

# Комбіновані способи підрахунку запасів корисних копалин

У практиці геологорозвідувальних робіт часто виникають ситуації, коли жоден із класичних методів підрахунку запасів (метод середнього арифметичного, метод геологічних блоків, метод розрізів тощо) не може забезпечити достатню точність оцінки через складну геологічну будову родовища чи неоднорідний розподіл корисного компонента. У таких випадках застосовують комбіновані способи підрахунку запасів, які поєднують переваги різних методів і дозволяють підвищити достовірність оцінки. Комбіновані способи підрахунку запасів – це методики, що поєднують елементи двох або більше класичних методів підрахунку запасів для досягнення оптимального результату в конкретних геологічних умовах.

# 1. Комбінація способу розрізів і способу геологічних блоків

## Суть методу

Цей комбінований метод передбачає поділ родовища на блоки за геологічними ознаками, але об'єм рудного тіла в межах кожного блоку визначається методом розрізів. Такий підхід дозволяє врахувати як геологічні особливості родовища (через виділення блоків), так і складну форму рудних тіл (через застосування методу розрізів).

## Алгоритм застосування

1. Родовище розділяється на геологічно однорідні блоки (за складом, умовами залягання, тектонічними порушеннями та іншими геологічними ознаками).
2. Для кожного блоку будуються геологічні розрізи вхрест простягання рудного тіла.
3. На кожному розрізі визначається площа рудного тіла в межах відповідного блоку.
4. Об'єм рудного тіла між сусідніми розрізами в межах блоку обчислюється за формулою:  $V_{12} = (S_1 + S_2) / 2 \cdot L_{12}$  де:  $S_1, S_2$  - площі рудного тіла на сусідніх розрізах в межах блоку  $L_{12}$  - відстань між розрізами
5. Загальний об'єм блоку визначається як сума об'ємів між усіма розрізами в межах блоку.
6. Для кожного блоку визначаються середня щільність руди та середній вміст корисного компонента.
7. Розраховуються запаси руди та корисного компонента в межах кожного блоку.
8. Загальні запаси родовища визначаються як сума запасів усіх блоків.

## Приклад розрахунку

Родовище розділено на два геологічних блоки А і Б. Блок А вивчений трьома розрізами з інтервалом 50 м:

### Блок А:

- Площа рудного тіла на розрізі 1: 150 м<sup>2</sup>
- Площа рудного тіла на розрізі 2: 200 м<sup>2</sup>
- Площа рудного тіла на розрізі 3: 180 м<sup>2</sup>
- Середня щільність руди: 2,8 т/м<sup>3</sup>
- Середній вміст корисного компонента: 3,5%

Об'єм між розрізами 1 і 2:  $V_{12} = (150 + 200) / 2 \times 50 = 8750$  м<sup>3</sup>

Об'єм між розрізами 2 і 3:  $V_{23} = (200 + 180) / 2 \times 50 = 9500$  м<sup>3</sup>

Загальний об'єм блоку А:  $V_A = 8750 + 9500 = 18250$  м<sup>3</sup>

Запаси руди в блоці А:  $P_A = 18250 \text{ м}^3 \times 2,8 \text{ т/м}^3 = 51100$  т

Запаси корисного компонента в блоці А:  $Q_A = 51100 \text{ т} \times 0,035 = 1788,5$  т

### Блок Б:

- Площа рудного тіла на розрізі 3: 120 м<sup>2</sup>
- Площа рудного тіла на розрізі 4: 100 м<sup>2</sup>
- Середня щільність руди: 2,7 т/м<sup>3</sup>
- Середній вміст корисного компонента: 3,2%

Об'єм між розрізами 3 і 4:  $V_{34} = (120 + 100) / 2 \times 50 = 5500$  м<sup>3</sup>

Загальний об'єм блоку Б:  $V_B = 5500$  м<sup>3</sup>

Запаси руди в блоці Б:  $P_B = 5500 \text{ м}^3 \times 2,7 \text{ т/м}^3 = 14850$  т

Запаси корисного компонента в блоці Б:  $Q_B = 14850 \text{ т} \times 0,032 = 475,2$  т

Загальні запаси руди:  $P = 51100 \text{ т} + 14850 \text{ т} = 65950$  т

Загальні запаси корисного компонента:  $Q = 1788,5 \text{ т} + 475,2 \text{ т} = 2263,7$  т

## Сфера застосування

Цей комбінований метод ефективний для:

- Родовищ зі складною геологічною будовою
- Родовищ, де блоки розділені природними границями (розломами, дайками)
- Родовищ з різними типами руд в різних частинах
- Родовищ, де необхідно враховувати як геологічні особливості, так і складну форму рудних тіл

## Переваги та недоліки

### Переваги:

- Врахування геологічних особливостей родовища
- Підвищена точність для родовищ складної форми
- Можливість диференційованої оцінки запасів різних категорій
- Врахування природних границь рудних тіл

### Недоліки:

- Складність побудови розрізів для кожного блоку
- Трудомісткість розрахунків
- Необхідність великої кількості вихідних даних



## 2. Комбінація способу багатокутників і способу трикутників

### Суть методу

Даний метод передбачає поєднання способів багатокутників та трикутників з метою оптимального використання розвідувальної мережі. Основний принцип полягає у побудові навколо регулярно розташованих точок опробування багатокутників, а в зонах з нерегулярною мережею – трикутників. Це дозволяє використовувати переваги обох методів і забезпечити більшу точність підрахунку.

### Алгоритм застосування

1. На план родовища наносяться всі точки опробування.
2. Для зон з регулярною мережею точок опробування будуються багатокутники впливу.
3. Для зон з нерегулярно розташованими точками будується система трикутників, що з'єднують сусідні точки опробування.
4. Визначаються площі багатокутників і трикутників.
5. Для кожної фігури визначається потужність рудного тіла: о Для багатокутників – потужність у відповідній точці опробування о Для трикутників – середня потужність за трьома вершинами:  $h_i = (h_1 + h_2 + h_3) / 3$
6. Обчислюється об'єм руди в межах кожної фігури.
7. Визначаються середні значення щільності руди та вмісту корисного компонента для кожної фігури.
8. Розраховуються запаси руди та корисного компонента для кожної фігури.
9. Загальні запаси родовища визначаються як сума запасів всіх фігур.

### Приклад розрахунку

На ділянці родовища виділено 2 багатокутники і 1 трикутник:

#### Багатокутник №1:

- Площа: 3000 м<sup>2</sup>
- Потужність рудного тіла: 4,5 м
- Щільність руди: 2,9 т/м<sup>3</sup>
- Вміст корисного компонента: 3,8%

Об'єм руди:  $V_1 = 3000 \text{ м}^2 \times 4,5 \text{ м} = 13500 \text{ м}^3$

Запаси руди:  $P_1 = 13500 \text{ м}^3 \times 2,9 \text{ т/м}^3 = 39150 \text{ т}$

Запаси корисного компонента:  $Q_1 = 39150 \text{ т} \times 0,038 = 1487,7 \text{ т}$

#### Багатокутник №2:

- Площа: 2500 м<sup>2</sup>
- Потужність рудного тіла: 3,8 м
- Щільність руди: 3,0 т/м<sup>3</sup>
- Вміст корисного компонента: 3,5%

Об'єм руди:  $V_2 = 2500 \text{ м}^2 \times 3,8 \text{ м} = 9500 \text{ м}^3$

Запаси руди:  $P_2 = 9500 \text{ м}^3 \times 3,0 \text{ т/м}^3 = 28500 \text{ т}$

Запаси корисного компонента:  $Q_2 = 28500 \text{ т} \times 0,035 = 997,5 \text{ т}$

#### Трикутник №1:

- Площа: 1800 м<sup>2</sup>
- Потужність у вершинах:  $h_1 = 4,0 \text{ м}, h_2 = 3,5 \text{ м}, h_3 = 3,8 \text{ м}$
- Середня потужність:  $(4,0 + 3,5 + 3,8) / 3 = 3,77 \text{ м}$
- Середня щільність руди: 2,8 т/м<sup>3</sup>
- Середній вміст корисного компонента: 3,2%

Об'єм руди:  $V_3 = 1800 \text{ м}^2 \times 3,77 \text{ м} = 6786 \text{ м}^3$

Запаси руди:  $P_3 = 6786 \text{ м}^3 \times 2,8 \text{ т/м}^3 = 19000,8 \text{ т}$

Запаси корисного компонента:  $Q_3 = 19000,8 \text{ т} \times 0,032 = 608 \text{ т}$

Загальні запаси руди:  $P = 39150 \text{ т} + 28500 \text{ т} + 19000,8 \text{ т} = 86650,8 \text{ т}$

Загальні запаси корисного компонента:  $Q = 1487,7 \text{ т} + 997,5 \text{ т} + 608 \text{ т} = 3093,2 \text{ т}$

### Сфера застосування

Комбінований метод багатокутників і трикутників ефективний для:

- Родовищ з нерівномірною мережею розвідувальних виробок
- Родовищ, де частина території розвідана регулярною мережею, а частина – нерегулярною
- Родовищ з нерівномірним розподілом корисного компонента
- Пластоподібних покладів зі змінною потужністю

### Переваги та недоліки

#### Переваги:

- Оптимальне використання наявної мережі розвідувальних виробок
- Підвищена точність порівняно з використанням лише одного методу
- Можливість застосування при неоднорідній мережі розвідки
- Гнучкість методу для різних умов залягання

#### Недоліки:

- Складність побудови комбінованої системи фігур
- Суб'єктивність при виборі способу підрахунку для різних ділянок
- Трудомісткість обчислень

# 3. Комбінація способу об'ємної палетки П.К. Соболевського і способу розрізів

## Суть методу

Цей комбінований метод поєднує переваги способу об'ємної палетки для визначення площі рудного тіла на розрізах і способу розрізів для визначення об'єму між розрізами. Такий підхід дозволяє підвищити точність визначення площі рудного тіла на розрізах, особливо при складній формі, і одночасно використовувати зручність методу розрізів для обчислення об'єму.

## Алгоритм застосування

- Будуються геологічні розрізи вхрест простягання рудного тіла через рівні інтервали.
- На кожний розріз накладається палетка з рівномірною сіткою для визначення площі рудного тіла.
- Площа рудного тіла на розрізі визначається за формулою П.К. Соболевського:  $S = a^2 \cdot \sum n_i$  де:  $a$  - крок сітки палетки  $n_i$  - кількість вузлів палетки, що потрапили в контур рудного тіла (з урахуванням коефіцієнтів для граничних вузлів)
- Об'єм рудного тіла між сусідніми розрізами визначається за формулою:  $V_{12} = (S_1 + S_2) / 2 \cdot L_{12}$  де:  $S_1, S_2$  - площі рудного тіла на сусідніх розрізах, визначені методом палетки  $L_{12}$  - відстань між розрізами
- Загальний об'єм рудного тіла визначається як сума об'ємів між усіма розрізами.
- Визначаються середні значення щільності руди та вмісту корисного компонента.
- Розраховуються запаси руди та корисного компонента.

## Приклад розрахунку

Родовище вивчене трьома паралельними розрізами з інтервалом 50 м. Площі рудного тіла на розрізах визначені методом палетки:

### Розріз 1:

- Крок палетки: 5 м
- Кількість внутрішніх вузлів: 25
- Кількість граничних вузлів: 18 (з коефіцієнтом 0,5)
- Загальна кількість вузлів:  $25 + 18 \times 0,5 = 34$
- Площа рудного тіла:  $S_1 = 5^2 \times 34 = 850 \text{ м}^2$

### Розріз 2:

- Крок палетки: 5 м
- Кількість внутрішніх вузлів: 32
- Кількість граничних вузлів: 20 (з коефіцієнтом 0,5)
- Загальна кількість вузлів:  $32 + 20 \times 0,5 = 42$
- Площа рудного тіла:  $S_2 = 5^2 \times 42 = 1050 \text{ м}^2$

### Розріз 3:

- Крок палетки: 5 м
- Кількість внутрішніх вузлів: 28
- Кількість граничних вузлів: 16 (з коефіцієнтом 0,5)
- Загальна кількість вузлів:  $28 + 16 \times 0,5 = 36$
- Площа рудного тіла:  $S_3 = 5^2 \times 36 = 900 \text{ м}^2$

Об'єм рудного тіла між розрізами 1 і 2:  $V_{12} = (850 + 1050) / 2 \times 50 = 47500 \text{ м}^3$

Об'єм рудного тіла між розрізами 2 і 3:  $V_{23} = (1050 + 900) / 2 \times 50 = 48750 \text{ м}^3$

Загальний об'єм рудного тіла:  $V = 47500 + 48750 = 96250 \text{ м}^3$

Середня щільність руди:  $2,8 \text{ т/м}^3$

Середній вміст корисного компонента: 3,5%

Запаси руди:  $P = 96250 \text{ м}^3 \times 2,8 \text{ т/м}^3 = 269500 \text{ т}$

Запаси корисного компонента:  $Q = 269500 \text{ т} \times 0,035 = 9432,5 \text{ т}$

## Сфера застосування

Даний комбінований метод ефективний для:

- Родовищ складної форми, де визначення площі рудного тіла на розрізах традиційними методами дає значні похибки
- Родовищ із пластовою, лінзоподібною або жильною формою
- Родовищ, для яких характерні різкі зміни форми рудного тіла
- Родовищ з детальною розвідкою

## Переваги та недоліки

### Переваги:

- Підвищена точність визначення площі рудного тіла на розрізах
- Об'єктивність визначення контурів рудного тіла
- Можливість автоматизації процесу
- Зручність для родовищ складної форми

### Недоліки:

- Висока трудомісткість
- Необхідність побудови детальних розрізів
- Складність вибору оптимального кроку палетки
- Необхідність великої кількості вихідних даних

# 4. Комбінація способу експлуатаційних блоків і способу ізоляцій

## Суть методу

Цей метод поєднує принципи способу експлуатаційних блоків для планування видобутку та способу ізоляцій для точного визначення параметрів у межах блоків. Родовище розбивається на експлуатаційні блоки відповідно до плану гірничих робіт, а в межах кожного блоку будуються ізоляції потужності та вмісту корисного компонента для більш точного визначення цих параметрів.

## Алгоритм застосування

- Родовище розділяється на експлуатаційні блоки відповідно до проекту розробки.
- Для кожного блоку на основі даних експлуатаційної розвідки будуються: о Ізоляції потужності рудного тіла о Ізоляції вмісту корисного компонента о Ізоляції щільності руди (за потреби)
- Площа між сусідніми ізоляціями потужності визначається планіметром або палеткою:  $S_{12} = f(m_1, m_2)$  де: о  $S_{12}$  - площа між ізоляціями потужності  $m_1$  і  $m_2$
- Середня потужність між ізоляціями:  $m_{12} = (m_1 + m_2) / 2$
- Об'єм руди між сусідніми ізоляціями потужності:  $V_{12} = S_{12} \cdot m_{12}$
- Аналогічно визначаються середні значення вмісту корисного компонента та щільності руди між відповідними ізоляціями.
- Загальний об'єм блоку визначається як сума об'ємів між усіма ізоляціями потужності.
- Запаси руди та корисного компонента в блоці розраховуються з урахуванням зон з різним вмістом корисного компонента.
- Загальні запаси родовища визначаються як сума запасів усіх експлуатаційних блоків.

## Приклад розрахунку

Експлуатаційний блок площею 10000 м<sup>2</sup> розділений ізоляціями потужності на три зони:

### Зона 1:

- Площа: 4000 м<sup>2</sup>
- Ізоляції потужності: 3,0 м і 4,0 м
- Середня потужність:  $(3,0 + 4,0) / 2 = 3,5$  м
- Середня щільність руди: 2,8 т/м<sup>3</sup>
- Середній вміст корисного компонента: 3,8%

Об'єм руди:  $V_1 = 4000 \text{ м}^2 \times 3,5 \text{ м} = 14000 \text{ м}^3$

Запаси руди:  $P_1 = 14000 \text{ м}^3 \times 2,8 \text{ т/м}^3 = 39200 \text{ т}$

Запаси корисного компонента:  $Q_1 = 39200 \text{ т} \times 0,038 = 1489,6 \text{ т}$

### Зона 2:

- Площа: 3500 м<sup>2</sup>
- Ізоляції потужності: 4,0 м і 5,0 м
- Середня потужність:  $(4,0 + 5,0) / 2 = 4,5$  м
- Середня щільність руди: 2,9 т/м<sup>3</sup>
- Середній вміст корисного компонента: 3,5%

Об'єм руди:  $V_2 = 3500 \text{ м}^2 \times 4,5 \text{ м} = 15750 \text{ м}^3$

Запаси руди:  $P_2 = 15750 \text{ м}^3 \times 2,9 \text{ т/м}^3 = 45675 \text{ т}$

Запаси корисного компонента:  $Q_2 = 45675 \text{ т} \times 0,035 = 1598,6 \text{ т}$

### Зона 3:

- Площа: 2500 м<sup>2</sup>
- Ізоляції потужності: 5,0 м і 6,0 м
- Середня потужність:  $(5,0 + 6,0) / 2 = 5,5$  м
- Середня щільність руди: 3,0 т/м<sup>3</sup>
- Середній вміст корисного компонента: 3,2%

Об'єм руди:  $V_3 = 2500 \text{ м}^2 \times 5,5 \text{ м} = 13750 \text{ м}^3$

Запаси руди:  $P_3 = 13750 \text{ м}^3 \times 3,0 \text{ т/м}^3 = 41250 \text{ т}$

Запаси корисного компонента:  $Q_3 = 41250 \text{ т} \times 0,032 = 1320 \text{ т}$

Загальні запаси блоку:

- Запаси руди:  $P = 39200 \text{ т} + 45675 \text{ т} + 41250 \text{ т} = 126125 \text{ т}$
- Запаси корисного компонента:  $Q = 1489,6 \text{ т} + 1598,6 \text{ т} + 1320 \text{ т} = 4408,2 \text{ т}$

## Сфера застосування

Комбінований метод експлуатаційних блоків і ізоляцій ефективний для:

- Діючих родовищ на стадії експлуатаційної розвідки
- Родовищ зі змінною потужністю та нерівномірним розподілом корисного компонента в межах блоків
- Родовищ, де необхідне детальне планування видобутку
- Родовищ з великою кількістю даних експлуатаційної розвідки

## Переваги та недоліки

### Переваги:

- Висока точність оцінки запасів
- Можливість візуалізації родовища у тривимірному просторі
- Урахування всіх наявних геологічних даних
- Можливість оперативного перерахунку запасів при отриманні нових даних
- Зменшення суб'єктивного фактора при інтерпретації геологічних даних
- Можливість застосування геостатистичних методів для оцінки достовірності
- Підвищена точність визначення контурів рудних тіл і їх структурних особливостей
- Можливість інтеграції різних типів геологічних даних (буріння, геофізика, геохімія)
- Ефективне врахування структурних порушень та інших складних геологічних елементів
- Зручність для презентації результатів інвесторам та керівництву
- Можливість сценарного моделювання при різних бортових вмістах
- Підвищена надійність оцінки запасів завдяки перехресній перевірці різними методами
- Можливість оптимізації системи видобутку на основі детальної моделі
- Підвищена ефективність планування експлуатаційної розвідки

### Недоліки:

- Висока вартість спеціалізованого програмного забезпечення
- Необхідність спеціальної підготовки персоналу
- Складність побудови моделі для дуже складних родовищ
- Залежність від якості вихідних даних
- Значні затрати часу на початковому етапі моделювання
- Можливість виникнення додаткових похибок при недостатній кваліфікації виконавців
- Складність адекватного відображення різних змін геологічних характеристик
- Певна формалізація геологічних процесів, що може призвести до спрощення реальної ситуації
- Вимоги до потужного комп'ютерного обладнання для обробки великих масивів даних
- Труднощі верифікації моделі на ранніх етапах розвідки
- Високі вимоги до кваліфікації геологів-інтерпретаторів
- Ризик надмірної довіри до комп'ютерної моделі без врахування геологічного досвіду
- Складність відображення малих, але економічно значущих деталей родовища
- Потреба у постійному оновленні моделі в процесі експлуатації визначення параметрів у межах експлуатаційних блоків
- Наочність представлення результатів
- Зручність для планування видобувних робіт
- Можливість диференційованої оцінки різних частин блоку
- Урахування локальних змін потужності та вмісту корисного компонента



# 5. Комбінація 3D-моделювання та класичних методів підрахунку запасів

## Суть методу

Сучасний підхід, що поєднує тривимірне комп'ютерне моделювання родовища з класичними методами підрахунку запасів. Тривимірна модель родовища будується на основі всіх доступних геологічних даних, після чого запаси розраховуються як класичними методами (з використанням 3D-моделі для визначення параметрів), так і методами блокового моделювання. Порівняння результатів дозволяє підвищити достовірність оцінки запасів.

## Алгоритм застосування

1. Збір усіх доступних геологічних даних (результати буріння, геофізичних досліджень, гірничих виробок).
2. Побудова тривимірної цифрової моделі родовища за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (Micromine, Datamine, Surpac та ін.).
3. Побудова каркасних моделей рудних тіл з урахуванням геологічних особливостей.
4. Побудова блокової моделі родовища з присвоєнням кожному блоку значень вмісту корисного компонента, щільності та інших параметрів.
5. Підрахунок запасів методом блокового моделювання:  $Q = \sum (V_{\text{блоку}} \cdot d_{\text{блоку}} \cdot c_{\text{блоку}})$  де:  $V_{\text{блоку}}$  - об'єм елементарного блоку моделі  $d_{\text{блоку}}$  - щільність руди в блоці  $c_{\text{блоку}}$  - вміст корисного компонента в блоці
6. Паралельно виконується підрахунок запасів класичними методами (геологічних блоків, розрізів) з використанням параметрів, отриманих з тривимірної моделі.
7. Порівняння результатів, отриманих різними методами, та вибір найбільш достовірної оцінки запасів.

## Приклад застосування

На родовищі золота проведено комплексний підрахунок запасів з використанням 3D-моделювання та класичних методів:

1. За даними буріння та гірничих виробок побудована тривимірна каркасна модель рудного тіла.
2. Створена блокова модель з розміром блоку 5×5×5 м.
3. Кожному блоку присвоєні значення вмісту золота та щільності руди за даними геостатистичного аналізу.
4. Підрахунок запасів методом блокового моделювання дав результат: 1,2 млн т руди із середнім вмістом золота 4,5 г/т (запаси золота – 5400 кг).
5. Паралельно виконано підрахунок запасів методом розрізів з використанням даних 3D-моделі: 1,25 млн т руди із середнім вмістом золота 4,3 г/т (запаси золота – 5375 кг).
6. Розбіжність результатів склала менше 5%, що вказує на високу достовірність оцінки запасів.

## Сфера застосування

Комбінація 3D-моделювання та класичних методів ефективна для:

- Родовищ зі складною геологічною будовою
- Родовищ з великою кількістю розвідувальних даних
- Родовищ з нерівномірним розподілом корисного компонента
- Родовищ, де необхідна висока точність оцінки запасів
- На стадії детальної розвідки та під час експлуатації родовища

## Переваги та недоліки

### Переваги:

- Підвищену точність визначення контурів рудних тіл
- Можливість інтеграції різних типів геологічних даних
- Ефективне врахування структурних порушень
- Зручність для презентації результатів інвесторам
- Можливість сценарного моделювання при різних бортових вмістах
- Підвищену надійність оцінки завдяки перехресній перевірці
- Можливість оптимізації системи видобутку
- Ефективніше планування експлуатаційної розвідки

### Недоліки:

- Можливість додаткових похибок при недостатній кваліфікації
- Складність відображення різких змін геологічних характеристик
- Формалізацію геологічних процесів, що може спрощувати реальну ситуацію
- Вимоги до потужного комп'ютерного обладнання
- Труднощі верифікації моделі на ранніх етапах
- Ризик надмірної довіри до комп'ютерної моделі
- Складність відображення малих, але важливих деталей
- Потребу в постійному оновленні моделі

# 6. Комбінований спосіб геостатистичного моделювання з класичними методами

## Суть методу

Цей сучасний підхід поєднує геостатистичні методи, зокрема крігінг (Kriging), з класичними методами підрахунку запасів. Геостатистичне моделювання базується на теорії регіоналізованих змінних і дозволяє оцінити просторову мінливість параметрів родовища з урахуванням їх взаємної кореляції. Паралельно виконується підрахунок запасів класичними методами, а порівняння результатів дозволяє обрати найбільш достовірну оцінку.

## Алгоритм застосування

1. Збір і аналіз вихідних даних (результати буріння, опробування, геофізичних досліджень).
2. Статистичний аналіз даних для виявлення закономірностей розподілу параметрів.
3. Побудова варіограм для оцінки просторової мінливості параметрів родовища.
4. Виконання геостатистичного моделювання (крігінгу) для створення моделі розподілу корисного компонента, потужності та щільності руди.
5. Побудова блокової моделі родовища з присвоєнням кожному блоку параметрів, отриманих методом крігінгу.
6. Підрахунок запасів на основі блокової моделі.
7. Паралельно виконується підрахунок запасів класичними методами.
8. Порівняння результатів та оцінка достовірності підрахунку.

## Приклад застосування

На родовищі міді виконано комплексний підрахунок запасів з використанням геостатистичного моделювання та класичних методів:

1. За результатами буріння 85 свердловин отримано дані про вміст міді у 620 пробах.
2. Проведено статистичний аналіз даних, визначено середній вміст міді (1,8%) та коефіцієнт варіації (0,45).
3. Побудовано варіограми для оцінки просторової мінливості вмісту міді.
4. Методом звичайного крігінгу побудовано модель розподілу вмісту міді в межах родовища.
5. Створено блокову модель з розміром блоку 10×10×5 м.
6. За результатами геостатистичного моделювання запаси руди склали 15,2 млн т із середнім вмістом міді 1,75% (запаси міді – 266 000 т).
7. Паралельно виконано підрахунок запасів методом геологічних блоків: 14,8 млн т руди із середнім вмістом міді 1,8% (запаси міді – 266 400 т).
8. Розбіжність результатів із запасів міді склала менше 0,2%, що свідчить про високу достовірність оцінки.

## Сфера застосування

Комбінація геостатистичного моделювання з класичними методами ефективна для:

- Родовищ з нерівномірним розподілом корисного компонента
- Родовищ з великою кількістю розвідувальних даних
- Родовищ, де важливо оцінити достовірність підрахунку запасів
- Родовищ, для яких необхідно визначити оптимальну мережу опробування
- На стадії детальної розвідки та експлуатаційної оцінки запасів

## Переваги та недоліки

### Переваги:

- Об'єктивна оцінка просторової мінливості параметрів родовища
- Можливість кількісної оцінки похибки підрахунку запасів
- Оптимальне використання наявної інформації
- Можливість оптимізації мережі розвідки
- Висока точність для родовищ з нерівномірним розподілом корисного компонента
- Можливість створення різних сценаріїв оцінки запасів

### Недоліки:

- Складність геостатистичного аналізу
- Необхідність спеціального програмного забезпечення
- Висока кваліфікація виконавців
- Значні затрати часу на збір і обробку даних
- Необхідність великої кількості даних для побудови достовірної моделі

# 7. Комбінація способів середньозваженого і поєднання перерізів

## Суть методу

Цей комбінований метод поєднує принципи способу середньозваженого для визначення середніх значень параметрів родовища і способу поєднання перерізів для визначення об'єму рудного тіла. Особливість методу полягає в тому, що при розрахунку середніх значень параметрів кожній пробі присвоюється вага, пропорційна площі її впливу на відповідному перерізі.

## Алгоритм застосування

1. Будуються геологічні розрізи вхрест простягання рудного тіла.
2. На кожному розрізі визначаються контури рудного тіла та зони впливу кожної точки опробування.
3. Розраховується площа впливу кожної проби на розрізі.
4. Визначається середньозважене значення потужності рудного тіла на кожному розрізі:  $m_{\text{розрізу}} = \frac{\sum(m_i \cdot S_i)}{\sum S_i}$  де:  $m_i$  - потужність рудного тіла в  $i$ -тій точці опробування  $S_i$  - площа впливу  $i$ -тої точки опробування на розрізі
5. Аналогічно визначаються середньозважені значення вмісту корисного компонента та щільності руди для кожного розрізу.
6. Визначається площа рудного тіла на кожному розрізі.
7. Розраховується об'єм рудного тіла між сусідніми розрізами за формулою:  $V_{12} = \frac{(S_1 + S_2)}{2} \cdot L_{12}$  де:  $S_1, S_2$  - площі рудного тіла на сусідніх розрізах  $L_{12}$  - відстань між розрізами
8. Для кожного блоку між розрізами розраховуються запаси руди та корисного компонента з використанням середньозважених значень параметрів.



# Загальні запаси родовища

Загальні запаси родовища визначаються як сума запасів усіх блоків.

## Приклад розрахунку

Родовище вивчене трьома паралельними розрізами з інтервалом 50 м:

### Розріз 1:

- Площа рудного тіла:  $S_1 = 300 \text{ м}^2$
- Середньозважена потужність:  $m_1 = 4,2 \text{ м}$
- Середньозважена щільність:  $d_1 = 2,9 \text{ т/м}^3$
- Середньозважений вміст корисного компонента:  $c_1 = 3,5\%$

### Розріз 2:

- Площа рудного тіла:  $S_2 = 400 \text{ м}^2$
- Середньозважена потужність:  $m_2 = 4,5 \text{ м}$
- Середньозважена щільність:  $d_2 = 3,0 \text{ т/м}^3$
- Середньозважений вміст корисного компонента:  $c_2 = 3,2\%$

### Розріз 3:

- Площа рудного тіла:  $S_3 = 350 \text{ м}^2$
- Середньозважена потужність:  $m_3 = 4,0 \text{ м}$
- Середньозважена щільність:  $d_3 = 2,8 \text{ т/м}^3$
- Середньозважений вміст корисного компонента:  $c_3 = 3,4\%$

Об'єм рудного тіла між розрізами 1 і 2:  $V_{12} = (300 + 400) / 2 \times 50 = 17500 \text{ м}^3$

Середньозважена щільність для блоку між розрізами 1 і 2:  $d_{12} = (2,9 \times 300 + 3,0 \times 400) / (300 + 400) = 2,957 \text{ т/м}^3$

Середньозважений вміст для блоку між розрізами 1 і 2:  $c_{12} = (3,5 \times 300 + 3,2 \times 400) / (300 + 400) = 3,329\%$

Запаси руди між розрізами 1 і 2:  $P_{12} = 17500 \text{ м}^3 \times 2,957 \text{ т/м}^3 = 51747,5 \text{ т}$

Запаси корисного компонента між розрізами 1 і 2:  $Q_{12} = 51747,5 \text{ т} \times 0,03329 = 1722,7 \text{ т}$

Аналогічно для блоку між розрізами 2 і 3:

$V_{23} = (400 + 350) / 2 \times 50 = 18750 \text{ м}^3$

$d_{23} = (3,0 \times 400 + 2,8 \times 350) / (400 + 350) = 2,907 \text{ т/м}^3$

$c_{23} = (3,2 \times 400 + 3,4 \times 350) / (400 + 350) = 3,293\%$

$P_{23} = 18750 \text{ м}^3 \times 2,907 \text{ т/м}^3 = 54506,3 \text{ т}$

$Q_{23} = 54506,3 \text{ т} \times 0,03293 = 1794,9 \text{ т}$

Загальні запаси руди:  $P = 51747,5 \text{ т} + 54506,3 \text{ т} = 106253,8 \text{ т}$

Загальні запаси корисного компонента:  $Q = 1722,7 \text{ т} + 1794,9 \text{ т} = 3517,6 \text{ т}$

## Сфера застосування

Комбінація способів середньозваженого і поєднання перерізів ефективна для:

- Родовищ пластової та лінзоподібної форми
- Родовищ з нерівномірним розподілом корисного компонента
- Родовищ, де важливо точно врахувати вплив кожної проби
- Родовищ з детальною розвідкою, але нерівномірною мережею опробування
- На стадії детальної розвідки та експлуатаційної оцінки запасів

## Переваги та недоліки

### Переваги:

- Підвищена точність визначення середніх значень параметрів
- Врахування площі впливу кожної проби
- Зменшення впливу аномальних значень
- Об'єктивність оцінки параметрів родовища
- Можливість урахування геологічних особливостей родовища
- Підвищена достовірність підрахунку запасів

### Недоліки:

- Трудомісткість визначення зон впливу проб на розрізах
- Складність розрахунків середньозважених значень
- Необхідність детальних геологічних розрізів
- Суб'єктивність при визначенні зон впливу проб

# Порівняльна характеристика комбінованих способів підрахунку запасів

Комбінований спосіб	Ключові переваги	Недоліки	Оптимальні умови застосування
Розрізів і геологічних блоків	Враховує геологічні особливості та складну форму рудних тіл	Трудомісткість побудови розрізів для кожного блоку	Родовища зі складною геологічною будовою, де блоки розділені природними границями
Багатокутників і трикутників	Оптимальне використання мережі розвідувальних виробок, підвищена точність	Складність побудови комбінованої системи фігур	Родовища з нерівномірною мережею розвідувальних виробок
Об'ємної палетки і розрізів	Підвищена точність визначення площі рудного тіла на розрізах, об'єктивність	Висока трудомісткість, необхідність детальних розрізів	Родовища складної форми, де визначення площі традиційними методами дає значні похибки
Експлуатаційних блоків і ізоляцій	Висока точність визначення параметрів у межах блоків, зручність для планування	Висока трудомісткість побудови ізоляцій, необхідність великої кількості даних	Діючі родовища на стадії експлуатаційної розвідки
3D-моделювання і класичних методів	Висока точність, візуалізація родовища, урахування всіх даних	Висока вартість програмного забезпечення, потреба спеціальної підготовки	Родовища зі складною геологічною будовою, з великою кількістю розвідувальних даних
Геостатистичного моделювання і класичних методів	Об'єктивна оцінка просторової мінливості параметрів, кількісна оцінка похибки	Складність геостатистичного аналізу, необхідність спеціального ПЗ	Родовища з нерівномірним розподілом корисного компонента, з великою кількістю даних
Середньозваженого і поєднання перерізів	Підвищена точність визначення середніх значень параметрів, врахування впливу кожної проби	Трудомісткість визначення зон впливу проб, складність розрахунків	Родовища пластової та лінзоподібної форми з нерівномірним розподілом корисного компонента

Рекомендації щодо вибору комбінованого способу підрахунку запасів

Вибір оптимального комбінованого способу підрахунку запасів залежить від багатьох факторів, включаючи геологічні особливості родовища, стадію його вивчення, наявність розвідувальних даних, технічні можливості та економічні обмеження.

# Рекомендації щодо вибору комбінованого способу

1. Для родовищ зі складною геологічною будовою, де блоки розділені природними границями:
  - Комбінація способу розрізів і способу геологічних блоків
  - Комбінація 3D-моделювання та класичних методів
2. Для родовищ з нерівномірною мережею розвідувальних виробок:
  - Комбінація способу багатокутників і способу трикутників
  - Комбінація геостатистичного моделювання з класичними методами
3. Для родовищ з нерівномірним розподілом корисного компонента:
  - Комбінація геостатистичного моделювання з класичними методами
  - Комбінація способів середньозваженого і поєднання перерізів
4. Для діючих родовищ на стадії експлуатаційної розвідки:
  - Комбінація способу експлуатаційних блоків і способу ізолій
  - Комбінація 3D-моделювання та класичних методів
5. Для родовищ складної форми, де визначення площі традиційними методами дає значні похибки:
  - Комбінація способу об'ємної палетки і способу розрізів
  - Комбінація 3D-моделювання та класичних методів
6. Для родовищ з великою кількістю розвідувальних даних:
  - Комбінація 3D-моделювання та класичних методів
  - Комбінація геостатистичного моделювання з класичними методами



# Висновки

Для родовищ пластової та лінзоподібної форми:

- Комбінація способів середньозваженого і поєднання перерізів
- Комбінація способу розрізів і способу геологічних блоків

Комбіновані способи підрахунку запасів є потужним інструментом для підвищення достовірності оцінки запасів твердих корисних копалин. Поєднуючи переваги різних методів, вони дозволяють мінімізувати похибки та оптимально використовувати наявну геологічну інформацію.

Основними перевагами комбінованих способів є:

- Підвищена точність підрахунку запасів
- Можливість адаптації методики до конкретних геологічних умов
- Зменшення впливу суб'єктивного фактора
- Можливість контролю достовірності оцінки шляхом порівняння результатів, отриманих різними методами

Вибір оптимального комбінованого способу повинен базуватися на детальному аналізі геологічних особливостей родовища, наявних розвідувальних даних та технічних можливостей. У багатьох випадках доцільно виконувати підрахунок запасів декількома комбінованими способами для підвищення достовірності оцінки.

Сучасні інформаційні технології, зокрема тривимірне моделювання та геостатистичний аналіз, відкривають нові можливості для розробки та застосування комбінованих способів підрахунку запасів, що дозволяє суттєво підвищити ефективність геологорозвідувальних робіт та достовірність оцінки запасів твердих корисних копалин.

Література