

О.М. Толкач, аспір.  
Р.В. Соболевський, к.т.н., доц.  
Житомирський державний технологічний університет

## ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИХ ДАНИХ НА БАЗІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ SURFER

*Проведено дослідження стійкості методів інтерполяції вихідних геологорозвідувальних даних в умовах Кур'янівського родовища пірофілітових сланців до зменшення об'єму початкової інформації з метою вибору оптимального алгоритму інтерполяції.*

**Постановка проблеми та її актуальність.** Для прискорення і підвищення ефективності процедури прийняття рішення, забезпечення відповідей на запити і функції аналізу просторових даних, представлення результатів аналізу в наочному і зручному для сприйняття вигляді використовуються сучасні засоби, так звані ГІС – географічні інформаційні системи [1]. ГІС-технології поєднують традиційні операції при роботі з базами даних, такі, як запит і статистичний аналіз, із перевагами повноцінної візуалізації та графічного (просторового) аналізу, що надає цифрова карта [2]. Саме ці можливості відрізняють ГІС від інших інформаційних систем і забезпечують унікальні можливості для їх застосування в широкому спектрі завдань, пов'язаних з аналізом і прогнозом явищ і подій, виділення головних факторів і причин [1].

Свого призначення ГІС набули і в гірничій промисловості, особливо при вирішенні геолого-маркшейдерських задач: при розвідці родовищ корисних копалин, підрахунку об'ємів запасів родовища, трьохвимірному моделюванні, прогнозуванні якісних показників покладів різної мінеральної сировини. Прикладом такого пакета ГІС є програма Surfer. У ній кожна задача, в залежності від кількості та просторового розміщення вихідних даних, може бути вирішена за допомогою різних методів інтерполяції, що входять в програмний пакет. Кожний із методів має свій алгоритм обробки та візуалізації даних, що і визначає точність створеної математичної моделі Кур'янівського родовища пірофілітових сланців.

У результаті проведених геологорозвідувальних робіт запаси Кур'янівського родовища було поділено на категорії: В, С<sub>1</sub> та С<sub>2</sub>. При цьому запаси категорій С<sub>1</sub> та С<sub>2</sub> є мало вивченими, в зв'язку з малою щільністю пробурених геологорозвідувальних свердловин, і складають 76 % від загальних. Також оконтурення запасів цих категорій виконувалось нерівномірно розміщеними свердловинами [3]. Кількість вихідних даних в умовах досліджуваного родовища є обмеженою, а їх просторове розміщення – нерівномірним. Відповідно, одним із основних критеріїв геометризації даної ділянки родовища є вибір такого методу обробки даних, при якому точність візуалізації вихідної інформації була б найкращою. Тому обґрунтування оптимального методу інтерполяції геологорозвідувальних даних є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основи математичного моделювання родовищ були закладені всередині 20 століття В.М. Крейтером [4], Д.Кріге [5], Ж.Матероном [6], М.Давідом [7] та ін. У більшості цих робіт вміст металу в будь-якому об'ємі надр розглядався як випадкова величина, що до проведення детального випробування може бути оцінена лише з певною ймовірністю. При цьому можна задати розподілення ймовірностей, що відповідають різним за величиною значенням цього вмісту, а величину об'єму прийняти різною – від об'єму проби до об'єму блока та ін. Для об'ємів, що відповідають розмірам проб Д.Кріге, був розроблений метод оцінки вмісту в даній точці шляхом усереднення вмісту в найближчих усереднених точках відбору проб із вагами, що зменшуються зі збільшенням відстані від точки, що розглядається. Для застосування даного методу необхідно, в першу чергу, за даними випробування оцінити кореляційну функцію. Від коректності її оцінки залежить точність підрахунку запасів. У зв'язку з цим були розглянуті (Ж.Матерон, Де Війс, Д.Мишель) питання зміни цих функцій залежно від геометрії проб, орієнтації ліній випробування по відношенню до рудного тіла та ін. Детально питання про вплив геометрії проб на вигляд цих функцій вивчався Де Війсом [7]. Він запропонував емпіричні формули для врахування такого впливу, але ефективність їх використання неоднозначна. Однозначного вирішення ці питання не мають, а зазначені проблеми залишаються невирішеними і до сьогодні.

**Мета статті.** Визначити оптимальний метод інтерполяції геологорозвідувальних даних Кур'янівського родовища пірофілітових сланців на базі програмного забезпечення Surfer шляхом дослідження стійкості методів до зменшення початкової інформації.

**Викладення основного матеріалу.** Для виконання поставленого завдання в даній роботі було використано вихідні дані із каталогу координат розвідувальних свердловин ділянки Кур'янівського

родовища пірофілітових сланців [3]. Дослідження виконувалось за допомогою програмного забезпечення Surfer 8, що дає можливість візуалізувати інформацію, що є функцією двох координат [4].

Методика дослідження полягає в побудові планів ізовмісту оксиду кремнію  $\text{SiO}_2$ , за попередньо відібраними методами інтерполяції. При цьому за 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 ізоповерхні 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 (табл. 1) [4].

Таблиця 2

## Порівняльний аналіз методів інтерполяції

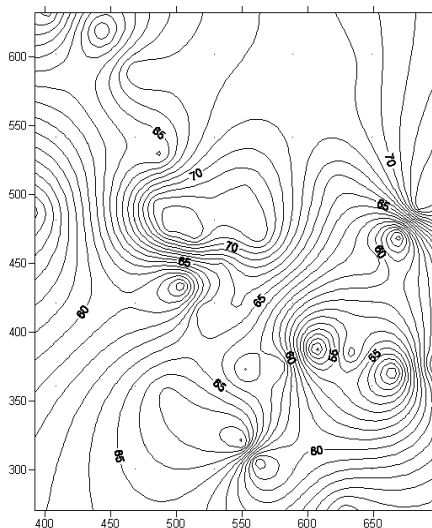
№ з/п	Метод	Особливості методу
1	Inverse Distance to a Power (Степень зворотньої відстані)	Метод оснований на обрахунках вагових коефіцієнтів, за допомогою яких вимірюються значення експериментальних z-значень в точках спостережень при побудові інтерполяційної функції. Цей метод не може згенерувати значення, що виходять за межі діапазону вихідних даних
2	Kriging (Метод Криге)	Даний метод є найбільш гнучким точним інтерполятором і для більшості експериментальних даних – найбільш ефективним, за рахунок екстраполяції трендів даних
3	Minimum Curvature (Метод найменшої кривизни)	Цей метод генерує найбільш гладку поверхню, котра проходить настільки близько до експериментальних точок, наскільки це можливо, але ці експериментальні точки не обов'язково належать інтерполяційній поверхні
4	Radial Basis Function (Радіальні базові функції)	Метод є достатньо точним інтерполятором, особливо з точки зору побудови гладкої поверхні, що проходить через експериментальні точки. Інтерполяційна функція в точках спостереження співпадає в точності із заданими значеннями
5	Modified Shepard's Method (Модифікований метод Шепарда)	Метод подібний Методу Степені зворотних відстаней. Відмінність полягає в тому, що при побудові інтерполяційної функції в локальних областях використовується метод найменших квадратів
6	Triangulation with Linear Interpolation (Лінійна інтерполяція, метод трикутників)	Цей метод є точним інтерполяційним методом, оскільки вихідні точки даних використовуються для побудови трикутників і, відповідно, належать інтерполяційній функції. Найкраще метод працює у випадку рівномірно розподілених експериментальних даних, кількістю від 200 до 1000 точок в досліджуваній області
7	Polinomial Regression (Поліноміальна регресія)	Даний метод використовується для виділення великих трендів і структур в даних. Він не є точним інтерполятором, оскільки згенерована поверхня не проходить через експериментальні точки

Проаналізувавши особливості кожного із методів (табл. 2), було виявлено, 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.

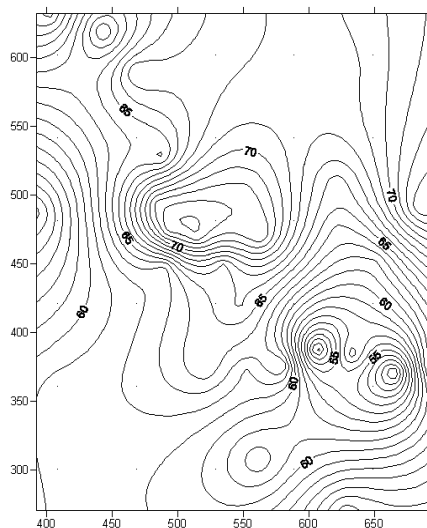
В якості тестового прикладу було задано цифрову модель ділянки поля об'ємом 100 x 84 точок, побудовану по рівномірній квадратній сітці. Вихідний масив, побудований при 100 % даних за алгоритмом кожного методу інтерполяції, являв собою основу створення трьох допоміжних масивів, що характеризуються зменшенням 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 рисунках 1 та 2.

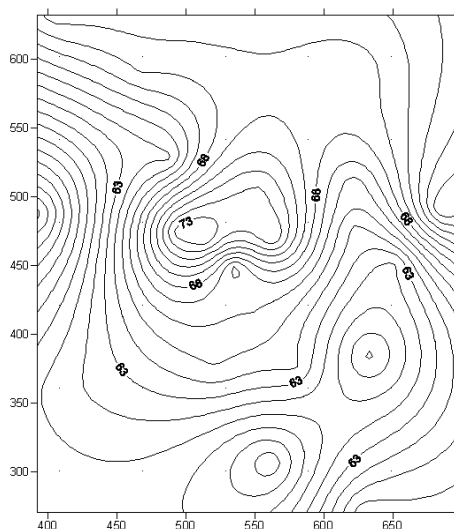
В результаті візуального спостереження було виявлено, що обидва методи є відносно стійкими. Проте метод *Krige* показав більшу стійкість за аномальними зонами.



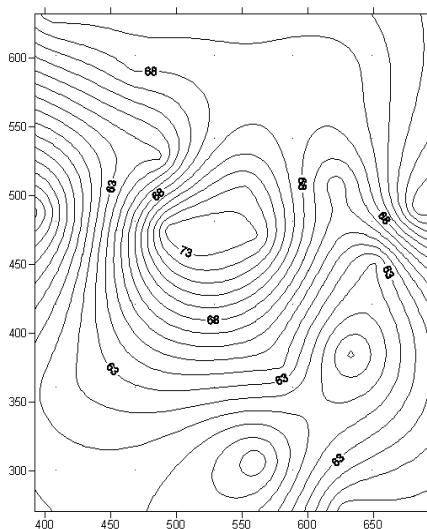
100 %



82 %

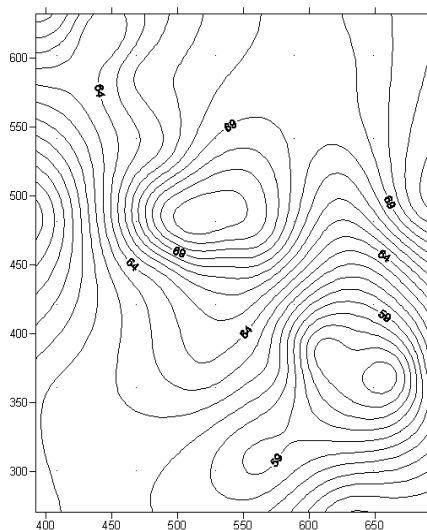
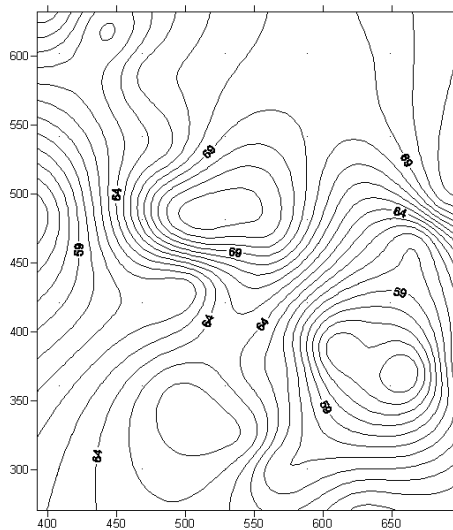


65 %



53 %

Рис. 1. Карта ізовмісту оксиду кремнію  $\text{SiO}_2$ ,  
що отримана за допомогою методу Кріге



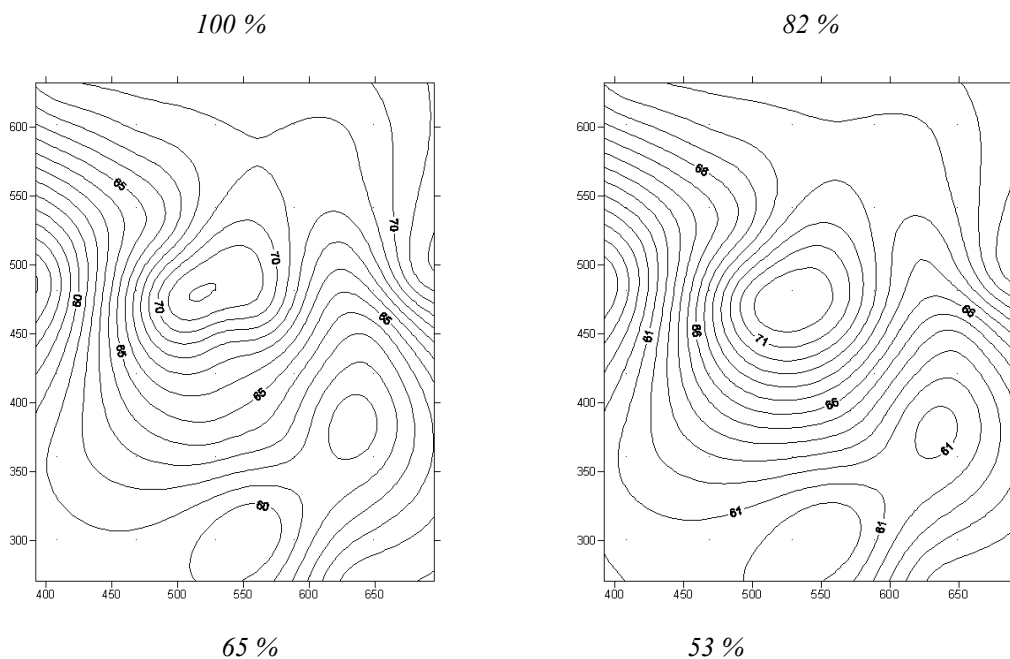


Рис. 2. Карта ізовмісту оксиду кремнію SiO<sub>2</sub>, що отримана за допомогою методу radial basis function (радіальних базових функцій)

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 такою формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{N}},$$

де  $\Delta$  – 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 таблицю 2.

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

У роботі було досліджено зміну основних статистичних показників зі зростанням кількості вихідних даних для методів *Krige* та *радіальних базових функцій* (рис. 3). Аналіз наведених графічних залежностей свідчить про те, що метод *Krige* дає достатньо точні оцінки пропущених значень та дає можливість точніше оцінити можливі похибки цих значень.

Таблиця 2

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

Об’єм моделі, %	Метод побудови	
	Krige	радіальні базові функції
82	1,61	1,63
65	2,74	3,04
53	3,01	3,25

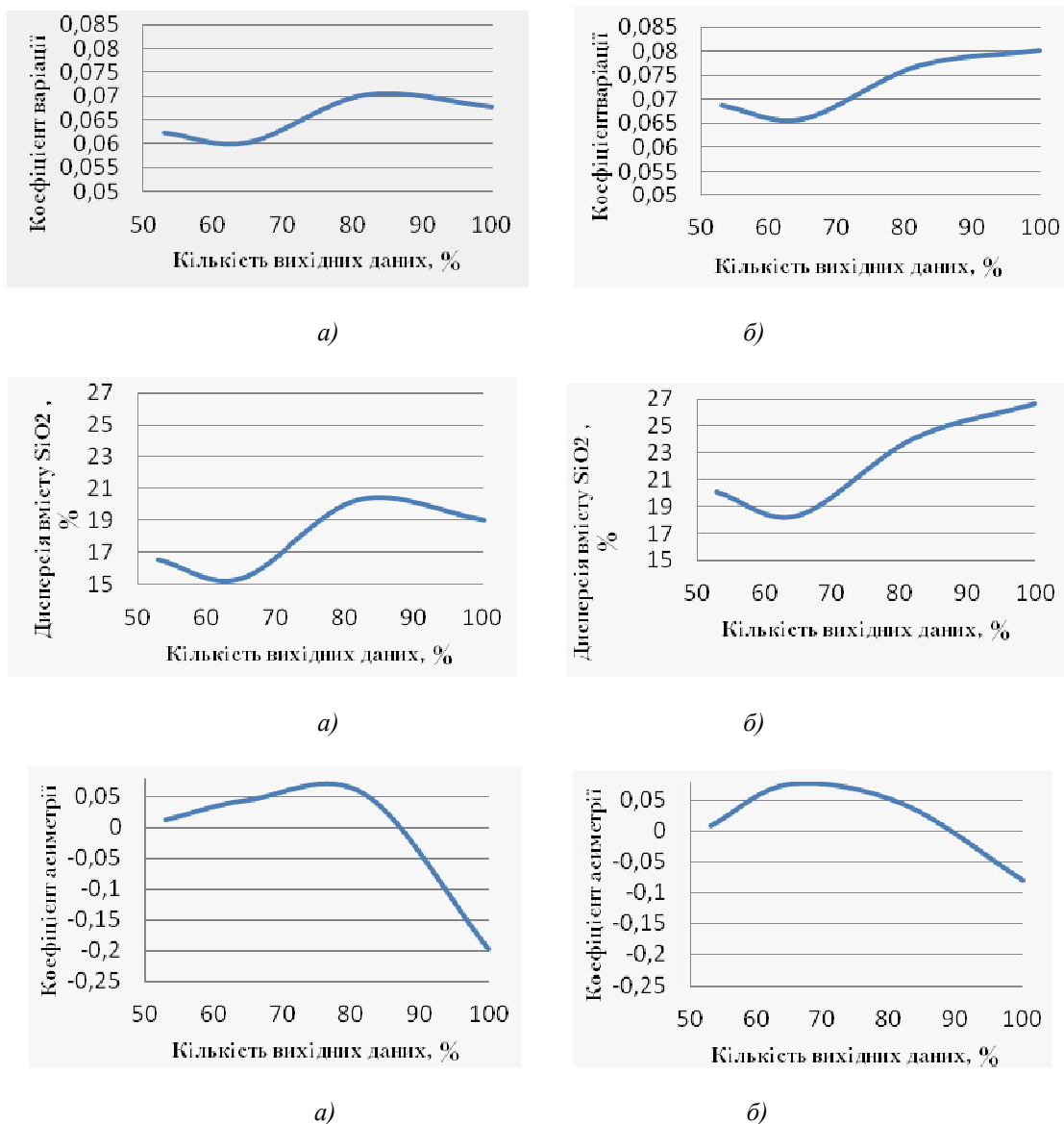
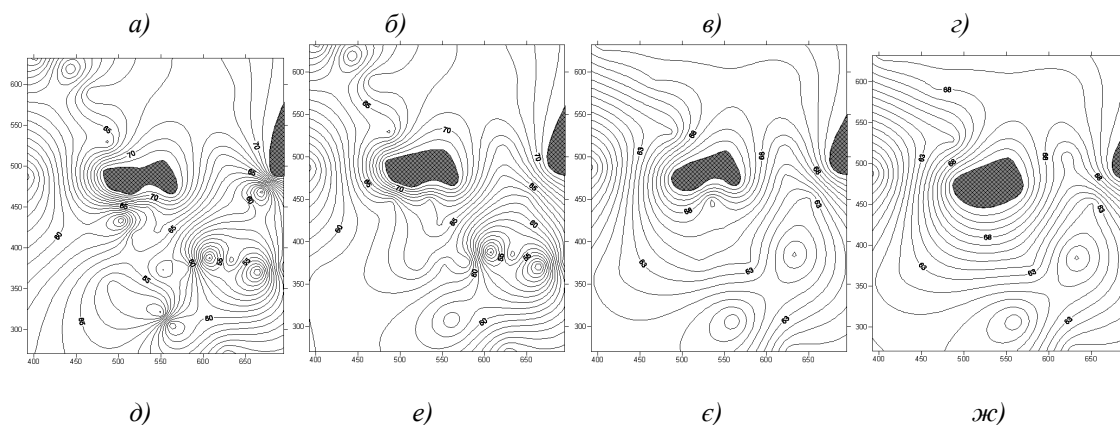


Рис. 3. Зміна основних статистичних показників зі зростанням кількості вихідних даних для методів Кріге (а) та радіальних базових функцій (б)

Також було проведено дослідження впливу кількості вихідних даних на стійкість площі зони некондиційної сировини визначеної за двома методами інтерполяції (рис. 4).



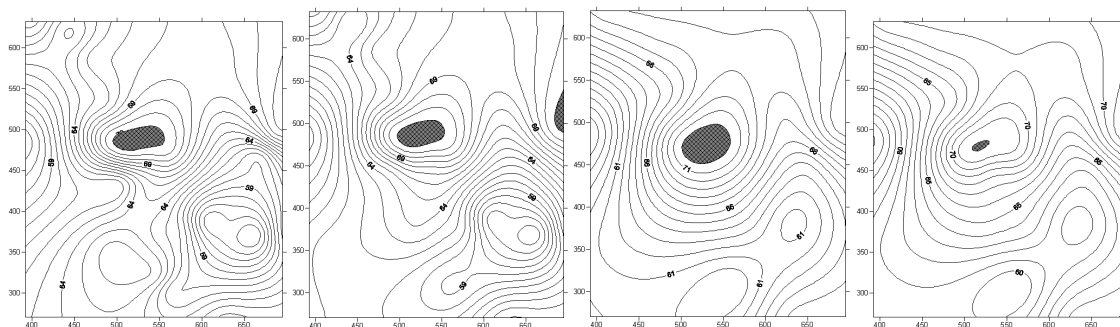


Рис. 4. Стійкість площі зони некондиційної сировини за методом Кріге (а, б, в, з) та радіальних базових функцій (д, е, е, ж)

На рисунку 5 показано графічну залежність зміни площі зони некондиційної сировини від кількості вихідних даних при інтерполяції методом Кріге (а) та радіальних базових функцій (б).

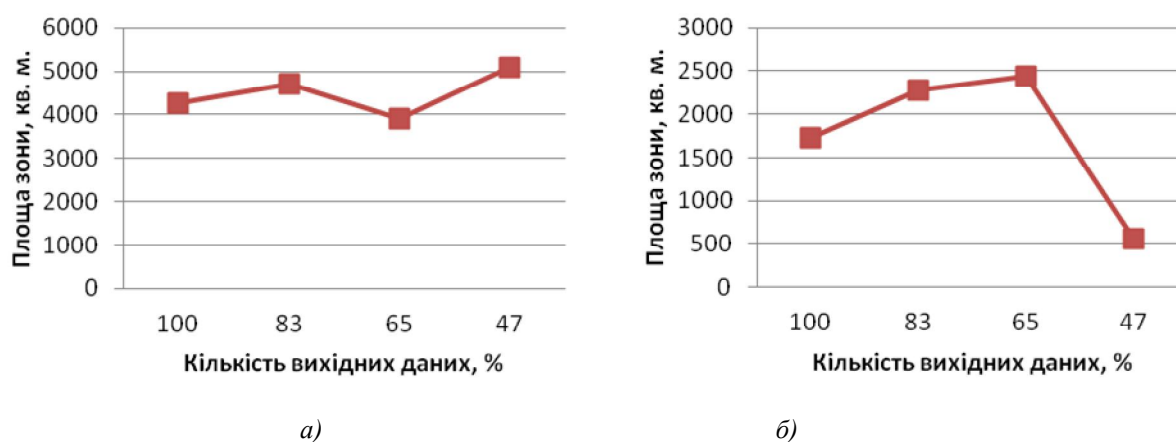


Рис. 5. Залежність зміни площі зони від кількості даних в умовах методу Кріге (а) та радіальних базових функцій (б)

Як видно з рисунків 4 та 5, при зміні кількості вихідних даних метод Кріге дозволив отримати порівняно незначні зміни форми та значення площі некондиційної зони, а отже і більш точно підрахувати запаси корисної копалини. В той час як метод радіальних базових функцій характеризується більш значними перепадами значень площ зони некондиційної сировини, а при зменшенні кількості вихідних значень до 53 % похибка визначення площі досягла 30 %.

**Висновки.** Таким чином, в даній статті було проведено дослідження стійкості методів інтерполяції геологорозвідувальних даних до зменшення об'єму початкової інформації за графічними та статистичними аналізами. Дослідженнями було встановлено, що оптимальним методом інтерполяції на базі програмного забезпечення Surfer в умовах вихідних даних Кур'янівського родовища пірофілітових сланців є метод Кріге. Очевидно, що зменшення кількості точок веде до спотворення конфігурацій ізолій, проте загальний характер поля (положення екстремумів, їх інтенсивність, положення осей аномальних зон) зберігається (або спотворюється в незначній мірі). Дані дослідження можуть бути використано як одні з основних критеріїв геометризації ділянки Кур'янівського родовища пірофілітових сланців.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Використання ГІС-технологій при розробці управлінських спеціалізованих програмних продуктів / С.В. Ковбасюк, В.І. Присяжний, Д.Л. Федорчук // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2009. – № 1 (48). – С. 164–169.
2. Трифонова Т.А. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях: учеб. пособие для вузов / Трифонова Т.А., Мищенко Н.В., Краснощеков А.Н. – М. : Академический Проект. – 2005. – 352 с.

3. Лукашенко Н.Г. Переоценка запасов пиррофиллитового сланца Курьяновского месторождения (I ч.) / Н.Г. Лукашенко. – Володарск-Волынский : Геолого-разведочная экспедиция, 1990. – 167 с.
4. Силкин К.Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer 8 : учеб. пособие / К.Ю. Силкин. – Воронеж, 2008. – 66 с.
5. Крейтер В.М. Структуры рудных полей и месторождений / В.М. Крейтер. – М. : Госгеотехиздат, 1956. – 154 с.
6. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand / Danie G. // J. of the Chem. / Metal. and Mining Soc. of South Africa. – 1961. – № 52 (6). – P. 119–139.
7. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики / Ж.Матерон. – Изд. ИКИ, 2009. – 460 с.
8. Дюбрьоль О. Геостатистика в нефтяной геологии / О.Дюбрьоль. – Изд. ИКИ, 2009. – 256 с.

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

Наукові інтереси:

- маркшейдерія;
- технологія видобування корисних копалин.

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

Наукові інтереси:

- маркшейдерія;
- технологія видобування облицювального каменю.

Подано 17.01.2011