

УДК 622.14

П.Й. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., А.В. ПЕРЕМЕТЧИК, канд. техн. наук, доц.,
Т.О. ПОДОЙНІЦИНА, ст. викл., Криворізький національний університет

ГІРНИЧО-ГЕОМЕТРИЧНІ МЕТОДИ ДЛЯ ОЦІНКИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ РОДОВИЩ КРИВБАСУ

Мета. У статті розглянуто методіку геометризації родовищ корисних копалин шляхом вибору оптимального гірничо-геометричного методу оцінки для забезпечення раціонального ведення гірничо-видобувних робіт на основі аналізу та удосконалення існуючих методів геометризації родовищ корисних копалин.

Методи дослідження. В основу методіки дослідження було покладено геометризацію родовищ корисних копалин та створення геометричної моделі родовища. Для створення геометричної моделі поклада, крім основних дисциплін геологічного і гірничого циклу, необхідно знати проєкції, застосовувані при геометризації родовищ. На основі теоретичних уявлень були розвинені графічні способи побудови моделі, розроблені методи геометризації різних показників родовища. Для вирішення поставлених завдань застосовувалася цілий ряд методів, що включають проведення теоретичних досліджень, лабораторні та промислові експерименти.

Наукова новизна. Обрано методіку геометризації запасів залізрудних родовищ корисних копалин на основі аналізу та удосконалення існуючих методів геометризації запасів корисних копалин. В основу аналізу властивостей корисних копалин покладено інформаційний та гірничо-геометричний аналіз родовища, що дозволяє обрати оптимальну методіку геометризації.

Практичне значення. Розглянуто основні методіки оцінки гірничо-геометричних та геологічних даних при геометризації родовищ корисних копалин і дана їх характеристика, що дозволяє класифікувати родовища або їх ділянки, планувати і управляти розвідувальними та гірничими роботами. Особливо важливим застосуванням геометризації родовищ залізрудних корисних копалин є оцінка їх запасів для вирішення завдань перспективного та поточного планування з тим, щоб налагодити з максимальною ефективністю роботу гірничодобувного підприємства.

Результати. Обрана оптимальна методіка геометризації в умовах криворізьких залізрудних родовищ. Запропоновано вирішення актуальної наукової задачі, що має важливе народногосподарське значення, яка полягає в розробці гірничо-геометричного методу оцінки показників залізрудних родовищ, реалізованого в математичній моделі багатовимірного випадкового геохімічного поля.

Ключові слова: геометризація, методи геометризації родовищ, гірничо-геометричний метод, модель родовища, геометризація залізрудного родовища, перспективне та поточне планування.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-68-75

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Родовища корисних копалин мають дуже різноманітні форми. Залягають вони в надрах у різних гірничо-геологічних і гідротехнічних умовах. Родовища корисних копалин мають різноманітний, але в той же час визначений на даний момент характер розміщення властивостей у цих формах і умовах.

Будь-яка фізична, хімічна, геологічна та інша властивість поклада та порід, яка може бути безпосередньо або непрямо виміряна, визначена і виражена числом, називається показником або ознакою родовища.

Кожен з цих показників може мати свою геометрію, тобто свій простір розміщення або функцію просторового розміщення. Виявлення геометричного вигляду цих функцій з визначеним ступенем точності є геометризацією родовища.

Різні показники родовищ корисних копалин характеризуються такими видами функцій.

Функції реально існуючих поверхонь (підшви і покрівлі родовища, тектонічного розриву, літологічних різновидів тощо).

Функції показників родовища, що виражають поверхні, реально в природі не існуючі, та які є похідними реальних поверхонь (ізопотужність, ізоглибини і т.д.).

Функції, що виражають поверхні уявні, не існуючі реально і не завжди пов'язані залежністю з реально існуючими поверхнями родовищ (розміщення компонентів у покладі, інтенсивність тріщинуватості гірського масиву, зміна фізичних, геометричних, гірничогеологічних та інших властивостей гірських порід).

Функції 1-го та 2-го видів встановлюються за значеннями показників, що виміряні в окремих точках. Показовість і точність реалізацій (зображення поверхні) залежать від нестабільності показника і густоти точок спостереження.

Функції 3-го виду встановлюються за середнім значенням показника в деяких об'ємах і є

математичним очікуванням можливих реалізацій розміщення показників за даних умов досліду.

Аналіз досліджень і публікацій. Розміщення будь-якого показника родовища у просторі надр зображається за П.К. Соболевським у вигляді геохімічного чи геотектонічного полів або ж їх сукупності. Під геохімічним полем П.К. Соболевський має на увазі сукупність форм, властивостей процесів, пов'язаних між собою єдністю свого геологічного генезису, що є результатом процесів, які відбувалися або відбуваються у надрах.

Якщо виразити числом P будь-яку із характеристик властивостей геохімічного поля, то у межах елементарного об'єму вона буде функцією від просторових координат і часу:

$$P = f(X, Y, Z, t).$$

У такому вигляді ця функція не існує, не має свого визначення. Але якщо у межах простору, що вивчається, вона задовольняє умови кінцевості, однозначності, безперервності і плавності, то з окремих вимірів та числових значень закономірностей зміна цієї властивості може бути виявлена і виражена геометрично.

Умова кінцевості – це функція, яка має кінцевий характер. Значення не може дорівнювати нескінченно великому числу.

Умова однозначності – це функція P , яка має визначене значення (вміст металу в одиниці об'єму, співставлений з точкою-центром цього об'єму), для даної довільної точки поля (X_i, Y_i, Z_i) і для даного моменту часу (t_i) .

Умова безперервності зберігається при незначному зміщенні точки спостереження, або ж не набагато змінюється кількісна характеристика властивості надр, що розглядаються.

Умова плавності – це плавна зміна функції P на нескінченно малу величину аргументів X, Y, Z у будь-якому напрямку.

Якщо із рівняння $P = f(X, Y, Z, t)$ виключити t (час), враховуючи, що за період вивчення властивостей об'єкт практично не змінюється, то для деякого перетину, що має постійну відмітку z , числові значення функції будуть залежати від аргументів X, Y і відбиватися у функції топографічного порядку $P_z = f(X, Y)$.

Звідси випливає, що будь-яка властивість геохімічного поля в будь-якому площинному перетині геометрично відбивається системою непересічних ліній, що показують зміну даної властивості у цьому перетині. Отже, якщо ми візьмемо ряд плоских паралельних перетинів землі й в кожному такому перетині зобразимо зміни властивості у вигляді топоповерхні, то отримаємо повну та ясну картину простору, що досліджується.

Постановка задачі. Застосовуючи для вивчення геохімічного поля метод ізоліній і математичну статистику, в багатьох випадках вдається вирішити питання про математичне виявлення закономірностей явищ, що спостерігаються у надрах, і використовувати їх при розв'язанні практичних задач.

Основними методами геометризації надр є метод ізоліній і метод геологічних розрізів (профілів). При вивченні складних покладів додатково використовують метод об'ємних наочних графіків і метод моделювання.

Викладення матеріалу та результати. Метод ізоліній заснований на побудові на плані ізоліній за числовими значеннями будь-якого показника. Зміна показника у просторі (шарі) буде зображатися поверхнею топографічного порядку. Ізолініями при цьому зображають невидимі поверхні не лише реальні, але й уявні. Тому побудова поверхонь при геометризації незрівнянно складніша, ніж побудова горизонталей земної поверхні.

Метод ізоліній називається також методом графічного моделювання, так як, користуючись ним, на площині аркуша паперу отримують зображення родовища, що відповідає його просторовій моделі. Метод ізоліній є не лише відображальним прийомом, але і засобом розв'язування багатьох задач вивчення родовища.

Метод геологічних розрізів дозволяє відображати форму тіла корисних копалин і уявляти його стан серед вміщуючих порід у даному перетині (вертикальному, горизонтальному тощо).

У деяких поодиноких випадках, наприклад, для покладу зі сталою потужністю, система геологічних розрізів (вертикальних чи горизонтальних) є основною графічною документацією. Проте у більшості випадків окремі розрізи (профілі) не відображають особливостей надр у просторі. За допомогою одних лише розрізів, без ізоліній, важко, а інколи і неможливо, уявити на кресленні характер розміщення компонента, зміни фізико-технічних і гірничо-геологічних властивостей покладу та бокових порід тощо. Геометризація надр не виключає геологічного їх

вивчення. Вона є науковою математичною (геометричною) базою комплексного вивчення надр.

Для побудови гіпсометричних планів треба знати відмітки підшоши (покрівлі) родовища чи мати геологічний розріз, або геологічну карту, на якій були б показані виходи пластів, кути їх падіння, а також зображена поверхня рельєфу.

Перед побудовою аналізують наявну інформацію про геологічну будову покладу, вибирають масштаб зображення і висоту перетину, проекцію і спосіб побудови пластів.

Всі способи побудови гіпсометричних планів поділяються на безпосередні (прямі) і непрямі. У першому випадку плани будують за результатами безпосередніх вимірів, у другому - використовують математичні дії з топоповерхнями.

Побудова планів виконується у такій послідовності:

Накреслюють сітку координат; наносять устя розвідувальних виробок, біля яких підписують відмітки устя свердловин та показують місцезнаходження їх осей на плані; проводять аналіз відміток і одним із способів (багатокутника, інваріантних ліній) будують поверхню покрівлі (підшоши) пласта.

Побудову слід почати з найбільш вивченої частини родовища, тієї, де є найбільша кількість свердловин. При проведенні ізогіпс слід враховувати геологічні та тектонічні особливості будови ділянки.

При розвідці родовища системою профільних ліній побудова планів починається зі складання профільних розрізів покладу за розвідувальними лініями (Р.Л.). Для цього будують висотну сітку, за відстанями між свердловинами та відмітками устя свердловин відмічають їх положення на профілі. За даними викривлення свердловин будують положення точок входу (виходу) свердловин у поклад, точки з'єднують прямими лініями, отримуючи поверхні покрівлі (підшоши) покладу. Знаходять точки перетину цих поверхонь з висотною сіткою. Ці точки виносять на план, відкладаючи на профільну лінію відстань від устя свердловин до цих точок (r_1 , r_2 , r_3). Точки з однаковими відмітками з'єднують і отримують гіпсометричний план покрівлі (підшоши). На контурі покладу ізогіпси поверхні покрівлі покладу переходять в ізогіпси поверхні підшоши, обмежуючи перетин покладу на даному горизонті.

Гіпсометричні плани покрівлі (підшоши) покладу є вихідним матеріалом для складання проекту відпрацювання покладу та його дорозвідки. За гіпсометричним планом намічають напрямки головних відкотних виробок.

За гіпсометричними планами вирішуються питання задання напрямку гірничим і розвідувальним виробкам до покладу корисних копалин та розробки покладу під різними об'єктами і спорудами, що розташовані на поверхні.

Підрахунок запасів, розподіл їх за категоріями вивченості і розвіданості, встановлення форми ціликів і запасів корисних копалин у них, визначення обсягів робіт при поточному та перспективному плануванні гірничих робіт проводять за гіпсометричними планами з урахуванням інших показників покладу.

Гіпсометричні плани у багатьох випадках є об'єктивним матеріалом для пояснення тектоніки родовища і генезису утворення структурних елементів, за якими визначають раціональний напрямок і довжину виробки на зміщену частину покладу, а також складають прогнози поширення порушень на сусідні пласти і нижні горизонти.

Потужність корисних копалин в окремих точках покладу різна. При вирішенні завдань гірничої справи особливий інтерес викликає графічне зображення зміни потужності корисних копалин у межах покладу.

Зміцнення потужності корисних копалин можна передати у вигляді топоповерхні, тобто у вигляді системи ізоліній. Ця поверхня реально не існує. Вона є абстрактною та являє собою поверхню, уявно осаджену на площині покладу. При цьому слід дотримуватися двох умов: рівність об'ємів природного й осадженого покладу та рівність вертикальних потужностей (рис.5.6, а, б).

Якщо поверхню осадженого покладу розсікти горизонтальними площинами, що перебувають на однаковій відстані одна від одної, та отримані лінії перетину спроекувати на горизонтальну площину, то отримаємо зображення поверхні потужності в ізолініях.

Ізопотужності покладу будують безпосереднім або непрямим способами. Безпосереднім способом ізолінії потужностей отримують шляхом лінійної інтерполяції. На план за координатами переносять точки входу свердловин у поклад або точки покрівлі, де проводилися заміри

потужності. Біля них підписують значення потужностей, нормальних до вибраної площини проекції. Проводять аналіз, що полягає у визначенні інваріантних ліній, площадок, зон роздування і утонення потужностей, виклинювання, тектонічних порушень. Ці зони завжди завчасно оконтурюють. Задаючись перетином потужності (0,25 ; 0,5; 1; 2; 5 м), за допомогою трафарету знаходять ступінчасті відмітки. З'єднуючи точки з однаковим значенням потужності плавними лініями, отримують план потужностей в ізолініях. У тих випадках, коли є відпрацьована ділянка покладу, побудову ізоліній починають з неї.

При непряму способі побудови планів ізопотужностей застосовують математичні дії з топоповерхнями. Для кожної точки пласта справедлива рівність

$$l_e = Z_k - Z_n,$$

де Z_k і Z_n – відповідно відмітки покрівлі та підосви, l_e - вертикальна потужність покладу. Перейшовши до поверхні, будемо мати

$$f l_e (X, Y) = f_k (X, Y) - f_n (X, Y).$$

Цей спосіб застосовується при складних формах покладу, розвіданого системою вертикальних, похилих і викривлених свердловин.

За планами ізопотужностей підраховують запаси корисних копалин, встановлюють межі покладу, виділяють контури промислових ділянок покладу. Плани використовують при поточному і перспективному плануванні гірничих робіт, при обліку видобування і втрат корисних копалин і при вирішенні інших питань розробки родовищ.

Плани ізоглибин – це плани потужностей всієї товщі порід, що лежить вище поверхні покрівлі покладу. Ізоглибини, як і ізопотужності, являють собою поверхні, що в природі реально не існують.

Плани ізоглибин найчастіше будують непрямыми способами. Для цього необхідно від поверхні рельєфу відняти поверхню покрівлі покладу

$$f_{zn} (X, Y) = f_{zn} (X, Y) - f_k (X, Y).$$

Необхідно відзначити, що значення потужностей та глибини залягання корисних копалин відносять до окремих точок покрівлі покладу.

Плани ізоглибин широко використовуються при відкритій розробці корисних копалин. За планами визначають об'єм спеціальних робіт, встановлюють зміни коефіцієнта розкриття по всій площі покладу шляхом ділення ізоглибин на ізопотужності. За цими планами встановлюють раціональну глибину розробки, визначають лінію виходу пласта на поверхню (ізоглибина з відміткою, що дорівнює нулю, і буде лінією виходу пласта на поверхню), використовують плани для планування розвитку гірничих робіт.

Якісну характеристику родовищ, фізичні та хімічні властивості корисних копалин, а також кількісне розміщення в них корисних, шкідливих та інертних частин компонентів визначають за даними випробування корисних копалин та аналізу проб.

Зміну вмісту компонентів у виробці (свердловині, штреку, орту тощо) краще за все показати у вигляді полігональної чи ступінчастої кривої.

Для побудови таких кривих необхідно знати інтервал випробування і значення компонента в точці випробування (рис. 1., табл. 1, для свердловини 1916–В).

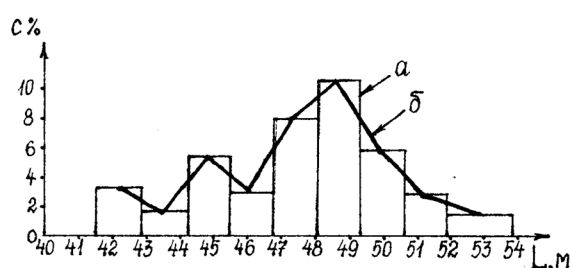


Рис. 1. Криві зміни вмісту:

a – ступінчаста (стовпчаста); b – полігональна

Таблиця 1

№№ проб	Інтервал	Довжина інтервалу	Вміст Fe_{Me} , %
1	41,5-42,7	1,2	22,47
2	42,7-44,0	1,3	21,15
3	44,0-45,1	1,1	24,16
4	45,1-46,4	1,3	22,26
5	46,4-47,5	1,1	26,21
6	47,5-48,7	1,2	28,14
7	48,7-50,0	1,3	24,44
8	50,0-51,1	1,1	22,28
9	51,1-53,0	1,9	21,20

Побудови полігональних кривих починають з вибору масштабів по осях. На горизонтальній осі відкладають відстань між точками випробування, а на вертикальній – значення компо-

нента. Значення вмісту компонента відносять до середини інтервалу. З'єднавши ці середини, отримають полігональну криву зміни вмісту по виробці.

Отримана крива відображає одне випадкове розміщення компонента або одну його реалізацію. При зміні величин інтервалу, ваги проби, початку опробування, виду проби зміниться розподіл компонента по тій же самій виробці, або, іншими словами, ми будемо мати ще одну реалізацію геохімічного поля у даному розрізі. Варіюючи змінними параметрами, можна отримати велику кількість реалізацій (фактичного) розподілу.

Оскільки випробування проводиться один раз, то необхідно з однієї випадкової реалізації показати дійсний розподіл компонента у покладі. Дійсним розподілом буде математичне очікування із всіх випадкових реалізацій. Найбільш близько підходить до математичного очікування "згладжувана" крива випадкової реалізації.

Згладжування дозволяє виявити спільну закономірність у зміні вмісту компонента й усунути місцеві, нехарактерні, випадкові відхилення показника, що вивчається.

Згладжування можна робити графічно й аналітично. Найбільшого застосування знайшов перший спосіб, який полягає у тому, що на прозорій основі накреслюють вікно згладжування - проводять 3 паралельні лінії на відстані, що дорівнює половині вікна (рис. 2, а). Це вікно накладають на полігональну криву так, щоб перша лінія співпала з початком кривої. Проводять на прозорій основі (вікні) лінію, паралельну осі інтервалів так, щоб площі S_1 та S_2 , що лежать вище та нижче цієї прямої, були рівні (рис. 2, б, в). Тим самим площа ламаної фігури замінюється на площу прямокутника. Середину цього прямокутника (т. І) переносять на графік. Вікно зміщують на величину $a/2$ і повторюють дії. З'єднавши отримані точки 1,2,3 і т. д., отримуємо згладжену криву зміни вмісту, яку продовжуємо в обидва боки (на початку і в кінці) на величину $a/2$ відповідно характеру її зміни.

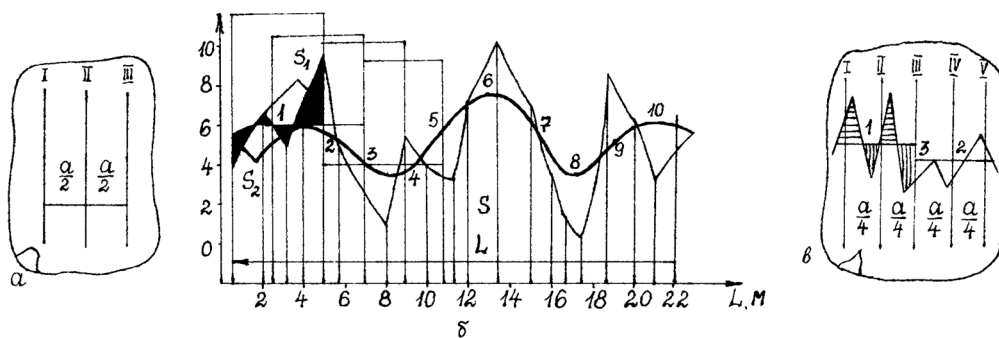


Рис. 2. Згладжування полігональної кривої вмісту: а - вікна згладжування; б, в - схема згладжування

При згладжуванні полігональних кривих головним є вибір розмірів вікна згладжування. При великій величині вікна ламану криву можна замінити прямою лінією (a дорівнює всьому інтервалу випробування), надто мала величина вікна призводить до незначного згладжування. За даними практики вікно роблять на 3÷5 інтервали.

Для визначення середнього значення вмісту компонента по всій виробці (всьому інтервалу випробування) необхідно площу, обмежену згладженою кривою, поділити на всю довжину інтервалу

$$C_{cp} = \frac{S, \text{ см}^2}{L, \text{ см}}$$

Середній вміст компонента необхідний для побудови кривих зміни вмісту за розвідувальними лініями (рис. 3, а). Спочатку будують полігональні криві вмісту по всіх свердловинах. Потім згладжують їх, знаходять середнє значення вмісту компонента у кожній свердловині. За цими середніми значеннями будують графік їх зміни за розвідувальними лініями (рис. 3, б).

Величину середнього значення відносять до середини інтервалу між точкою входу і виходу. Ці точки виносять на план, де і підписують значення вмісту компонента у кожній точці (рис. 3, в). Отримують систему профільних ліній зі значеннями вмісту компонента на них. З'єднавши точки з однаковими значеннями, отримують план ізовмісту для даного покладу чи ділянки.

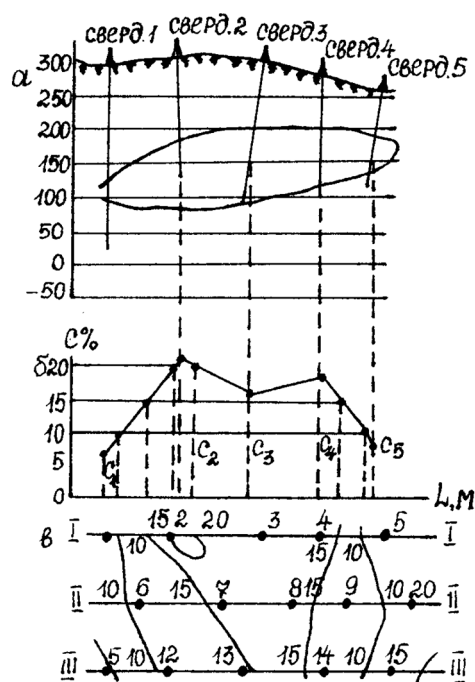


Рис. 3. Побудова плану вмісту: *a* – розріз, *б* – крива зміни вмісту за розвідувальною лінією I-I, *в* – план вмісту

У тому випадку, коли відстань між точками взяття проб набагато менша, ніж між розвідувальними лініями або гірничими виробками, плани ізовмісту будують за згладженими кривими, що отримали для кожної розвідувальної лінії або гірничої виробки.

Розробка конкретної методики геометризації залізородних родовищ розпочата в 30-ті роки роботами, що виконувались на Уралі під керівництвом проф. П.К.Соболевського.

Вихідними даними для виконання геометризації є: геологічні карти і геологічні розрізи детальної розвідки родовища, документація з випробування свердловин детальної розвідки з результатом хімічних аналізів, даними інклінометричної зйомки свердловин; погоризонтні маркшейдерські плани, маркшейдерська документація гірничих виробок, дані періодичних і спеціальних маркшейдерських спостережень і вимірів; геологічні розрізи і погоризонтні плани рудникової геології, документація з випробування свердловин експлуатаційної розвідки, польові

книжки геологічної документації гірничих виробок, матеріали випробування гірничих виробок і бурових свердловин, дані геофізичного випробування і визначення контурів рудних тіл; результати наземної і повітряної фотограмметричної зйомки, спеціальна фотогеологічна документація; результати вимірів тектонічних порушень і тріщинуватості масиву вміщуючих порід і рудного покладу; літературні джерела про рудне поле, про залізородні родовища району, звіти про науково-дослідні роботи та інші.

Геометризація форми й умов залягання залізородного покладу і вміщуючих порід спрямована, в першу чергу, на виявлення характеру контактів рудного тіла з вміщуючими породами. Для цього виконують побудову гіпсометричних планів, проєкцій на вертикальну або похилу площину поверхонь висячого і лежачого боків покладу, планів ізопотужності рудного покладу. Контури пустих порід, що знаходяться в рудному тілі окремими гніздами, виділяють з використанням коефіцієнтів рудоносності за напрямком і за площею.

Геометризація тектонічних порушень масиву, виділення в ньому складчастих структур і розривних порушень безпосередньо пов'язані з геометризацією тріщинуватості. Для цього виконують геологічні замальовки і фотогеологічні зйомки всіх тріщин. Обробку результатів вимірів і замальовок виконують для виявлення систем тріщин у гірських породах і рудах, для вивчення зв'язку тріщинуватості із загальною тектонічною порушеністю і впливом тріщин на процес рудоутворення, для розв'язування гірничотехнічних задач. Встановлено, що ефективність проходки гірничих виробок або відбійки руди зростає при розташуванні вибухових свердловин і шпурів перпендикулярно домінуючій системі тріщин.

Особливо важливе значення для розв'язування задач оперативного і поточного планування проведення гірничих робіт і отримання корисних копалин з заданою якістю має геометризація якісних показників родовища (рис. 4).

Встановлення закономірностей розміщення корисних копалин і шкідливих компонентів у рудному покладі виконується в декілька етапів: попередня обробка даних випробування детальної та експлуатаційної розвідок математично-статистичними методами з використанням ЕОМ; вибір математичної моделі мінливості якісних показників і встановлення оптимального «вікна згладжування» вихідних даних; встановлення кореляції між корисними і шкідливими компонентами для вивчення процесу мінералізації; визначення оптимальних параметрів експлуатаційної розвідувальної мережі випробування гірничих виробок; побудова графічної документації дозволяє виявити характер зруденіння, розв'язати питання генезису родовища, виконати оконтурювання і підрахувати запаси, спланувати видобування руди із заданим вмістом корисних копалин і шкідливих компонентів.



Рис. 4. Геометрія розміщення заліза магнетитового в руді на уступі кар'єру

Висновки та напрямок подальших досліджень. У роботі були розглянуті існуючі способи геометризації родовищ корисних копалин. Обрана оптимальна методика геометризації в умовах криворізьких залізородних родовищ. Особливо важливе значення для розв'язування задач оперативного і поточного планування проведення гірничих робіт і отримання корисних копалин з заданою якістю має геометризація якісних показників родовища. Запропоновано вирішення актуальної наукової задачі, що має важливе народногосподарське значення, яка полягає в розробці гірничо-геометричного методу оцінки показників залізородних родовищ, реалізованого в математичній моделі багатовимірного випадкового геохімічного поля. Саме

модель багатовимірного випадкового геохімічного поля є перспективною для подальшого розвитку і дослідження в умовах залізородних родовищ Криворізького басейну.

Список літератури

1. Букринский В.А. Геометрия недр: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985.
2. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд. – Л.: Недра, 1980.
3. Калинин В.М. Многомерная геометризация форм и качественных свойств месторождений // Маркшейдерское дело и геодезия. Межвузовский сборник. – 1979. – вып. 6. – с. 99-105.
4. Крамбейн У., Грейбилл Ф. Статистические модели в геологии. – М.: Мир. – 1969. – 400 с.
5. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. – М.: Мир, 1982.
6. Низгурецкий З.Д. К приложению теории нестационарных случайных функций для оценки результатов геометризации месторождений. – Л.: изд. ВНИМИ. – 1974. – Сб. № 93. – С. 99–113.
7. Переметчик А.В. Разработка эвристического алгоритма прогнозирования геологических показателей месторождений полезных ископаемых // Разработка рудных месторождений: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Кривой Рог: КТУ. – 2004. – Вып. 85 – С. 194 – 200.
8. Сидоренко В.Д., Федоренко П.И., Шолох М.В., Переметчик А.В., Подойницина Т.О. Геометризация родовищ корисних копалин. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Гірництво». – Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008. – 367 с.
9. Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А. Аспекты математической и горно-геометрической обработки данных качественной оценки железорудных месторождений // Качество минерального сырья: Сб. научных трудов. – Кривой Рог: ГВУЗ «КНУ», 2018. – С. 271–282.
10. Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А. Информационно-статистический и горно-геометрический анализ размещения показателей месторождения // Вісник Криворізького національного університету: збірник наук. праць. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2018. – Вип. 46. – С. 75-81.
11. Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А. Прогнозирование и много-факторная геометризация качественных показателей железорудных месторождений на основе эвристических методов // Вісник Криворізького національного університету: збірник наук. праць. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2016. – Вип. 41. – С. 165-170.
12. Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А. Геометризация качественных показателей месторождений и распределение пространственных переменных // Вісник Криворізького національного університету: збірник наук. праць. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2017. – Вип. 45. – С. 70-77.
13. Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А. Геометризация показателей качества и планирование добычи железорудных месторождений // Гірничий вісник: Респ. міжгалузевий науково-техн. сб. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ». – 2014. – Вип. 97 – С. 111 – 114.
14. Krige D.G. A review of development of geostatistics in South Africa // In: Advanced Geostatistics in the Mining Industry. Reidel, Dordrecht, Netherlands. 1976. P. 279-294.
15. Matheron G. Kriging or polynomial interpolation procedures. – CIMM Trans., 70. 1967. P. 240-244.
16. Matheron G. The intrinsic random functions and their applications. – Adv. Appl. Prob., 5. 1973. P. 439-468.

Рукопис подано до редакції 02.04.2019