

УДК 553.3:622.27

## Статистичний розподіл вмістів заліза на відпрацьованих родовищах (на прикладі багатих руд Саксаганського родовища)

Василенко Є. С.\*

*ВАТ "Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча", гірничо-збагачувальний комплекс  
"Укрмеханобр", кар'єр "Північний"*

Надійшла до редакції 13.03.09, прийнята до друку 13.12.09.

### Анотація

У статті розкрито статистичні характеристики розподілу заліза у масиві в межах ділянки повторного відпрацювання родовища багатих залізних руд. Розглянуто можливість застосування середнього арифметичного при підрахунках якісно-кількісних показників сировини лише за умови достатньої кількості даних опробування.

Ключові слова: розподіл заліза, якість, відпрацьовані родовища.

Статистичні закони розподілу корисних компонентів у межах досліджуваного масиву та їхній вплив на методику підрахунку середніх вмістів розглянуто багатьма авторами. Так, у працях [1-3] доводиться необхідність уважного ставлення до визначення закону розподілу з метою попередження значних похибок при підрахунках якісно-кількісних показників сировини. Найбільшої гостроти ця проблема набуває при повторному відпрацюванні родовищ, оскільки розвиток процесів зрушення та обвалення корінним чином змінює природні зв'язки та закономірності геологічного середовища. Проблема ускладнюється тим, що застосування різних гірничих систем розробки на родовищах зі схожими рисами геологічної будови призводить до специфічних для кожного об'єкту змін геологічного середовища. Таким чином, для об'єктів повторного відпрацювання майже виключається застосування методу аналогії, широко застосовуваного для дослідження природних родовищ корисних копалин. Тому, із початком вторинного відпрацювання родовища, неможливо об'єктивно судити про закономірності розподілу корисного компоненту в масиві, і, відповідно, визначитися з методиками підрахунку середнього вмісту та інтерполяції при проведенні робіт з геологічного супроводу.

Дослідження закону розподілу було проведено в межах ділянки повторного відпрацювання Саксаганського родовища багатих руд заліза, яке здійснюється кар'єром "Північний" гірничо-збагачувального комплексу "Укрмеханобр" ВАТ "Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча". Гірничі роботи проводяться у неактивній зоні зрушення та обвалення, яка утворилася внаслідок первинного відпрацювання родовища у підземний спосіб.

У межах сучасного гірничого відводу кар'єру розробка багатих залізних руд проводилася з 1881 року шахтами Саксаганського рудника, а потім – рудоуправління імені Дзержинського. За часів первинного відпрацювання родовища неодноразово змінювалися кондиції на вміст заліза у рудах та потужності рудних покладів. Це призвело до залишення у масиві як технологічних втрат рудної сировини, так і незначних за розмірами рудних покладів, некондиційних на ті часи.

---

\* E-mail: ggf@mine.dgtu.donetsk.ua

Наявність зони зрушення та обвалення обумовлює надзвичайно складну геологічну будову ділянки повторного відпрацювання. При черговому оформленні тимчасового дозволу на користування надрами у 2006 р Державною геологічною службою цьому об'єкту було надано 4-ту категорію за складністю геологічної будови. В межах родовища представлені утворення скелюватської та саксаганської світ криворізької серії палеопротерозою, а також кайнозойські відклади. Під зону ведення гірничих робіт потрапляють також численні ділянки розвитку техногенних утворень – старі відвали, засипані розкривними породами воронки обвалення, заповнені обваленою гірничою масою підземні виробки, колишнє пульпосховище шахти "Гігант-Глибока". Утворення саксаганської світи приурочені до східного крила, осової частини та західного крила Саксаганської синкліналі, і в межах ведення гірничих робіт представлені четвертим, п'ятим та шостим сланцевими і залізистими горизонтами. У західній частині кар'єру, на межі гірничого відводу простежуються утворення першого-другого сланцевого та залізистого горизонтів саксаганської світи (Рис.1, 2). Утворення скелюватської світи приурочені до західного фрагменту Саксаганської синкліналі і залягають, поза площиною Саксаганського насуву, відслонюючись у західному борті кар'єру. Відклади кайнозою суцільним покривом перекривають породи докембрію і представлені алювіальними пісками, червоно-бурими глинами та суглинками.

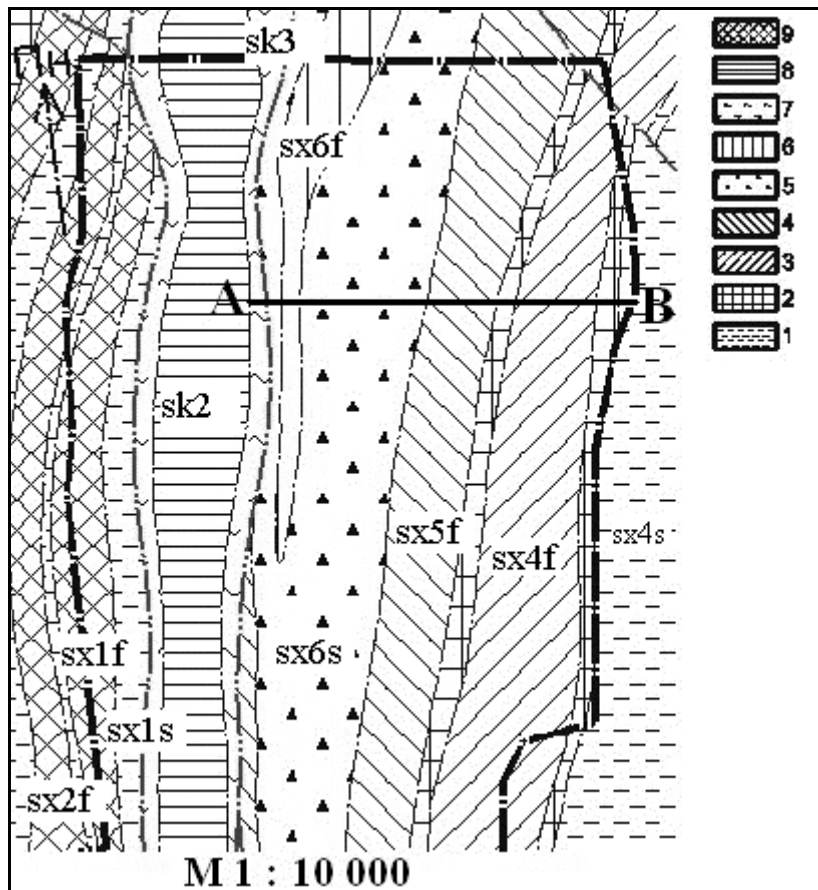


Рис. 1. Первинна геологічна будова північної частини кар'єру "Північний" із нанесеним контуром гірничого відводу: 1 – сланці кварц-хлоритові, кварц-графіт-хлоритові, кварц-серицитові; 2 – кварцити гематитові, гетит-гематитові та гетит-гідрогематитові зі прошарками сланців хлорит-серицитових гематитизованих; 3 – кварцити гематит-мартитові та гідрогематит-мартитові, руди гематит-мартитові та гідрогематит-мартитові; 4 – джеспіліти мартитові та гематит-мартитові, кварцити гематит-мартитові, руди мартитові та гематит-мартитові; 5 – кварцити гематитові та гетит-гематитові мартитовмісні (із крупними кристалами мартиту), руди гематитові; 6 – кварцити та джеспіліти гідрогематит-мартитові, руди гідрогематит-мартитові та гетит-гематит-мартитові; 7 – сланці талькові, тальк-карбонатні та тальк-хлорит-актинолітові; 8 – сланці (філіти) серицитові та серицит-хлоритові; 9 – кварцити хлорит-карбонат-магнетитові, гетит-гематит-мартитові, руди гетит-гематит-мартитові та гетитові.

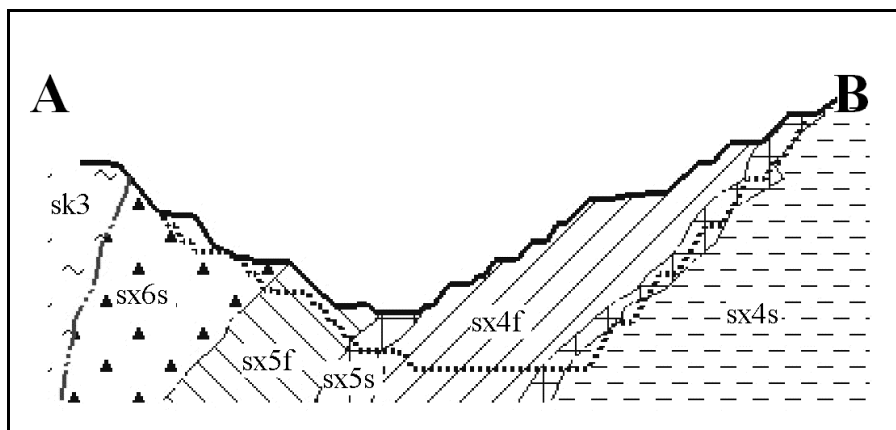


Рис. 2. Схематичний розріз уздовж лінії А-В із нанесеними фактичним та проектним контурами кар'єру (умовні позначення – див. Рис. 1).

У 2007 році на підприємстві постало питання належного забезпечення геологічною інформацією гірничих робіт для можливості поточного та перспективного планування. У зв'язку із цим було розпочато використання геоінформаційних технологій при геологічному та маркшейдерському супроводі гірничих робіт та запроваджено геофізичні дослідження (гамма-гамма каротаж експлуатаційних та розвідувальних свердловин шарошкового буріння). Основна причина проведення геофізичних досліджень полягає у тому, що шламове опробування шарошкових свердловин не дозволяє з великою точністю деталізувати будову масиву та контури рудних тіл через складність геологічної будови ділянки повторного відпрацювання.

Одним з найважливіших моментів під час проведення геофізичних досліджень було визначення закону розподілу вмістів заліза у досліджуваному масиві з метою обґрунтування методики підрахунку середніх вмістів. Під час цих робіт в межах гірничого відводу кар'єру було окреслено чотири "варіанти будови" ділянки надр, яка розробляється кар'єром "Північний". Ця варіативність пов'язана із первинною геологічною будовою та накладеними техногенними процесами. Тобто, в межах гірничого відводу кар'єру фактично можна виділити чотири ділянки із різною геолого-техногенною будовою: "Південну", "Північну", "Східну" та "Західну" (Рис. 3).

Найбільш інтенсивному дослідженню підлягала ділянка "Східна", оскільки саме під час проведення робіт з визначення закону розподілу відбувалося розширення східного борту кар'єру. Найменшого дослідження зазнали ділянки "Південна", в межах якої гірничі роботи упродовж 2007-2008 рр. не проводилися, та ділянка "Західна", яка потрапляє у зону суцільного розвитку процесів обвалення, і в межах якої відсутня рудна сировина. У цій статті буде охарактеризовано ділянку "Північна", оскільки найбільша складність при інтерпретації геологічної інформації виникає з даними, отриманими саме з цієї ділянки.

Ділянка "Північна" приурочена до зони замикання шостого залізного горизонту саксаганської світи. Первинну геологічну будову північної частини кар'єру зображено на Рис.1. Поперечний розріз з відображенням фактичного та проектного контуру кар'єру зображено на Рис.2.

На півдні границею ділянки є породна перемичка, через яку вона контактує із ділянкою "Південна". На півночі границею ділянки є границя гірничого відводу кар'єру "Північний". Автор не виключає того, що описувані нижче риси геолого-техногенної будови гірничого масиву та закономірності розподілу вмістів заліза простежуватимуться далі на північ, у межі гірничого відводу кар'єру "Південний" ВАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг". Підземні гірничі роботи в межах ділянки наприкінці етапу первинного відпрацювання проводилися шахтою "Саксагань". Зруденіння в межах первинних контурів було представлено окремими лінзо- та штокоподібними покладами. Основні видобувні роботи проводилися в межах п'ятого залізного горизонту саксаганської світи із застосуванням різних варіантів системи підповерхового обвалення руди та вмшуючих порід. Очисний простір заповнено породами

висячого боку – кварцитами шостого сланцевого горизонту саксаганської світи та тальковими сланцями скелюватської світи. При цьому, контури гірничих виробок, як правило, зберігаються. Обвалена гірська маса характеризується, здебільшого, крупнобриловою будовою. Рудна маса представлена сумішшю вміщуючих порід із мартитовими та гематит-мартитовими рудами, інколи – з гематитовими. Вся рудна маса засмічена брилами вміщуючих порід розмірами від 0,2-0,5 до 5,0-7,0 м.

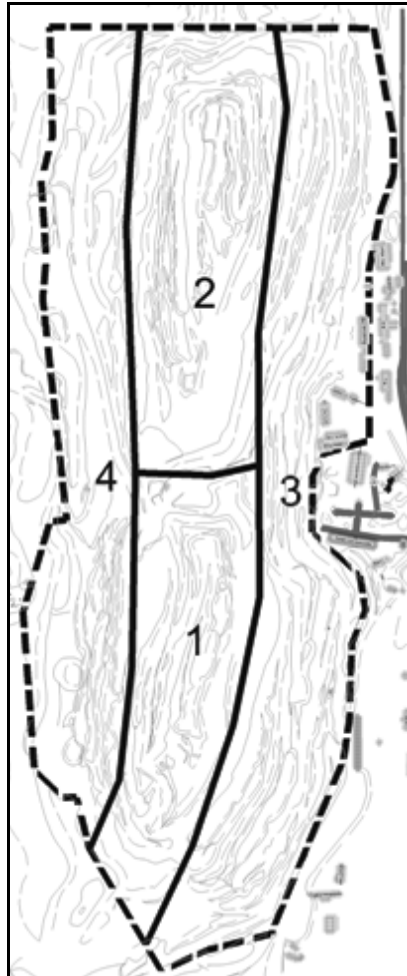


Рис. 3. Схема розташування ділянок із різною геолого-техногенною будовою в межах гірничого відводу кар'єру "Північний": 1 – ділянка "Південна"; 2 – ділянка "Північна"; 3 – ділянка "Східна"; 4 – ділянка "Західна".

У наслідок крупнобрилової будови обваленого масиву стінки свердловин кавернозні, що викликає ускладнення при проведенні та інтерпретації даних гамма-гамма каротажу. Відкриті порожнини на стиках окремих брил обумовлюють велику втрату шламу при бурінні. У значній мірі дані шламове опробування не підтверджуються гірничими роботами.

Від початку проведення геофізичних досліджень, в межах ділянки "Північна" було пробурено 16 висаджуваних блоків. Загальний обсяг гамма-гамма каротажу склав 4025 м при кількості досліджених свердловин – 410 (разом із розвідувальними свердловинами глибиною 30 м). Фактичний інтервал визначення вмістів заліза складав 0,1 м, але для спрощення розрахунків та зменшення обсягів інформації у подальшій обробці бралось середнє значення на довжину інтервалу 0,5 м. Загальна кількість прийнятих у підрахунок вимірів склала 8039. Десять інтервалів по 0,5 м були відбраковані внаслідок потрапляння каротажного зонду у відкриті каверни на стінках свердловин, що спричиняло великі похибки у роботі устаткування. Для з'ясування інформативності поінтервального і "посвердловинного" опробування було проаналізовано дві вибірки: 1) середніх значень по свердловинах (410 значень); 2) значень по

окремих інтервалах у свердловинах (8029 значень). Гістограми розподілу вмістів заліза, побудовані з інтервалом в один відсоток, вказують на значну неоднорідність вибірки 1 та наближення до нормального закону розподілу у вибірці 2 (Рис. 4,5). Результати обчислення статистичних функцій наведено у Табл. 1.

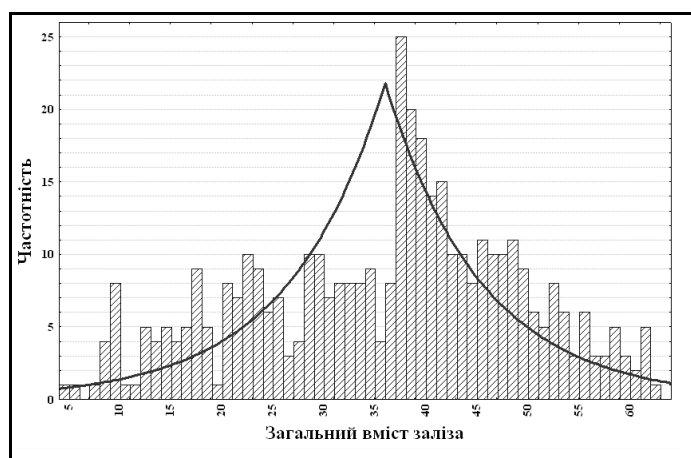


Рис. 4. Гістограма розподілу вмістів заліза у вибірці 1 (середні значення по свердловинах) із зазначенням кривої розподілу Лапласа

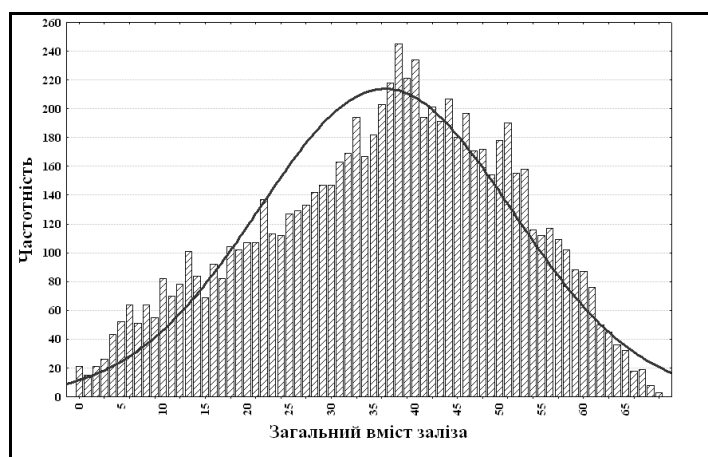


Рис. 5. Гістограма розподілу вмістів заліза у вибірці 2 (значення по окремих інтервалах) із зазначенням кривої нормального розподілу

Для вибірки 1 видно, що вона являє собою неоднорідну сукупність даних. Права частина вибірки в діапазоні вмістів заліза 38-64 % із достатньою точністю описується експоненціальним рівнянням. Для лівої частини не можливо підібрати "практичний" закон розподілу – навіть поліноми 5-6 порядків не дають повного описання її будови. Такі характеристики розподілу вмістів заліза у масиві є відображенням його сучасної геолого-техногенної будови: наявність зони зрушення та обвалення, виповненої породами із низьким вмістом заліза (талькові сланці). При цьому спостерігається значне розубожування багатих руд тальковими сланцями та вміщуючими кварцитами із формуванням суміші з вмістом заліза 38-42 %. Цей діапазон є "границею" розподілу для підрахунку якісно-кількісних показників сировини і його треба враховувати при проведенні інтерполяції вмістів заліза у масиві. Діапазон 0-38 % являє собою результат змішування рудовмісних кварцитів та талькових сланців у різних пропорціях. Таким чином статистична сукупність із достатньою точністю розшифровує будову масиву – наявність зон суцільного розубожування та зон обвалених, але залишених багатих руд.

Табл. 1. Статистичні функції розподілу вмістів заліза за вибірками 1 та 2

Вибірка	Статистичні функції								
	Min	Max	Arith. mean	Geom. mean	Harm. mean	Stand. dev.	Skew.	Excess	Stand. error
1	3,40	63,60	36,79	33,66	29,19	13,27	-0,29	-0,55	0,66
2	0,00	69,40	36,71	---	---	15,00	-0,28	-0,63	0,17

Примітка: Min. – мінімальне значення; Max. – максимальне значення; Arith. mean – середнє арифметичне; Geom. mean – середнє геометричне; Harm. mean – середнє гармонійне; Stand. dev. – середньоквадратичне відхилення; Skew. – асиметрія; Excess – ексцес; Stand. error – середньоквадратична похибка

Вибірка 2 представляє результат ущільнення розвідувальної сітки у 20 разів. При багаторазовому збільшенні об'єму вибірки, згідно теорем Лапласа та Ляпунова [4], відбувається наближення до нормального закону розподілу, хоча спостерігаються спадкові неоднорідності. Вирівнювання гістограми та наближення до нормального закону розподілу обумовлене, у першу чергу, тим, що при достатньо малому інтервалі опробування уздовж стовбура свердловини фіксуються перехідні зони між "багатою" сировиною та тальково-кварцитовою масою, які неможливо зафіксувати при опробуванні суцільним інтервалом.

Нерівномірність ("зубчастість") гістограм обумовлена, на думку автора, наявністю ділянок із бриловою будовою та поганим перемішуванням обваленої гірської маси.

З вищенаведеного можна зробити наступні висновки:

- опробування суцільним інтервалом не дає представницької інформації про розподіл заліза в масиві;
- достовірне оконтурення кондиційних ділянок можливе лише за умови використання поінтервального опробування із малим інтервалом, тобто – за допомогою геофізичних методів;
- статистичні функції характеризуються схожими параметрами для обох випадків, але як зазначено у [1, 2] – при багаторазовому ущільненні інтервалів опробування таке спостерігається за рахунок деталізації перехідних зон та залучення до вибірки нових сукупностей;
- при високій щільності опробування розподіл вмістів заліза наближається до нормального закону. Таким чином, для підрахунків якісно-кількісних показників сировини достатньо використання середнього арифметичного, а при інтерполяції – методу прямолінійної інтерполяції [5].

### Бібліографічний список

1. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. - Москва: Мир, 1968. - 408 с.
2. Богацкий В.В. Математический анализ разведочной сети. - Москва: Госгеолтехиздат, 1963. - 212 с.
3. Погребницкий Е.О., Парадеев С.В., Поротов Г.С. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. - Москва: Недра, 1977. - 405 с.
4. Романовский В.И. Математическая статистика. - Москва: ГОНТИ НКТП СССР, 1938. - 528 с.
5. Казаковский Д.А. Оценка точности результатов в связи с геометризацией и подсчетом запасов месторождений. - Москва: Углетехиздат, 1948. - 131 с.

© Василенко Є. С., 2010.