

Толкач О.М., аспірант (Житомирський державний технологічний університет)

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОАЛЬНОГО МЕТОДУ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИХ ДАНИХ НА ОСНОВІ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОЦІНКИ ЇХ РОЗПОДІЛУ

Проведено оцінку розподілу вихідних геологорозвідувальних даних Кур'янівського родовища пірофілітових сланців шляхом статистичного аналізу та обґрунтовано раціональний метод їхньої інтерполяції.

Ключові слова: пірофілітові сланці, статистичний аналіз, методи інтерполяції.

Проведена оценка распределения выходных геологоразведочных данных Курьяновского месторождения пиррофилитовых сланцев путем статистического анализа и обосновано рациональный метод их интерполяции.

Ключевые слова: пиррофилитовые сланцы, статистический анализ, методы интерполяции.

An initial assessment of the distribution of geological data Kur'yaniv schist deposits by statistical analysis and reasonably rational method of interpolation.

Keywords: pyrophyllite schists, statistical analysis, methods of interpolation.

Вступ. Кур'янівське родовище пірофілітових сланців розміщене на крайньому північному заході Українського кристалічного щита (Житомирська обл., Овруцький р-н). В результаті проведених геологорозвідувальних робіт запаси родовища було поділено на категорії В, С₁ та С₂. У зв'язку з малою щільністю пробурених геологорозвідувальних свердловин (ГРС) запаси категорій С₁ та С₂ є недостатньо вивченими і складають 76% від загальних [1]. Попередньо проведений візуальний аналіз просторового розміщення ГРС Кур'янівського родовища пірофілітових сланців показав, що, окрім їх невеликої щільності, вони розподілені на ділянці відносно нерівномірно. Відповідно кількість вихідних даних ГРС в умовах родовища є обмеженою, тому одними із критеріїв геометризації даної ділянки родовища можуть бути оцінка рівномірності розподілу даних та вибір такого методу обробки даних, при якому точність візуалізації вихідної інформації була б найкращою.

Вивчення розподілу точок на двохвимірній поверхні або карті є одним із розповсюджених геолого-маркшейдерських завдань [2]. Зазвичай, ці точки відповідають місцям відбору проб, отримання спостережень або можуть бути точками проєкції. При цьому задача може полягати у вивченні однорідності

розподілу точок спостереження, щільності їх розподілу або у вивченні зв'язку точок між собою. Існуючі схеми розміщення точок на картах розділяють на три категорії: рівномірні, випадкові та групові [2]. В свою чергу рівномірність розподілу точок є важливою умовою, необхідною для використання багатьох видів аналізу, в тому числі аналізу поверхонь тренда. Достовірність карти знаходиться в прямій залежності від щільності та рівномірності розподілу точок спостереження.

Аналіз останніх досліджень. В геолого-маркшейдерських дослідженнях використання методів статистичного аналізу, як основи алгоритму багатьох ГІС-технологій, з роками набуває все більшого значення. Критерії, що застосовуються для визначення рівномірності розподілу, розглянуті в основному в працях західноєвропейських вчених –King С. А. [3], Cole J. P. [4] та Hagget T. [5].

Викладення матеріалу та результати. В даній роботі оцінка рівномірності та випадковості розподілу даних виконувались за допомогою методів статистичного аналізу, критерії яких основані на теорії імовірності та математичній статистиці. На першому етапі було проведено оцінку рівномірності розподілу точок вихідних геологорозвідувальних даних Кур'янівського родовища пірофілітових сланців (рис. 1) [1]. Всю карту можна розділити на множини ділянок рівного розміру так, що кожна ділянка буде вмещувати певну кількість точок. Якщо точки спостереження розміщені рівномірно, то слід очікувати, що кожна ділянка буде мати одну і ту ж кількість точок. Тому для досягнення поставленої мети виникає необхідність у перевірці гіпотези про відсутність суттєвих розбіжностей в кількості точок для кожної ділянки. Цю гіпотезу можна перевірити за допомогою критерію χ^2 , котрий теоретично не залежить від форми та орієнтування ділянок [2].

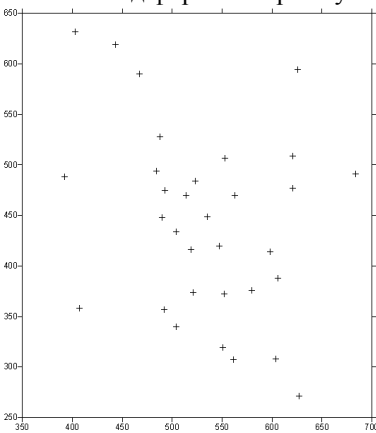


Рис. 1

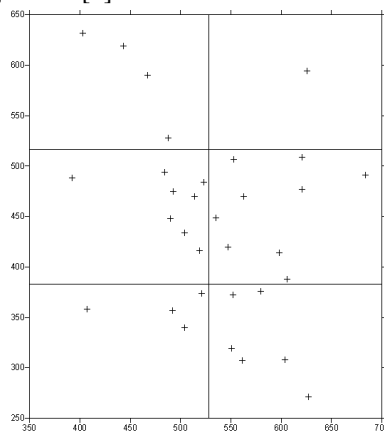


Рис. 2

Для цього карту (рис. 1) було поділено на шість ділянок рівного розміру (рис. 2). При цьому кількість ділянок вибиралась з позиції найбільшої ефективності критерію χ^2 , при якій необхідно мати якомога більшу кількість ділянок за умови, що всі ділянки в середньому містять не менше п'яти точок. Очікувана кількість точок для кожної ділянки буде рівною

$$E = \frac{r_{заг}}{m_{\partial}} = \frac{32}{6} = 5,33, \quad (1)$$

де $r_{заг}$ – загальна кількість точок спостереження; m_{∂} – кількість ділянок.

Критерій χ^2 для перевірки гіпотези про рівномірний розподіл точок визначається наступним чином [1]:

$$\sum_{i=1}^m \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}, \quad (2)$$

де O_i – спостережена кількість точок на ділянці з номером i ; E_i – очікувана кількість точок для кожної ділянки.

В табл. 1 наведено отримані значення кількості точок для кожної з ділянок, а також обраховано критерій χ^2 . Критерію χ^2 відповідає $\nu = m - 2$ степеня вільності, де m – кількість ділянок.

Таблиця 1

Кількість свердловин на 6 ділянках карти Кур'янівського родовища пірофілітових сланців

Спостережена кількість точок	$\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
4	0,33
1	3,52
8	1,34
9	2,53
4	0,33
6	0,08
Сума 32	$\chi^2=8,13$

Оскільки ступінь свободи в нашому випадку $\nu = 4$, то критичне значення χ^2 , що відповідає 5%-му рівню значущості, рівне 9,49 [2]. Підраховане значення критерію рівне 8,13 і не перевищує 9,49, що дає можливість зробити висновок про те, що розподіл точок наближений більше до рівномірного, ніж до випадкового. Очевидно, що цей висновок стосується однорідності розподілу точок по ділянкам певного розміру. Цілком можливо, що при деяких інших розмірах ділянок, особливо менших від вибраних, гіпотеза про рівномірність буде відхилена.

На другому етапі статистичного аналізу виконувалась перевірка гіпотези про випадковість розподілу геологорозвідувальних свердловин на досліджуваній ділянці Кур'янівського родовища пірофілітових сланців. Для цього ділянку родовища було поділено на 30 рівних частин (рис. 3). При цьому їх кількість вибиралась наближеною до кількості свердловин.

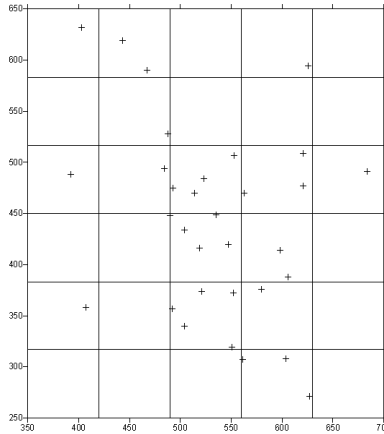


Рис. 3. Поділ родовища на ділянки при перевірці гіпотези про випадковість розподілу ГРС

Оскільки на ділянці є 32 свердловини, то їх середня кількість на одну частину рівна

$$m/T = 32/30 = 1,07. \tag{3}$$

Було підраховано кількість ділянок на карті, котрі не містять жодної свердловини, містять в точності одну, дві, три, чотири та п'ять (табл. 2). Також було підраховано математичні очікування ділянок, котрі містять ту ж саму кількість свердловин.

Маючи усі необхідні дані, значення критерію χ^2 буде наступним

$$\chi^2 = \frac{(14 - 10,3)^2}{10,3} + \frac{(9 - 11)^2}{11} + \frac{(2 - 5,9)^2}{5,9} + \frac{(2 - 0,6)^2}{0,6} + \frac{(5 - 2,8)^2}{2,8} = 9,27. \tag{4}$$

Перевірена статистика має $s - 2$ ступені свободи, де s – кількість категорій. Відповідно $\nu = 3$. Тоді критичне значення χ^2 за рівнем значущості 0,05 складає 7,81 [2]. Перевірочна статистика перевищує ці значення, тому гіпотеза про рівність між спостереженим та очікуваним розподілами не є справедливою, а це в свою чергу говорить про те, що модель Пуассона є неправомірною. Останнє дає підставу говорити про те, що свердловини на досліджуваній ділянці Кур'янівського родовища пірофілітових сланців розподілені не випадково.

Визначення оптимального методу інтерполяції геологорозвідувальних даних Кур'янівського родовища пірофілітових сланців, як одного із критеріїв геометризації, здійснювалось шляхом дослідження стійкості методів до зменшення початкової інформації. Для виконання поставленого завдання було використано вихідні дані із каталогу координат розвідувальних свердловин ділянки Кур'янівського родовища пірофілітових сланців. Дослідження виконувалось за допомогою програмного забезпечення Surfer 8, що дає можливість візуалізувати інформацію, яка є функцією двох координат.

Таблиця 2

Підрахунок очікуваної кількості ділянок, що містять г свердловин на основі розподілу Пуассона

Кількість свердловин на ділянку (г)	Рівняння Пуассона	Ймовірність того, що ділянка містить г свердловин	Кількість ділянок	
			Очікувана	Спостережена
0	$P_{(0)} = e^{(-1,07)} \cdot 1,07^0 / 0!$	0,3430	10,3	14
1	$P_{(1)} = e^{(-1,07)} \cdot 1,07^1 / 1!$	0,3670	11,0	9
2	$P_{(2)} = e^{(-1,07)} \cdot 1,07^2 / 2!$	0,1964	5,9	2
3	$P_{(3)} = e^{(-1,07)} \cdot 1,07^3 / 3!$	0,0700	2,1	2
4	$P_{(4)} = e^{(-1,07)} \cdot 1,07^4 / 4!$	0,0167	0,6	2
5	$P_{(5)} = e^{(-1,07)} \cdot 1,07^5 / 5!$	0,0040	0,1	1
Сума		0,9971	30	30

Методика дослідження полягає в побудові планів ізовмісту оксиду кремнію SiO₂, за попередньо відібраними методами інтерполяції. При цьому кожним методом було побудовано по чотири плани на основі 100, 82, 65, 53% від кількості вихідних даних. Порядок зменшення кількості даних був зорієнтований саме на розрідження геологорозвідувальної сітки. Отримані ізоповітряні порівнювались із вихідними, побудованими при 100% даних, та аналізувались.

В якості вихідних даних програма Surfer використовує координати точок і альтитуди поверхні, що описується. При цьому кількість і розміщення даних можуть бути довільними. Програма перераховує ці дані на значення заданої прямокутної сітки. Для цього пропонується ряд альтернативних методів інтерполяції:

- Inverse Distance to a Power (Степінь зворотної відстані);
- Kriging (Метод Кпіре);
- Minimum Curvature (Метод найменшої кривизни);
- Radial Basis Function (Радіальні базові функції);
- Modified Shepard's Method (Модифікований метод Шепарда);

- Triangulation with Liner Interpolation (Лінійна інтерполяція, метод трикутників);

- Polynomial Regression (Поліноміальна регресія).

Порівняльний аналіз методів інтерполяції показав, що методи *Krige* (*Kriging*) та *Радіальні базові функції* (*Radial Basis Function*) найбільше задовольняють умовам вихідних геологорозвідувальних даних ділянки Кур'янівського родовища пірофілітових сланців. Зазначені методи найкраще підходять для роботи із малою кількістю нерівномірно розподілених даних, тому в дослідженнях було використано саме алгоритми інтерполяції цих методів.

В якості тестового прикладу було задано цифрову модель ділянки поля об'ємом 100x84 точок, побудовану по рівномірній квадратній сітці. Вихідний масив, побудований при 100% даних за алгоритмом кожного методу інтерполяції, являв собою основу створення трьох допоміжних масивів, що характеризуються зменшенням вихідної інформації на 18%, 35% та 47%.

Для цих масивів було побудовано карти за досліджуваними методами - *kriging* (метод *Krige*) та *radial basis function* (радіальних базових функцій) при незмінному об'ємі інтерполяційної сітки. Результати побудов представлено на рис. 4 та рис. 5.

В результаті візуального спостереження було виявлено, що обидва методи є відносно стійкими. Проте метод *Krige* показав більшу стійкість за аномальними зонами.

Для кількісної оцінки стійкості методів інтерполяції до зменшення об'єму інформації було обраховано середньоквадратичне відхилення інтерполяційного значення (при поступовому зменшенні кількості даних) від еталонного (при 100% даних) за формулою

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{N}}, \quad (5)$$

де Δ – різниця значення еталонного поля (при 100% даних) у вузлах сітки і допоміжного поля (при 82, 65 та 53% даних) у вузлах розрахункової сітки; N – кількість вузлів сітки.

Результати відхилень було зведено в табл. 3.

Таблиця 3

Зміна середньоквадратичної похибки в залежності від кількості вихідних даних і методу інтерполяції

Об'єм моделі, %	Метод побудови	
	<i>Krige</i>	Радіальні базові функції
82	1,61	1,63
65	2,74	3,04
53	3,01	3,25

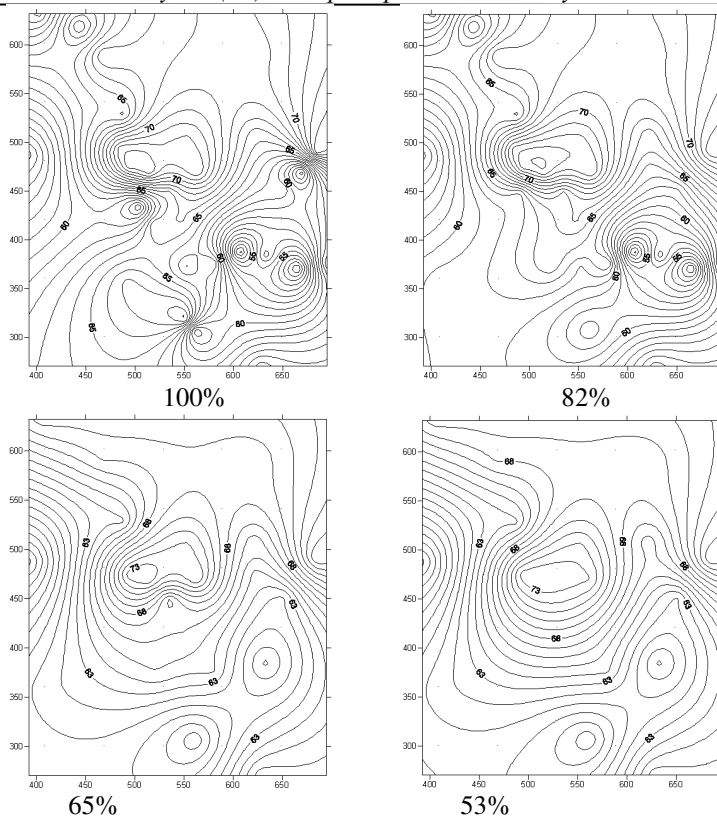


Рис. 4. Карта ізовмісту оксиду кремнію SiO_2 отримана за допомогою метода Кріге

Аналіз даних наведених в таблиці 3 показав, що метод Кріге характеризується порівняно меншими значеннями середніх квадратичних похибок і більш рівномірним їх зростанням зі зменшенням кількості вихідних даних.

Висновки. Таким чином, в даній роботі було виконано оцінку рівномірності розподілу даних та досліджено стійкість методів інтерполяції геологорозвідувальних даних до зменшення об'єму початкової інформації за графічним та статистичним аналізами. Дослідженнями було встановлено, що розміщення вихідних геологорозвідувальних даних Кур'янівського родовища пірофілітових сланців наближене до рівномірного. Це дає можливість проводити геометризацию родовища на основі даних, які є в наявності. При цьому, як було встановлено, оптимальним методом інтерполяції на базі програмного забезпечення Surfer в умовах вихідних даних досліджуваного родовища пірофілітових сланців є метод Кріге. Очевидно, що зменшення кількості точок веде до спотворення конфігурацій ізоліній, проте загальний характер поля (положення екстремумів, їх інтенсивність, положення осей аномальних зон) збері-

гається (або спотворюється в незначній мірі). Дані дослідження можуть бути використані в якості одних із основних критеріїв геометризації ділянки Кур'янівського родовища пірофілітових сланців.

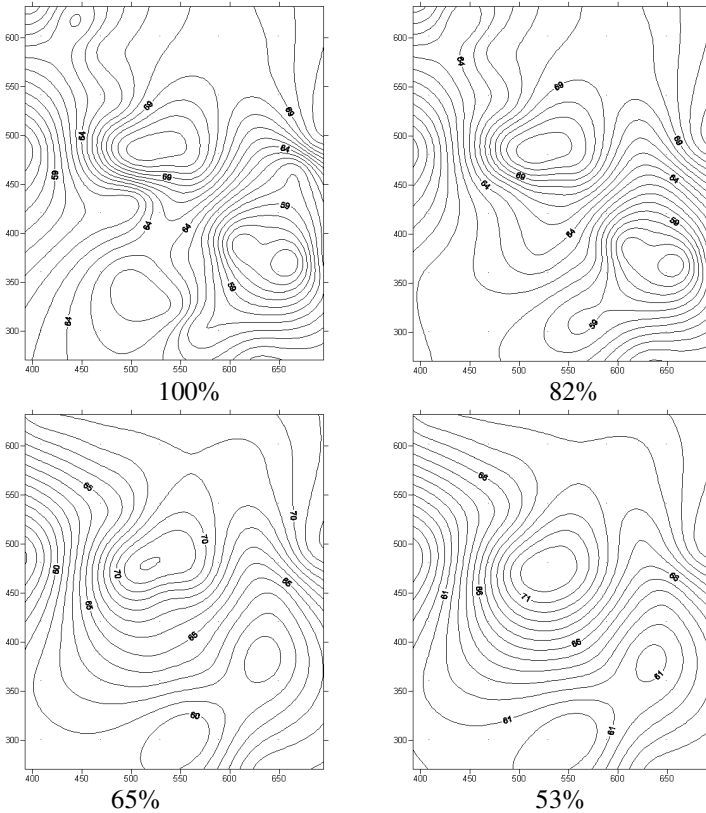


Рис. 5. Карта ізовмісту оксиду кремнію SiO_2 отримана за допомогою метода Radial basis function (радіальних базових функцій)

1. Лукашенко Н. Г. Переоценка запасов пиррофиллитового сланца Курьяновского месторождения (1 ч.). – Володарск-Волынский : Геолого-разведочная экспедиция, 1990. – 167 с. 2. Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии: пер. с англ. – В. 2 кн. – М. : Недра, 1990. – Кн. 2. – 427 с.: ил. 3. King L. J. Statistical analysis in geography. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1969, 288 p. 4. Cole J. P., King C. A. M. Quantitative geography. – John Wiley and Sons. Inc., New York, 1962. – 692 p. 5. Hagget T., Clif A. D., Frey A. Locational analysis in human geography. – 2nd ed. – John Wiley and Sons, Inc., New York, 1977. – 605 p.

Рецензент: д.т.н., професор Підвисоцький В.Т.