изменения и т.д.

2. Наличие элементов, которые имеют собственную организацию (структуру) и представляют собой системы другого уровня. Например, порода, с одной стороны, играет роль элемента по отношению к системе — месторождению, а с другой стороны — выступает как система, содержащая элементы, — минералы. При решении задач необходимо выделять элементы строго одного уровня организации.

3. Различная степень связности элементов системы — от полной взаимной корреляции до абсолютной независимости.

4. Невозможность управляющего воздействия со стороны исследователя, т.е. каждую из систем можно наблюдать только в единственном статичном состоянии, которое она приобрела в конце своей эволюции.

5. Возможность расчленения многих систем на подсистемы, заслуживающие самостоятельного анализа, причем переходы между подсистемами могут быть непрерывными или дискретными. Так, месторождение может быть разграничено на отдельные рудные тела, которые можно рассматривать как отдельные системы другого уровня. Переходы от руды к вмещающим породам, которые тоже представляют собой систему, могут быть как постепенными — в результате снижения содержаний рудного компонента, так и резкими — при наличии литологического, тектонического или другого контактов между рудой и пустой породой.

6. Изменение состояния сходных геологических систем в зависимости от действия одного и того же процесса, проявленного в каждой из них с разной степенью интенсивности, поэтому при переходе от системы к системе свойства их изменяются постепенно. В этом случае для анализа систем пригоден динамический подход, наиболее широко используемый в настоящее время для прогнозирования, когда месторождения какого-либо формационного или генетического типа упорядочиваются в виде ряда, построенного по возрастанию или убыванию значения параметров.

С точки зрения методов геометризации геологические системы допускают три подхода. Системы рассматриваются как совокупности:

- материальных элементов;
- абстрактных элементов;
- источников и каналов информации.

В первом случае процессы исследуются с применением физических и химических законов, операции осуществляются с переменными, характеризующими вещественное, пространственное, временное и энергетическое состояние системы и ее элементов, а решение отыскивается в виде детерминированных зависимостей. Во втором — процессы и состояния характеризуются с использованием формальных математических процедур, устанавливающих соответствие между реальной системой и ее моделью, операции осуществляются с символами и знаками, которые приписываются элементам и связям, решением являются детерминированные зависимости. В третьем варианте процессы и состояния исследуются с точки зрения создания, передачи и уничтожения информации, операции производятся с универсальными параметрами систем — вероятностью, энтропией и информацией, а решение имеет вероятностный смысл.

Исходя из содержания и особенностей геологических систем можно заключить, что процедура моделирования должна обязательно включать в себя такие подготовительные операции, как определение границ системы, выявление ее элементов и взаимосвязей между ними, установление характера и силы их воздействия на параметры состояния системы.

При системном подходе к объектам горно-геометрического моделирования основной путь оценки состояний заключается в выявлении взаимосвязей и взаимозависимостей как между отдельными элементами и состоянием системы, так и между отдельными системами (или подсистемами), объединяемыми в систему более высокого ранга. Так, в качестве элементов системы можно рассматривать отдельные рудные тела сходного строения и состава, считая, что они входят в состав системы, под которой подразумевается какой-нибудь генетический тип месторождений (магматический, эффузивный, осадочный, гидротермальный, метасоматический, метаморфический или более сложный, сочетающий два или более из перечисленных типов).

Современное производство во всех отраслях промышленности характеризуется широким внедрением компьютерных систем. Применительно к горным предприятиям использование компьютерных технологий сводится к решению большого комплекса взаимосвязанных задач: геолого-маркшейдерских, горно-технических, транспортных и экономических и т.д.

Компьютерные технологии обеспечили широкие возможности для разработки и настройки в процессе эксплуатации автоматизированных систем управления (АСУ) горного производства. К их числу относятся следующие программные комплексы: MINESCAPE/MINESTAR, DATAMINE, GDM, GEMCOM, GEOSTAT, MEDSYSTEM, MICROMINE, MicroMODEL, VULCAN, SURPAC, GEOLMARK, ТИГР, Credo, и др. [1, 66, 67, 70 и др.].

Основу таких систем составляет цифровая модель разрабатываемого месторождения, построенная по принципам объектно-ориентированного моделирования. Информация о параметрах объектов системы в них инкапсулирована в соответствующие модули; данные о вариантах расчетов, возможных состояниях элементов системы, нормативно-справочная информация оформляется в виде информационных DLL-модулей.

При разработке алгоритмического обеспечения используются комбинации различных методов моделирования. Наиболее универсален метод имитационного моделирования, который получил самое широкое распространение. Подобными системами оснащены многие крупные рудники и карьеры. Однако используемые модели настроены на конкретное предприятие и не приспособлены для переноса на другие.

Большинство АСУ горных предприятий имеют модели проблемно-ориентированного типа. При смене (смещении) целей управления или видоизменении элементов (объектов) системы (совокупности систем) необходимо построение нового варианта соответствующей модели. Для систем с большим числом элементов и разнородных внутренних связей этот процесс связан со значительными затратами ресурсов.

В последнее время появились перенастраиваемые модульные АСУ. Например, система моделирования разработки место-

рождений [5] строится из информационных моделей и моделей технологических процессов. В первую часть входят модели месторождения, развития горных работ во времени (и пространстве), состояния оборудования. Модели месторождения и развития горных работ обычно взаимосвязаны, так как вторая строится на основе первой. Строятся они как непосредственно в рамках АС ОДУ (в упрощенном виде), так и в специализированных модулях интегрированной системы проектирования, планирования и управления производством. К модулям технологических процессов (для предприятий с открытым способом разработки месторождений) относятся модели выемки, транспортирования горных пород, отвалообразования, усреднения качества полезных ископаемых и др. На предприятиях, ведущих подземную разработку, используют модели проведения горных выработок, ведения буровых и взрывных работ, выемки угля, соли и т.п. в добычных забоях, погрузки и транспортирования горной массы (с усреднением качества полезных ископаемых), подъема и отгрузки на обогатительную фабрику, вентиляции, водоотлива, энергоснабжения, ремонта оборудования и др.

Однако состав модулей технологических процессов пока существенно ограничен, особенно для предприятий подземной разработки месторождений. Еще одним существенным ограничением служит непереносимость моделей, построенных для одного конкретного предприятия, на другое, отличающееся по геологическим и горно-техническим параметрам.

При структурном моделировании должны быть учтены технологические и организационные взаимосвязи рассматриваемых процессов и моделей. В современных условиях к АСУ горным производством предъявляются требования создания и поддержания открытой архитектуры систем. Это связано с принципами составления и реализации моделей системы. Необходимо предусматривать централизованный или комбинированный способ хранения информации, ее распределенную обработку, стандартный дружественный интерфейс пользователя, возможность интеграции с другими системами в части обмена и обработки информации, соблюдение иерархического принципа построения и взаимодействия моделей.

1.3. СРЕДНИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Статистика в широком смысле слова — это обобщение и наглядное представление эмпирических данных большого объема с последующими выводами из этих данных. При проведении любых геологических исследований статистика позволяет распространять выводы, полученные по ограниченному числу наблюдений изучаемого показателя, на весь объект. Исследуемый при этом геологический показатель — количественно выраженное определенное свойство, качество совокупности в целом или ее частей.

Геостатистика — термин, введенный Ж. Матероном и означающий оценку свойств и характеристик геологоразведочных данных с использованием дополняющих и выходящих за рамки математической статистики методов.

Изучение исходных данных с применением математико-статистических методов позволяет заметить определенные закономерности в ряде случайных величин. Это дает возможность делать общие выводы в целом по месторождению (в дальнейшем они могут быть использованы при геометризации залежи полезного ископаемого), а также позволяет делать прогнозы по простиранию, падению и на глубину залежи. При этом, чем больше будет данных, тем достовернее будут выводы о наличии или отсутствии закономерных связей, тем объективнее будут заключения о характере распределения свойств полезного ископаемого.

Как известно, все явления, происходящие в земной коре, взаимно связаны и влияют одно на другое. Каждое наблюдаемое значение признака связано причинной зависимостью с бесчисленным множеством других явлений, и течение его зависит от бесчисленного множества факторов. Проследить все это бесконечное множество связей и определить действие каждой из них невозможно. Поэтому ограничиваются изучением влияния лишь основных факторов, определяющих течение явления.

Месторождение полезного ископаемого может быть охарактеризовано многими показателями, каждый из которых отражает определенное его свойство. Все множество показателей, ха-

рактизирующих определенные свойства совокупностей, существенные с точки зрения целей его изучения, должно составлять систему взаимосвязанных элементов. Взаимосвязь показателей геологической системы должна отражать объективно существующие, присутствующие данной совокупности взаимосвязи.

По структуре геологические показатели, входящие в систему, можно разделить на три группы: абсолютные величины, относительные величины и средние величины.

Абсолютные величины — это именованные числа, каждое из которых имеет свою единицу измерения: тонны, метры, рубли, штуки и т.д. абсолютные величины выражают общий размер совокупности и ее частей. При этом речь может идти об измерении с разных сторон. Соответственно оно выражается рядом различных абсолютных величин.

Относительные величины являются результатом сопоставления тех или иных показателей друг с другом. Анализ деятельности горного предприятия с помощью относительных величин имеет огромное значение, поскольку с их помощью изучается структура совокупностей, сравниваются характеристики отдельных единиц, групп и совокупностей в целом, исследуются закономерности развития, выполнения плана.

Каждая относительная величина представляет собой дробь, числителем которой является сравниваемая величина, а знаменателем — величина с которой производится сравнение. Знаменатель относительной величины называют базой сравнения. В зависимости от значения изучаемого показателя, по сравнению с базой, относительная величина может выражаться в процентах, промиллях, продецемиллях. Используемые в геостатистике относительные величины можно разделить на две группы:

1) величины, выражающие отношение между одноименными показателями;

2) величины, выражающие отношение между разноименными показателями.

Средняя величина является обобщенной характеристикой множества индивидуальных значений некоторого количественного признака. Средние величины различных параметров месторождений полезных ископаемых участвуют практически во всех

расчетах характеризующих состояние недр, в решении вопросов связанных с перспективностью разработки месторождений, принятием технологических решений по добыче полезного ископаемого. Так, например, в отчетных документах по добыче руды при разработке Джеккаганского месторождения только для одной панели по итогам работы за месяц указывается порядка 300 показателей, основанных на расчете средних величин. Определение средних величин геологических показателей — содержания, мощности, запасов руды, металла и т.п. — наиболее важная проблема методики разведки и эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

Сложность проблемы связана с необходимостью применения различных видов средних величин, с определением их содержания и смысла, с уяснением их математических предпосылок и правильным определением значений последних для теории средних величин. Обязательными при этом являются: конкретизация условий их правильного применения; оценка типичности и достоверности средних; решение некоторых других вопросов теории и практики применения их в анализе. Кроме того, в решении основных проблем теории средних величин существуют разногласия по некоторым принципиальным вопросам, например, по вопросу о сущности средней, о связи средней с законом больших чисел, о требованиях к однородности совокупности, по которой определяется средняя величина, и др.

Многообразие применяемых методов при обработке исходной информации и примерно однотипный подход к определению средних величин требуют разработки методологических предпосылок применения того или иного математического аппарата, соответствующего природе изучаемого объекта.

Статистика как наука зародилась еще в середине XVII в. в трудах Дж. Граунта и В. Петти. Средними величинами давно пользуются на практике и в различных научных исследованиях. Вместе с тем попытка создания стройной теории средних величин была впервые сделана в начале XIX в. А. Кетле. Он стремился с научных позиций определить природу средних величин и проявляющихся в них закономерностей. Опираясь на много-