

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

  
Руководитель программы  
аспирантуры  
Профессор В.Н.Гусев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ  
ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗПРОМЫСЛОВАЯ  
ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И  
ГЕОМЕТРИЯ НЕДР**

**Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**

<b>Область науки:</b>	2. Технические науки
<b>Группа научных специальностей:</b>	2.8. Недропользование и горные науки
<b>Научная специальность:</b>	2.8.3. Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр
<b>Отрасли науки:</b>	Маркшейдерское дело и геометрия недр
<b>Форма освоения программы аспирантуры:</b>	Очная
<b>Срок освоения программы аспирантуры:</b>	4 года
<b>Составитель:</b>	д. т. н., проф. В.Н.Гусев

Санкт-Петербург

№ п/п	Наименование темы	Содержание
1.	Геометрические измерения пространственно-временных характеристик горных объектов	Технические средства, технологии и методики производства геометрических измерений пространственно-временных характеристик состояния земной поверхности, недр, подземного пространства городов и графическое отображение информации в различных видах
2.	Геометризация месторождений полезных ископаемых	Геометризация месторождений полезных ископаемых, свойств и состояний массивов горных пород как основы квалиметрии недр, прогнозирование условий рационального освоения недр, определение потерь и разубоживания полезных ископаемых, типизация горно-геологических условий месторождений
3.	Геологическое изучение эксплуатируемых месторождений	Методы, средства, технологии и организация геологического изучения эксплуатируемых месторождений, повышение эффективности эксплуатационной разведки и геологопромышленной оценки месторождений в процессе их освоения.
4.	Обработка геологической, маркшейдерской и геофизической информации	Методы и системы обработки геологической, маркшейдерской и геофизической информации, а также методов моделирования месторождений, прогнозирование горно-геологических явлений и процессов, создание основ управления ими при горных разработках
5.	Сдвигение и деформации горных пород	Сдвигение и деформации породных массивов и земной поверхности, разработка методов и средств наблюдений, контроля и прогноза геомеханического состояния, моделирование геомеханических процессов

6.	Оценка степени воздействия сдвижений и деформаций на подрабатываемые объекты	Методы оценки деформаций подрабатываемых зданий, сооружений, природных объектов и воздействия на окружающую среду
7.	Устойчивость бортов карьеров, откосов уступов и отвалов, дамб гидроотвалов	Оценки и расчёт устойчивости бортов карьеров, откосов уступов и отвалов, дамб гидроотвалов, влияние подземных горных выработок на устойчивость уступов карьеров, ярусов
8.	Ведение горных работ под водными объектами	Гидрогеологическое и геомеханическое обоснование рациональных способов, схем и техники защиты горных выработок от опасного проникновения воды из подрабатываемых водных объектов, охрана и регулирование запасов подземных вод в районе действующих горных предприятий

### **УГЛУБЛЕНИЕ, СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ЗАКРЕПЛЕНИЕ ИЗУЧАЕМОГО В ХОДЕ ЛЕКЦИОННЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ МАТЕРИАЛА**

Основными задачами самостоятельной работы аспирантов в данном направлении являются:

- анализ, сравнение, обобщение и систематизация учебного материала;
- развитие навыков работы с большими объемами информации;
- создание условий для проявлений творческого подхода к учебным задачам, выдвиганию гипотез, постановке проблем и поиску путей их решения;
- формирование навыков работы в заданном темпе;
- обучение объективной оценке своих знаний и умений;
- помощь в осознании учащимися необходимости самостоятельных действий при решении проблем.

На самостоятельную работу вынесены основные разделы курса, освоение которых предусмотрено рабочей программой. В рамках каждого раздела предусмотрены следующие виды работ:

- изучение и анализ литературных источников,
- вопросы для самопроверки знаний.

### **ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ И ОФОРМЛЕНИЕ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Целью практических задач по дисциплине является совершенствование имеющихся и привитие новых навыков решения поставленных практических задач, получения результатов и их оформления в соответствии с требованиями предприятий.

При подготовке к лабораторным и/или практическим работам аспирант должен ознакомиться с методическими указаниями. Для выполнения работы аспиранту необходимо понимать:

- цель работы
- имеющиеся исходные данные, либо открытые ресурсы для их поиска
- порядок выполнения работы
- требуемые результаты работы
- требования к оформлению отчета
- требования к оформлению графической документации

Цель, исходные данные, порядок выполнения и результаты работы содержатся в методических указаниях и проговариваются преподавателем непосредственно на занятии. Требования к оформлению отчетов и графической документации являются общими для Университета и изложены в правилах оформления курсовых и квалификационных работ.

#### **РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ**

1. Геодезия и Геометрия недр [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.Н. Попов [и др.]. — Электрон. дан. — Москва : Горная книга, 2010. — 453 с. —
2. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/66452>.
3. Попов, В.Н. Геодезия и Геометрия недр [Электронный ресурс] : учеб. / В.Н. Попов, В.А. Букринский. — Электрон. дан. — Москва : Горная книга, 2007. — 453 с. —
4. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/3291>.
5. Ломоносов Г.Т. Горная квалиметрия. М: МГГУ. 2000.
6. Истратов И.В. Геометризация геологических тел. -М.: Недра, 1996.
7. Такранов Р.А., Павлов С.П. Горно-геометрический анализ трещиноватости угольных пластов и вмещающих пород: Учебное пособие / СПГГИ(ТУ) – СПб, 1996.
8. Правила оформления курсовых и квалификационных работ: Методические указания / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: И.О. Онушкина, П.Г. Талалай. СПб.: 2016. 58 с.
9. [http://old.spmi.ru/system/files/lib/uch/metodichki/rules1\\_0.pdf](http://old.spmi.ru/system/files/lib/uch/metodichki/rules1_0.pdf)

## ТЕМЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ И ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. *Какие категории запасов выделяются по разведанности (изученности)?*
2. *Запасы в разной мере пригодные к промышленному освоению считаются...*
3. *По промышленно-экономической значимости запасы разделяются на ...*
4. *Граница естественного выклинивания залежи называется...*
5. *Какие параметры необходимы для подсчета количества запасов?*
6. *Способы определения объемной массы полезного ископаемого.*
7. *Изомощности залежи строят по ...*
8. *План изоглубины залегания залежи строится с использованием ...*

1. *Что предопределяет выбор способа подсчета запасов?*
2. *Запасы мощных крутопадающих тел подсчитываются по...*
3. *Запасы пластовой залежи при складчатом залегании подсчитываются по...*
4. *Преимущества способа подсчета запасов по вертикальным геологическим разрезам.*
5. *Подсчет запасов способом ближайших районов целесообразно использовать...*
6. *Особенности определения запасов межконтурной полосы способом ближайших районов.*
7. *Для использования способа изолиний П.К.Соболевского необходимы...*
8. *Сущность подсчета запасов способом среднеарифметического.*
9. *При подсчете запасов менее точно определяются...*

1. *Основные способы маркшейдерского контроля объема добычи.*
2. *Виды маркшейдерских съемок склада добытого полезного ископаемого: навалов, штабелей, бункеров.*
3. *Основы управления запасами.*
4. *Изменение (движение) запасов вызваны...*
5. *Что считается потерями? Подразделение потерь.*
6. *Прямые способы определения потерь.*
7. *Косвенные способы определения потерь.*
8. *Разубоживание полезного ископаемого при добыче происходит*

## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ ДИСЦИПЛИНЫ, ВЫНОСИМЫЕ НА ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

### Определение геометрии недр и геометризации месторождений

Интенсивная разработка месторождений полезных ископаемых на основе комплексной механизации и автоматизации процессов добычи, планирование добычи с наименьшими затратами средств и потерями полезного ископаемого, с заданным качеством руды и содержанием компонентов, применение ЭВМ при планировании разведочных и горных работ, а также безопасность ведения горных работ и решение ряда других вопросов предъявляют определенные требования к выявлению пространственного размещения горно-геологических показателей месторождения и математическому их выражению.

В этой связи **геометризации недр**, геометрическому и математическому выражению размещения изучаемых показателей, которые затруднительно или невозможно выразить аналитически, уделяется все большее внимание как при разведке, так и: особенно при разработке месторождений полезных ископаемых. Решение сложных задач при разработке месторождений, связанное с определением взаимосвязи между горно-геологическими, техническими и экономическими факторами, изменяющимися, как правило, в больших пределах, стало возможным при широком использовании математических методов ЭВМ и геометрическом выражении и интерпретации рассматриваемых горно-геологических показателей.

Если на маркшейдерских планах и разрезах, не будут изображены форма разрабатываемой залежи, условия ее залегания и размещение запасов полезного ископаемого, его разновидностей и компонентов, то нельзя правильно запроектировать и осуществить строительство горного предприятия, правильно выбрать систему разработки месторождения. Без этого нельзя также установить взаимосвязь в размещении минерализации со структурой месторождения, что необходимо для правильного ведения на месторождении дальнейших разведочных и горных работ.

**Геометрия недр** - раздел науки о геометрическом моделировании формы залежи, свойств (качества) полезных ископаемых и процессов, происходящих в недрах, методах подсчёта и управления запасами, методах решения геометрических задач, связанных с проведением горных выработок.

**Геометризация месторождений** полезных ископаемых - совокупность наблюдений, измерений, вычислительных и графических работ, имеющих целью получить геометрическое выражение форм, свойств полезных ископаемых, условий их залегания и процессов, происходящих в недрах.

Геометрия недр изучает:

- формы и размеры залежей минерального сырья, их пространственное положение в недрах и условия залегания
- размещение в недрах запасов полезных ископаемых в целом по сортам (маркам), по степени их подготовленности к добыче и по степени их изученности
- размещение залежей, а также полезных и вредных компонентов
- способы определения и учета добычи, потерь, разубоживания при добыче, способы подсчета запасов и учета их движения при разработке месторождений
- процессы при изменении формы и свойств во времени, происходившие в недрах или происходящие в результате проведения горных выработок
- геометрические методы решения различных задач горного и геологоразведочного дела

**Геометризация месторождений** - геометрическое и математическое выражение размещения в пространстве изучаемых показателей.

**Теоретическая основа методики геометризации месторождений полезных ископаемых и геометрических методов и приемов решения задач горного дела:**

- теория геологического/геохимического поля,
- теория поверхностей топографического порядка и математических действиях над ними,
- вероятностно-статистические и другие математические методы,
- учение о проекциях.

Геометрия недр опирается на непосредственные геологические наблюдения, геодезическо-маркшейдерские съемки, измерения, которые проводят в обнажениях горных пород на земной поверхности, в различных горных выработках; на данные разведочных буровых скважин, геофизические наблюдения, лабораторные исследования. Многочисленная исходная информация при геометризации недр требует ее систематизации, предварительной обработки и оценки точности. Поэтому имеется органическая связь геометрии недр с общетеоретическими науками — физикой, химией, математикой. Геометрия недр без геологии немислима. Это две неразрывные стороны одного и того же объекта. Геометрическое моделирование месторождений необходимо для его всестороннего геологического изучения и рационального освоения. В связи с последним геометрия недр тесно связана с горнотехническими дисциплинами, такими как методика и техника разведки, вскрытие месторождений, системы разработки, комплексная механизация производства горных работ и др.

В недрах каждый показатель размещается в виде поля свойств тел полезных ископаемых и месторождений – область пространства, в каждой точке которого определена некоторая физическая величина.

**Геометризация месторождений** – выявление и геометрическое выражение функции пространственного размещения показателя

### **Задача геометризации месторождения**

Структура поля размещения каждого показателя, как и структура любого физического поля, слоисто-струйчатая (рис. 1). Слои с соответствующими значениями, как бы они не были смяты, не пересекаются. Однако слои полей различных показателей могут пронизывать друг друга. В любом плоском сечении, например P1, P2, P3, поле представляется поверхностью.

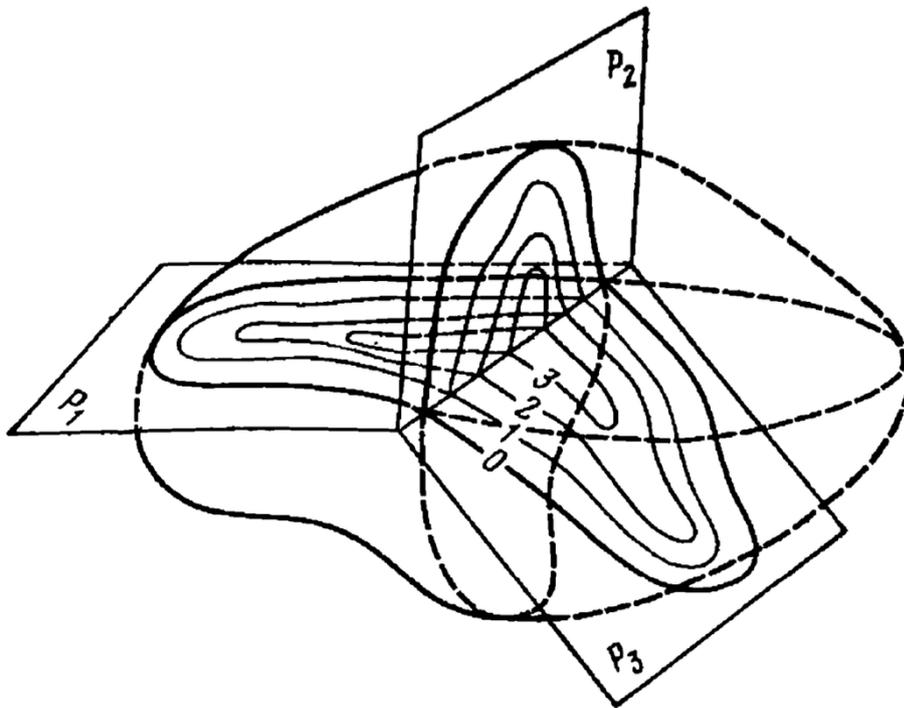


Рис.1. Общий вид слоисто-струйчатой структуры поля свойств

Поля могут быть общие, охватывающие все месторождение, и частные—в пределах одной залежи или ее части.

По образованию поля могут быть гомогенными (если характеризуемое свойство имеет только одну форму своего проявления или нахождения) и гетерогенными (если таких форм проявления или нахождения несколько). Например, геохимическое поле серы и рудных тел Алта́йских месторождений— гетерогенное, так как сера входит в состав пирита, халькопирита, сфалерита и галенита, соотношение которых по стадии минерализации существенно изменяется.

В зависимости от характера изучаемых показателей все геологические поля подразделяют на две группы: скалярные и векторные (рис. 2).

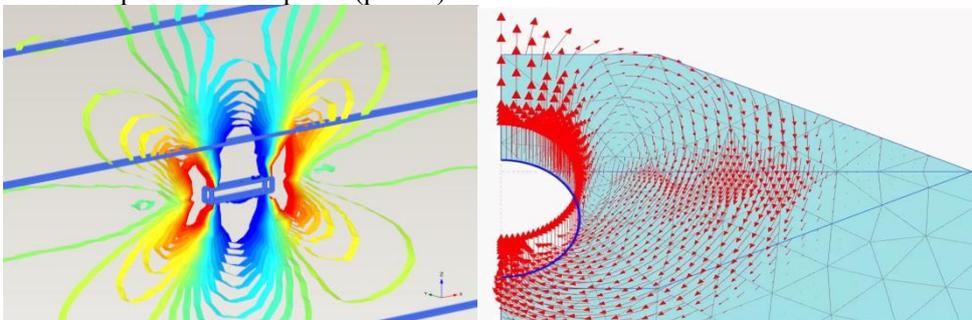


Рис.2. Примеры графического отображения скалярного (слева) и векторного (поля) при моделировании абсолютных прогнозных величин деформаций и направлений сдвижения в массиве в программе Plaxis 3d

К скалярным полям относятся размещения геохимических, морфометрических других показателей изучаемого объекта, характеризующихся скалярными величинами, для задания которых в каждой точке пространства достаточно знать модуль и знак.

К векторным относятся поля векторных величин, характеризующихся модулем и направлением.

При этом любое скалярное поле может быть преобразовано в векторное, если изучать не исходные величины, а их производные скорости изменения (градиенты поля).

В зависимости от изменения зафиксированных при изучении объекта величин во времени все разновидности геологических полей подразделяют на стационарные (неизменные во времени) и динамические.

Это деление условно и зависит от принятого промежутка времени, но оно необходимо, так как определяет методику их изучения.

Различные показатели месторождений полезных ископаемых характеризуются следующими видами функций:

1. Реально существующих поверхностей: земной поверхности, поверхности литологических

разностей, кровли и почвы залежи, тектонических разрывов и пр.

2. Поверхностей реально в природе не существующих, но являющихся производными от реальных поверхностей: изомощности залежи или изолинии поверхности «осажденной залежи», которую получают в результате деления залежи на элементарные столбики высотой, равной мощности залежи

3. Выражающих поверхности условные, не существующие реально и не всегда связанные зависимостью с реально существующими поверхностями месторождения: размещение раз- личных компонентов в залежи, которое представляется изолиниями поверхности «осажденного слитка».

Функции первого и второго вида выражают графиками структурные показатели залежи, устанавливаются по значениям показателей, измеренным в отдельных точках. Функции третьего вида, выражающие графиками качественную характеристику залежи и размещение ее свойств устанавливаются по средним значениям показателя в некоторых объемах, относимым к их центрам.

**Контрольные вопросы и задания:**

1. Дать все полные определения геометрии недр.
2. Дать все полные определения геометризации месторождения
3. Изложить теоретическую основу геометризации месторождения
4. Дать определение понятия поля свойств
5. Изложить классификацию полей свойств

## Методы анализа

Числовое значение некоторого свойства в пространстве недр можно рассматривать как функцию от пространственного положения точки или центра элементарного объема и времени  $t$ :

$$P = f(x, y, z, t) \quad (1)$$

В явном виде эта функция в большинстве случаев не может быть выражена. Однако если в пределах рассматриваемого пространства недр она удовлетворяет условиям конечности, однозначности, непрерывности и плавности, то по отдельным измерениям и числовым значениям при соответствующей их математической обработке закономерность изменения этого свойства может быть выявлена и выражена геометрически системой изолиний.

Первые два условия — конечность и однозначность — очевидны и не вызывают сомнений.

Иного порядка свойство непрерывности и плавности изменения функции, особенно 3-го рода. Конкретные данные реальных наблюдений (прерывистый характер оруденения) на первый взгляд противоречит этому.

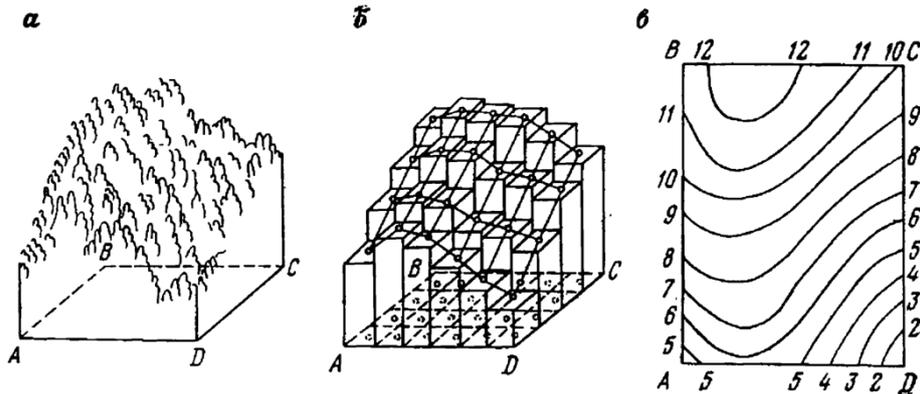


Рис.3. Геометрическая интерпретация размещения оруденения

Пусть имеется план месторождения, на котором у большинства точек сплошного опробования выписаны числовые значения содержания какого-нибудь компонента и по ним построена поверхность (рис. 3, а). На первый взгляд по мелкозопочной, прерывистой поверхности какой-либо плавности и непрерывности в изменении содержания компонента не замечается. Но если на план наложить лист с вырезанным небольшим отверстием — окном, вычислить среднее содержание компонента из значений, попавших в пределы окна, и отнести это среднее к центру окна, то обнаруживается, что при плавном перемещении окна по плану (скользящее окно) также плавно изменяется среднее содержание компонента (рис. 3, б). Метод обработки данных опробования, заключающийся в применении скользящего статического окна, позволяет с определенной средней погрешностью перейти от хаотической многогранной пирамидальной поверхности сначала к призматической, а затем к некоторой плавной топографической поверхности, выражающей в изолиниях наиболее вероятную закономерность размещения средних значений показателя (рис. 3, в).

Если из уравнения (1) исключить время  $t$  считая, что за период изучения свойство объекта практически не изменится, то для некоторого плоского сечения, имеющего постоянную отметку  $z$ , численные значения функции будут зависеть от изменения аргументов  $x$  и  $y$  и выражаться функцией топографического порядка:

$$P_z = f(x, y) \quad (2)$$

Любое свойство геохимического поля в любом плоском сечении (слое) геометрически выражается системой непересекающихся изолиний.

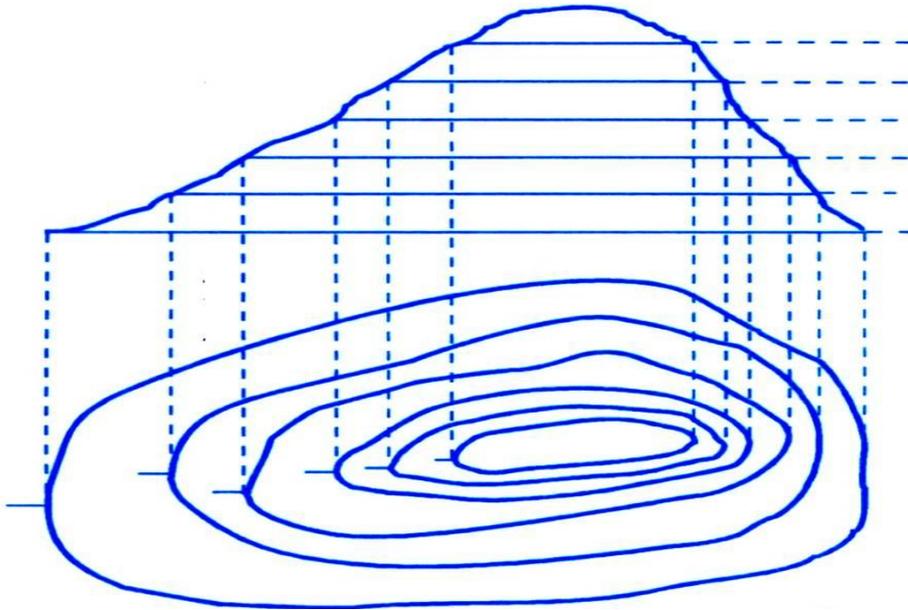


Рис.4. Пример формирования изолиний поверхности

Методом изолиний при геометризации недр изображаются поверхности не только реальные, но и условные. Сложность поверхностей зависит от ряда геологических факторов. Поэтому построение изолиний размещения какого-либо показателя при геометризации недр по данным наблюдений в отдельных точках несравненно сложнее построения изогипс земной поверхности.

Степень достоверности, которую дает изображение той или иной поверхности на плане в изолиниях, зависит от показателя, его изменчивости, густоты и соответствия разведочных точек (определений, измерений) характерным точкам объекта, размера, ориентировки проб и масштаба плана.

Изолинии — геометрические места точек с одинаковыми значениями показателя недр. Их строят как по результатам измерений в отдельных точках, так и по средним значениям группы точек, относимым к их центру, двумя способами — не- посредственным и косвенным.

### Схема геометризации месторождения

Геометризация предусматривает сбор исходных данных, их предварительную обработку, систематизацию, оценку точности, построение геолого-математической и геометрической модели с последующей оценкой ее качества (точности) и использованием модели при освоении недр, а также выработке новых гипотез о геологии месторождения. Общая схема геометризации представлена на рис. 4.



Рис.5. Общая схема геометризации

Для осуществления геометризации месторождений необходимо, чтобы интересующие нас показатели залежи и боковых горных пород в различных точках были измерены и выражены числом. Эти измерения и определения выполняются при разведке и эксплуатации месторождений. Вначале они выражаются в виде таблиц, отдельных зарисовок, фотоснимков и описаний, затем эти данные обрабатываются и обобщаются. Обобщение данных наблюдений производят с помощью вероятностно-статистического математического аппарата. По результатам обработки с учетом геологических особенностей месторождения строят специальные горно-геометрические графики, дающие уменьшенное, подобное и наглядное изображение формы залежей месторождения, их положения в недрах и геометризацию размещения свойств.

При построении горно-геометрических графиков не только увязывают и обобщают данные наблюдений, но и выявляют и устраняют отдельные ошибки измерений и графических построений.

Геометризация месторождения производится последовательно на каждой стадии его разведки и разработки.

В зависимости от этапа изучения месторождения, конкретных задач и масштабов составления горно-геометрических чертежей различают региональную, детально-разведочную и эксплуатационную геометризацию месторождений.

Региональная геометризация осуществляется в мелких масштабах (1:50000—1:500000) по данным поисковых работ, космической, аэрофотографической, геологической и геофизической съемки. Она позволяет делать широкие обобщения и общие прогнозы, определять районы, перспективные для дальнейшей разведки месторождений.

Детально-разведочная геометризация осуществляется в масштабах от 1:5000 до 1 : 50000 на основе данных детальной разведки, геологической структурно-геологической и геофизической съемок. На этой стадии составляют различные горно-геометрические графики формы, условий залегания залежи, размещения в них компонентов и пр. По материалам геометризации оценивают месторождения, подсчитывают запасы, проектируют горные предприятия.

Эксплуатационную геометризацию составляют в масштабах 1:100— 1:5000. Ее проводят на основе материалов детальной разведки и богатой горно-геологической информации, получаемой при проходке подготовительных и очистных горных выработок.

Эксплуатационная геометризация позволяет вскрывать закономерности структурного и качественного характера, на основе которых становится возможным строить прогнозы на ближайшие участки недр и планировать рациональную их раз- работку.

#### **Контрольные вопросы и задания:**

1. Изложить алгоритм вывода функции изолинии.
2. Дать определение горизонтали (изолинии)
3. Отобразить базовые элементы схемы геометризации
4. Привести определение термина «Региональная геометризация»
5. Привести определение термина «Детально-разведочная геометризация»
6. Привести определение термина «Эксплуатационная геометризация»