

**Р.В. Соболевський, к.т.н., доц.
О.М. Толкач, аспір.**

Житомирський державний технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГЕОМЕТРИЗАЦІЇ ПЛАСТОВИХ РОДОВИЩ

Розглянуто методи геометризації покладів пластових родовищ корисних копалин та охарактеризовано їх особливості.

Вступ. У багатьох країнах світу гірничо-видобувна промисловість відіграє важливу роль у формуванні економіки. Подальша інтенсифікація розвитку паливно-енергетичного комплексу, чорної і кольорової металургії, хімічної та нафтохімічної промисловості, а також промисловості будівельних матеріалів буде забезпечуватись, головним чином, своєчасним розширенням спектра мінерально-сировинної бази, підвищенням ефективності та якості підготовки до освоєння розвіданих запасів корисних копалин. Перше десятиліття XXI століття характеризується достатньо різким збільшенням видобутку корисних копалин у всьому світі за рахунок науково-технічного прогресу в гірничо-видобувній промисловості. Є очевидним, що за таких темпів використання мінеральних ресурсів основну частку розвіданих запасів корисних копалин буде вичерпано із надр у період найближчих 30 років. Звісно, що часткового вирішення мінерально-сировинної проблеми можна досягнути завдяки науково-технічним досягненням, впровадження яких дозволить скоротити об'єм споживання сировини чи замінити певні її види менш дефіцитними. Проте основним способом задоволення потреб у сировині залишається розробка існуючих та пошук нових родовищ. Тому важливим завданням нашої та інших держав є розробка методів, що дають можливість отримати найбільш достовірні відомості про родовища з метою прийняття максимально ефективних рішень для їх розробки.

На вибір способів розробки та техніко-економічні показники роботи гірничих підприємств великий вплив мають форма родовища, його розміри й умови залягання корисної копалини. При цьому наявність достовірної інформації про родовище, його будову, характер розміщення корисних компонентів у покладі безпосередньо впливають на правильність прийняття рішень по зазначеним вище питанням. Основна частина завдань цього напрямку вирішується маркшейдерською та геологічною службами гірничого підприємства. Варто зазначити, що найважливішим інструментом вивчення описаної проблематики є геометризація родовищ, оскільки знання форм, елементів залягання та розміщення основних показників якості покладу мають винятково велике значення при виборі способу відпрацювання і розробці проекту раціональної експлуатації родовища.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основними формами покладів пірофілітової сировини є пласти та лінзи [1, 2]. Пірофілітові сланці Кур'янівського родовища залягають у вигляді покладу пластоподібної форми [3]. Тому варто провести аналіз досліджень та публікацій, присвячених геометризації пластових родовищ.

Засновником класичної школи геометрії надр є видатний вчений П.К. Соболевський. Його працями, а також працями П.М. Леонтовського та В.І. Баумана на початку XX століття закладено основи гірничої геометрії для математичного моделювання форм тіл корисних копалин. У подальшому П.К. Соболевським було розроблено геометричні (математичні) методи вивчення та вираження просторового розміщення геологічних показників. Також проф. П.К. Соболевським були розроблені теоретичні основи вивчення родовища на основі уявлень про надра як про сукупність геохімічних і геотектонічних полів. Характерним є те, що для вивчення таких полів ним був запропонований, як основний, метод ізоліній, який дає можливість виразити розміщення геологічної ознаки в просторі у будь-якому плоскому перетині.

Варто зазначити, що запропоновані П.К. Соболевським ідеї слугували теоретичною базою геометризації різноманітних родовищ корисних копалин: пластових осадових і жильних рудних, моно- та поліметалевих, розсипних, нафтових і газових та ін.

Подальший розвиток методика геометризації отримала в працях учнів П.К. Соболевського – П.О. Рижова, І.М. Ушакова [4], В.О. Букринського [5, 10], В.М. Гудкова [6], Д.І. Вілесова, О.О. Трофімова [7], К.Ф. Єрмолаєва, В.І. Кузьміна [8], В.М. Калініченко [9] та ін.

У праці В.М. Калініченко [9] було проаналізовано застосування математичного моделювання при геометризації родовищ і розроблено класифікацію математичних моделей розміщення показників родовища. В.О. Букринський, А.Б. Каждан та В.М. Гудков вперше використали апарат теорії випадкових функцій при дослідженні і виконанні геометризації, що дозволило математично (геометрично) охарактеризувати розміщення всієї сукупності показника за окремими реалізаціями. В свою чергу В.О. Букринський розробив і запропонував прогнозно-динамічний метод виявлення функцій розміщення показника для раціональної і більш ефективної відробки покладу. Аналіз літературних джерел показав, що

багато праць присвячено розробкам методики геометризації різних форм покладів корисних копалин, в свою чергу і пластових. Тому дослідження особливостей геометризації пластових родовищ дасть можливість вибрати або розробити найбільш оптимальну методику, яка найбільше буде адаптована для певного пластового родовища.

Викладення основного матеріалу. Геометризація родовища корисної копалини являє собою методику вивчення і зображення на кресленнях (картах, плакатах, розрізах, графіках та ін.) геологічних форм, умов їх залягання, властивостей речовини, що заповнює ці форми, і процесів, що відбуваються в надрах [10]. Основними методами вивчення та графічного зображення різних показників родовища є метод ізоліній [8] та метод геологічних розрізів і профілів. Також, при вивченні складних родовищ, додатково застосовуються методи об'ємних наочних графіків і метод моделювання.

Особливістю методу ізоліній є графічне зображення просторового розміщення різних якісних характеристик родовища, виражених числовими значеннями (рис. 1). При цьому ізолініями відображаються не тільки реальні поверхні, але й уявні, що не існують у природі. Достовірність зображення розміщення показників на планах в ізолініях залежить від змінності цього показника і умов отримання значень показника (щільності розвідувальних точок, розміру проб тощо).

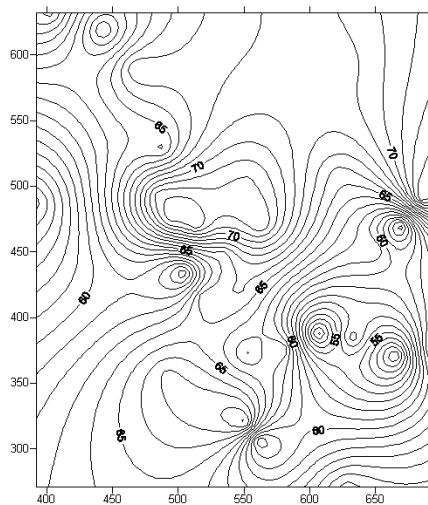


Рис. 1. План ізоліній вмісту SiO_2 (Кур'янівське родовище пірофілітових сланців)

П.К. Соболевський запропонував розглядати розміщення параметрів родовища як деяке геохімічне поле [10]. Для вивчення таких полів ним був запропонований як основний метод ізоліній, за допомогою якого можна виразити розміщення геологічної ознаки в просторі у будь-якому плоскому перетині. Геохімічне поле – це частина простору надр, що є сукупністю форм, властивостей і процесів, зв'язаних єдністю геологічного генезису. Якщо будь-яка властивість (а також форма або процес) у даному просторі надр може бути в будь-якій його точці (елементарному об'ємі) виражена числом, то значення цієї властивості можна розглядати як функцію від просторового положення точки (просторових координат центра елементарного об'єму) і часу:

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

В явному вигляді цю функцію в більшості випадків виразити не можна. Проте, якщо в межах даного простору надр ця функція властивості, що вивчається, задовольняє умови скінченності (функція має скінченний характер, тобто будь-яка властивість у кожній точці простору надр не може виражатися нескінченно великими числами), однозначності (чисельна характеристика будь-якої властивості простору надр в одній і тій же точці й для даного моменту часу не може мати одночасно два різні значення), безперервності (нескінченно малому приросту x, y, z буде відповідати нескінченно малий приріст числа, що характеризує функцію P , тобто з незначним переміщенням точки спостереження відповідно зберігається або трохи змінюється і кількісна характеристика даної властивості) і плавності (при переміщенні точки спостереження в будь-якому напрямі на нескінченно малу величину значення функції в межах простору змінюється плавно, не має різких стрибків), то закономірності зміни цієї властивості можуть бути виявлені за його окремими числовими значеннями й виражені геометрично. Якщо геохімічне поле володіє такими властивостями, то воно повинно мати шарувато-струменеву структуру. Тому виражені кількісно властивості геохімічного поля можуть бути сполучені в систему безперервних ізоперхонь, що не торкаються одна одної та не перетинаються між собою. Геометричне місце нормалей до названих поверхонь являє собою геохімічний потік. Будь-який плоский перетин

геохімічного поля призводить до системи непересічних ізоліній, тобто ліній однакових властивостей поля, які є топографічною поверхнею розміщення того або іншого параметра.

В.А. Букринський розрізняє три роди функцій розміщення параметрів [10]:

- функції, що виражають реальні поверхні (поверхня покрівлі, ґрунту, тектонічних порушень і т. д.);

- функції показників родовища, що виражають поверхні, реально в природі не існуючі, але які є похідними від реально існуючих поверхонь (ізопотужності покладу або товщі гірських порід, ізоглибини залягання і т. д.);

- функції, що виражають реально не існуючі поверхні (розміщення вмісту компонента, зміни фізичних, геомеханічних, гірничо-геологічних властивостей порід, тріщинуватості масиву і т. д.).

Топофункції 1-го і 2-го роду будуються за значеннями параметра, виміряного в окремих точках. Мінливості показника і щільності точок спостережень впливають на відтворення або точність реалізації функції. Топофункції 3-го роду встановлюються за середніми значеннями параметра в деякому об'ємі й є математичним очікуванням можливих реалізацій функції розміщення показника за даних умов дослідіу.

Метод ізоліній дає можливість встановити зв'язок структури з якісними показниками, наочно представити просторову модель родовища, об'єктивно оцінити дані розвідки, надати рекомендації щодо методів та прийомів подальших робіт за найбільш повним вивченням та відпрацюванню родовища. Тому він є найбільш універсальним [8].

Метод геологічних розрізів дає можливість із достатньою точністю виявити форму тіла корисної копалини та визначити його положення серед вмшуючих порід у будь-якому перетині. Вибір перетинів визначається формою та умовами залягання рудного тіла. Проте за допомогою розрізів іноді неможливо виявити характер зміни вмісту корисних компонентів, тому при геометризації родовищ метод геологічних розрізів доповнюють методом ізоліній.

Метод об'ємних графіків застосовується для наочного та об'ємного зображення геологічних структур. Графік представляється у вигляді блок-діаграм, які є аксонометричною (афінною, векторною) проекцією блоків ділянки чи всього родовища.

За допомогою методу об'ємного моделювання створюються моделі родовища на основі результатів геометризації, виконаної шляхом методів ізоліній, геологічних розрізів і об'ємних графіків. В свою чергу застосування цього методу дає можливість наочно зобразити форму покладу корисної копалини, вмшуючих порід, тектонічних зрушень, розміщення компонентів і розвіданості родовища.

При розвідці й розробці родовищ корисних копалин важливе значення має встановлення форм, розмірів, положення в надрах покладів корисних копалин і гірничо-геологічних умов їх розробки в межах границь поля розрізу [11]. Ці питання розглядає структурна геометризація, яка дає можливість правильно вирішувати завдання геологорозвідки та гірничої справи.

Розмір, форма і положення пласта в надрах визначаються сукупністю лінійних і кутових величин, що називають геометричними параметрами (рис. 2). До них відносяться:

- координати точок на контактах пласта з вмшуючими породами, в яких встановлюються геометричні параметри;

- простягання і кут падіння поверхні (контакту) пласта;

- потужність покладу;

- глибина залягання;

- положення в просторі елементів симетрії геологічної структури, що вивчається.

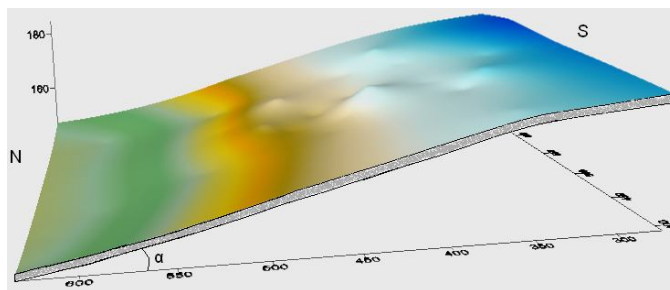


Рис. 2. Об'ємне зображення пластоподібного покладу корисної копалини

Форму покладу корисної копалини в надрах визначають поверхні розмежування останньої від вмшуючих її бічних гірських порід. Такими поверхнями можуть бути поверхні висячого і лежачого боку, тектонічних розривів, що в загальному випадку є поверхнями топографічного виду. На плані їх відображають геометричними графіками – гіпсометричними планами. Ці плани дають можливість визначати елементи залягання пласта в будь-якій його точці. Складання проекту розкриття родовища та

вибір напрямків капітальних підготовчих гірничих виробок проводиться шляхом використання гіпсометричних планів. Для пластових родовищ підрахунок запасів за категоріями розвіданості і вивченості виконують по гіпсометричним планам поверхні підосви пласта та структурним колонкам покладу.

Координати x , y , z на поверхні покладу визначаються за результатами маркшейдерських зйомок, замірів та інклінометричної зйомки свердловин.

Геометризація потужності покладу корисної копалини здійснюється побудовою планів ізопотужності, що використовуються при плануванні об'ємів гірничих робіт, видобуванні й втрат при розробці пласта та вирішенні ряду інших питань розробки родовища.

Залежно від умов залягання пластових покладів будують плани нормальних, вертикальних та горизонтальних ізопотужностей. Для даного типу родовищ між нормальною, вертикальною та горизонтальною потужностями в точці вимірювання є такі співвідношення:

$$m_a = \frac{m}{\cos \alpha} = m \sec \alpha, \quad (2)$$

$$m_a = \frac{m}{\sin \alpha} = m \operatorname{cosec} \alpha, \quad (3)$$

де m_v – вертикальна потужність покладу; α – кут падіння покладу; m – нормальна потужність; m_h – горизонтальна потужність.

Після геометризації структури виконують геометризацію розміщення фізичних та хімічних властивостей покладу. При цьому будують плани ізоліній якісних особливостей корисної копалини і вміщуючих порід та дають геометричну картину зміни цих особливостей у покладі. Плани ізовмісту якісних показників використовують для оконтурювання промислових ділянок родовища, при підрахунку запасів, вибору найбільш економічного способу розкриття родовища, при плануванні гірничих робіт та проведенні селективної розробки покладу. На вугільних родовищах до таких планів відносять, наприклад, плани ізоліній зольності вугілля або ізолінії вмісту сірки (коксове вугілля). В свою чергу, на залізородних родовищах складають плани ізоліній вмісту фосфору та сірки в руді. Щодо родовищ пірофілітової сировини, то основними показниками її якості є вміст SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , CaO , MgO , а також такі фізичні параметри як вологість, ВПГ (втрати при гартуванні), вогнетривкість. Тому побудову планів ізоліній вмісту можна виконувати на основі саме цих параметрів.

Варто також зазначити, що загальний аналіз структурних планів та планів ізоліній середнього вмісту корисних компонентів шляхом їхнього суміщення і знаходження коефіцієнтів кореляції дає можливість встановлювати закономірності розподілу показників якості в покладі корисної копалини. Такі закономірності в подальшому можуть бути використані при розвідці та підрахунку запасів покладу, а також експлуатації родовищ при плануванні видобування із заданим вмістом корисних та шкідливих компонентів, проектуванні залишення ціликів на бідних ділянках родовища. Важливим при цьому є кількість вихідних геологорозвідувальних даних та рівномірність взяття інформації на ділянці родовища, що досліджується.



Рис. 3. Узагальнена схема геометризації

Взагалі при розвідці родовища опробування проводиться в окремих точках, в яких фіксуються основні показники, між розвідувальними лініями залишаються нерозвідані ділянки. Ці ділянки є зонами невизначеності. Результати опробування пласта геологорозвідувальними свердловинами слід розглядати як систему нерівномірно розміщених даних, в якій є вікна пропуску інформації і нерівність покриття даними опробування пласта [12]. Неоднорідність опробування по площі, змінний характер розподілу величин значень показників при формуванні уявлення про пласт потребують застосування різних методів створення топографічних поверхонь. Розміщення даних опробування в межах дослідної ділянки родовища впливає на форму топографічної поверхні [12]. Для найбільш достовірного представлення просторового розміщення, внутрішньої структури та розподілу якісних показників родовища застосовують методи прогнозування, які є складовою комплексної геометризації родовища. Саме прогноз розміщення показників родовищ, їх внутрішньої будови, практичне значення вмісту в них ресурсів корисної копалини є найбільш важливою кінцевою метою гірничо-геометричного вивчення надр.

Дослідження закономірностей розподілу показників якості можна виконувати без збільшення об'єму геологорозвідувальних даних на основі математичних методів геометризації, за допомогою яких можна виконати найбільш точне прогнозування. При побудові планів із вмісту з використанням ГІС-технологій інтерполяцію та екстраполяцію здійснюють, застосовуючи математичний апарат.

У праці [13] автором запропоновано узагальнену схему геометризації (рис. 3). На схемі наочно видно нерозривність взаємозв'язку методів геометризації й прогнозування, що ґрунтуються на однаковому підході до обробки вихідної інформації, а також вони є основою для вирішення виробничих питань із раціональної розвідки і відпрацюванні родовища.

Зваживши на зазначене вище, процес геометризації можна поділити на декілька етапів:

1. Збір та первинна обробка вихідної геолого-маркшейдерської та технолого-економічної інформації.
2. Створення графоаналітичної моделі родовища з метою:
 - а) встановлення залежностей між різними показниками, що характеризують родовище;

- б) складання графічної документації, що ілюструє закономірності й залежності;
- в) виявлення просторового розміщення показників родовища.

3. Розробка практичних рекомендацій на основі результатів геометризації.

На стадії обробки геологорозвідувальних даних утворюються структурно-однорідні поверхні, що дають можливість робити підрахунок запасів із розділенням за категоріями. Основною одиницею інформації для обліку запасів пласта є фігура підрахунку запасів.

Висновки. Проаналізувавши викладене вище, можна зробити висновок, що найбільш універсальним методом геометризації є метод ізоліній, застосування якого можливе при геометризації форм, умов залягання, розміщення покладу в надрах, розміщення якісних властивостей покладу. При достатньо однорідній будові пласта можна проводити дослідження закономірностей розподілу показників якості без збільшення об'єму геологорозвідувальних даних на основі математичних методів геометризації. Очевидно, що найбільш повну уяву про родовище, просторове розміщення його форм, властивостей, корисних та шкідливих домішок можна отримати лише при застосуванні комплексної геометризації, що дозволить якісно дослідити закономірності будови та розміщення різних фізико-хімічних показників родовища. Варто також зазначити, що при кінцевому етапі геометризації точність оконтурення покладу, розбиття його на технологічні зони та підрахунок запасів залежать саме від якості складових комплексної геометризації (структурної геометризації, геометризації якісних показників).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Зайков В.В. Месторождения пиррофиллитового сырья / В.В. Зайков, В.Н. Удачин, И.В. Синяковская // Изв. АН СССР, Сер. Геол. – 1988. – № 2. – С. 93–106.
2. Зайков В.В. Пиррофиллитовое сырье палеовулканических областей / В.В. Зайков, Г.Г. Кораблев, В.Н. Судагин. – М. : Наука, 1989. – 228 с.
3. Лукашенко Н.Г. Переоценка запасов пиррофиллитового сланца Курьяновского месторождения. Ч. I / Н.Г. Лукашенко. – Володарск-Волынский: Геолого-разведочная экспедиция, 1990. – 167 с.
4. Ушаков И.Н. Горная геометрия / И.Н. Ушаков. – М. : Недра, 1979. – 440 с.
5. Букринский В.А. Геометризация месторождений полезных ископаемых / В.А. Букринский, Ю.В. Коробченко. – М. : Недра, 1977. – 376 с.
6. Гудков В.М. Прогноз и планирование качества полезного ископаемого / В.М. Гудков, А.А. Васильев, К.П. Николаев. – М. : Недра, 1976. – 190 с.
7. Трофимов А.А. Основы маркшейдерского дела и геометризации недр / А.А. Трофимов. – М. : Недра, 1970. – 363 с.
8. Кузьмин В.И. Геометризация и подсчет запасов месторождений твердых полезных ископаемых / В.И. Кузьмин. – М. : Недра, 1967. – 242 с.
9. Калиниченко В.М. Математическое моделирование и прогноз показателей месторождений : справочник / В.М. Калиниченко. – М. : Недра, 1993. – 319 с.
10. Букринский В.А. Геометрия недр : учеб. для вузов / В.А. Букринский. – М. : Недра, 1985. – 526 с.
11. Панасюк А.В. Геометризация якісних показників розсіпних родовищ ільменітових руд на основі об'ємного моделювання / А.В. Панасюк, М.Е. Башинська, А.В. Лисенко // Вісник ЖДТУ. – 2010. – № 4 (55). – С. 121–125.
12. Букринский В.А. Вопросы геометризации физико-технических и горно-геологических показателей месторождения для моделирования на ЦВМ : учебн. пособие / В.А. Букринский. – М. : Московский институт радиозлектроники и горной электромеханики, 1966. – 127 с.
13. Сученко В.Н. Классификация методов прогнозирования при геометризации месторождений / В.Н. Сученко. – ГИАБ, 2003. – № 5. – С. 76–78.

СОБОЛЕВСЬКИЙ Руслан Вадимович – кандидат технічних наук, доцент, заступник завідувача кафедри маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- маркшейдерія;
- технологія видобування декоративного каменю.

ТОЛКАЧ Олександр Миколайович – аспірант кафедри геотехнологій ім. проф. М.Т. Бакка Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- маркшейдерія;
- технологія видобування корисних копалин.

Подано 21.09.2011

