УДК 519.816

С. В. Земляна, Н. Є. Яцечко, І. А. Карпов

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОРІВНЯННЯ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ВІДВАЛЬНИХ ШАХТНИХ ПОРОДАХ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

Розглядається обчислювальна схема порівняння вмісту рухомих форм важких металів I–III класу небезпеки у відвальних шахтних породах Західного Донбасу на основі перевірки гіпотези про однорідність.

Ключові слова: *критерії однорідності, нормальний розподіл, важкі метали.*

Рассматривается вычислительная схема сравнения содержания подвижных форм тяжелых металлов I–III класса опасности в отвальных шахтных породах Западного Донбасса на основе проверки гипотезы об однородности.

Ключевые слова: *критерии однородности, нормальное распределение, тяжелые металлы.*

In this paper we consider the computational scheme comparing the contents of mobile forms of heavy metals is examined I–III class of danger in mine dump rocks Western Donbass based on testing the hypothesis of homogeneity.

Key words: *test for homogeneity, normal distribution, heavy metals.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Вирішення екологічної проблеми складування та подальшого зберігання твердих відходів гірничопромислового комплексу потребує обов'язкової оцінки можливих ризиків впливу цих відходів на об'єкти довкілля. Особливого контролю потребує вміст важких металів у найбільш небезпечній для біосфери рухомій формі. Сучасні задачі достовірної оцінки та прогнозування забруднення важкими металами вугледобувних територій неможливо розв'язати без використання спеціально розроблених обчислювальних програм та технологій. Надзвичайно актуальним є питання можливості застосування критерію однорідності Стьюдента для порівняння вмісту важких металів у відвальних шахтних породах (ВШП), визначення за допомогою цього критерію стійких зв'язків між вмістом рухомих форм окремих важких металів.

Аналіз останніх досягнень. Вагомий внесок у теорію перевірки статистичних гіпотез зробили Ю. Нейман та Е. Пірсон. Деякі розділи цієї теорії збереглися в первісному вигляді до теперішнього часу. Прикладний аспект теорії перевірки статистичних гіпотез є доволі широким.

© Земляна С. В., Яцечко Н. Є., Карпов І. А, 2014

Мета роботи. Метою роботи є розробка нової обчислювальної технології, яка дозволяє на сучасному рівні проводити порівняльну оцінку величин вмісту важких металів у відвальних шахтних породах та визначати наявність зв'язків між цими величинами для окремих металів.

Основна частина. Рішення задачі побудовано на методиці перевірки гіпотези про однорідність. Сформулюємо основні теоретичні положення [1].

Нехай маємо дві генеральні сукупності Ω_1, Ω_2, з яких отримані вибірки $\Omega_n=\{x_1,\dots,x_n\}$ та $\Omega_m=\{x_1,\dots,x_m\}$. Відносно Ω_1 та Ω_2 передбачаються розподіли $F(x)$, $\Phi(y)$. Потрібно перевірити гіпотезу H_0: $F(x)\equiv\Phi(y)$ при альтернативі H_1: $F(x)\neq\Phi(y)$.

Дана постановка задачі є загальною та вирішується як за допомогою параметричних критеріїв, так і непараметричних. Розглянемо її рішення за допомогою параметричного критерію. Припустимо, що закони розподілу $F(x)$, $\Phi(y)$ – нормальні з функціями щільності:

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1}\exp\left(-\frac{(x-m_1)^2}{2\sigma_1^2}\right),$$

$$f(y)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2}\exp\left(-\frac{(y-m_2)^2}{2\sigma_2^2}\right).$$

Очевидним є те, що для того, щоб співпадали $F(x)$, $\Phi(y)$ необхідно, **щоб співпадали їх відповідні параметри. У цьому випадку гіпотези** H_0, H_1 можуть бути переписані у вигляді:
H_0: $m_1=m_2$ при H_1: $m_1\neq m_2$ або H_0: $\sigma_1=\sigma_2$ при H_1: $\sigma_1\neq\sigma_2$.

Для перевірки гіпотез H_0, H_1 існують різні критерії.

Розглянемо випадок, коли вибірки незалежні, дисперсії невідомі та обсяг вибірок малий. У такому разі традиційно застосовують критерій Стьюдента. Гіпотези мають наступний вигляд: H_0: $m_1=m_2$ при H_1: $m_1\neq m_2$.

Обчислюють вибіркові середні для кожної вибірки:

$$\bar{x}=\frac{1}{m}\sum_{1\le i\le m}x_i,\ \bar{y}=\frac{1}{n}\sum_{1\le i\le n}y_i.$$

Потім обчислюють вибіркові дисперсії:

$$s_x^2=\frac{1}{m-1}\sum_{1\le i\le m}(x_i-\bar{x})^2,\quad s_y^2=\frac{1}{n-1}\sum_{1\le i\le n}(y_i-\bar{y})^2.$$

Для перевірки основної гіпотези H_0 вводять статистичну характеристику:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{(m-1)s_x^2 + (n-1)s_y^2}} \sqrt{\frac{mn(m+n-2)}{m+n}},$$

яка має t – розподіл Стьюдента з $k = n + m - 2$ числом ступенів свободи. Її називають статистикою Стьюдента.

За заданим рівнем значущості α та числом ступенів свободи $k = n + m - 2$ з таблиць розподілу Стьюдента знаходять критичне значення $t_{кр}$. Якщо $|t| \le t_{кр}$, основну гіпотезу приймають, але якщо навпаки, $|t| > t_{кр}$, гіпотезу про однорідність відхиляють. Для накопичення даних моніторингу розроблено структуру бази даних (рис. 1).

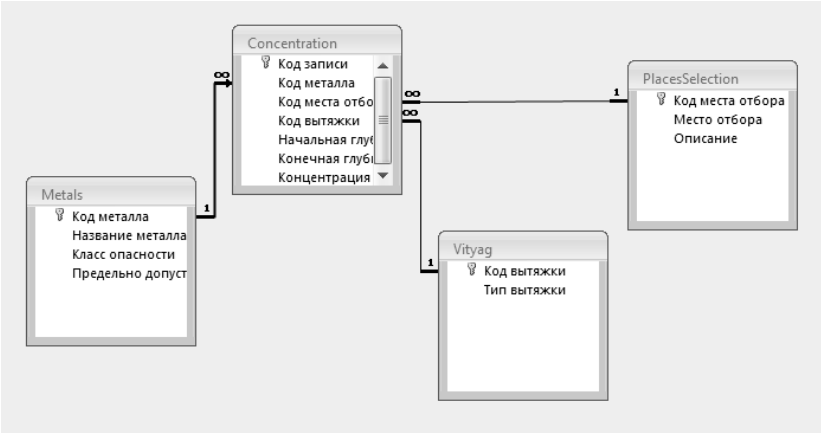

Рис. 1. Інфологічна схема таблиць бази даних

За допомогою технології OLE-Automation розроблено програмний модуль, який дозволив перенести вже накопичені дані з файлів Excel до розробленої бази даних.

Розроблено програмну систему, яка дозволяє вести облік даних, вводити нові, редагувати та видаляти записи, що існують, вибирати дані за заданими складними умовами, зберігати відібрані дані в текстові файли встановленого формату, проводити аналіз вибірок на однорідність, відображати результати досліджень у вигляді таблиць, графіків та діаграм. Структурну схему програмної системи приведено на рис. 2.

Розглянемо вирішення поставленої задачі саме щодо вмісту рухомих форм важких металів I–III класу небезпеки у зразках відвальних

шахтних порід Західного Донбасу, відібраних за період 2011–2013 рр. Вміст рухомих форм важких металів у породах визначався з використанням амонійно-ацетатної витяжки за стандартною методикою. Усі отримані дані було об'єднано у три статистичних масиви за місцем відбору – на дамбі та біля шахти Героїв Космосу і шахти Терновської.

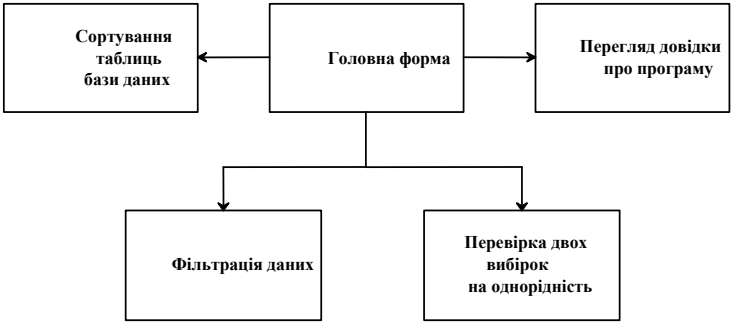

Рис. 2. Структурна схема програмної системи

Приклад 1. Досліджуємо на однорідність дві вибірки:

1: Назва металу – Zn, місце відбору – дамба, тип витяжки – водна, клас небезпеки – 1.

2: Назва металу – Pb, місце відбору – дамба, тип витяжки – водна, клас небезпеки – 1.

Результат перевірки аналізу однорідності вибірок представлено на рис. 3.

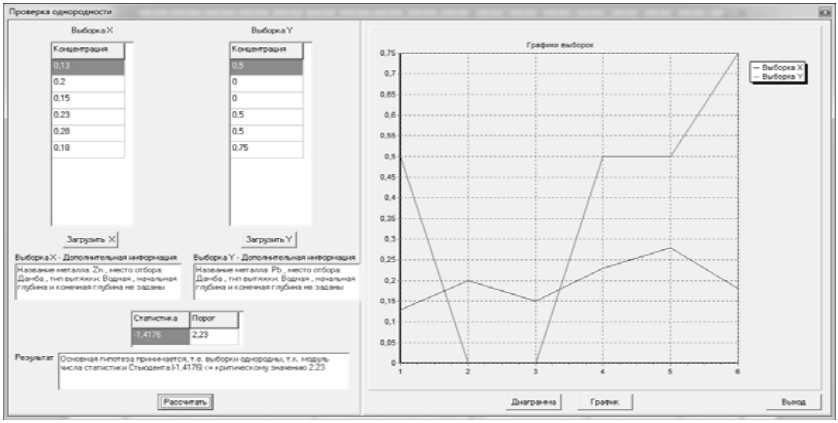

Рис. 3. Результати перевірки гіпотези про однорідність Zn – Pb, дамба

Статистика Стьюдента $t = -1,4176$. За заданим рівнем значущості $\alpha = 0,05$ та числом ступенів свободи $k = 10$, з таблиць розподілу Стьюдента знаходимо критичне значення $t_{кр} = 2,23$. Так як $|t| \le t_{кр}$, гіпотеза про однорідність приймається. Згідно з результатами аналізу можна зробити висновок, що досліджувані вибірки – однорідні.

Приклад 2. Досліджуємо на однорідність дві вибірки:

1: Назва металу – Zn, місце відбору – шахта Героїв Космосу, тип витяжки – ацетатна, клас небезпеки – 1.

2: Назва металу – Pb, місце відбору – шахта Героїв Космосу, тип витяжки – ацетатна, клас небезпеки – 1.

Результат перевірки аналізу однорідності вибірок представлено на рис. 4.

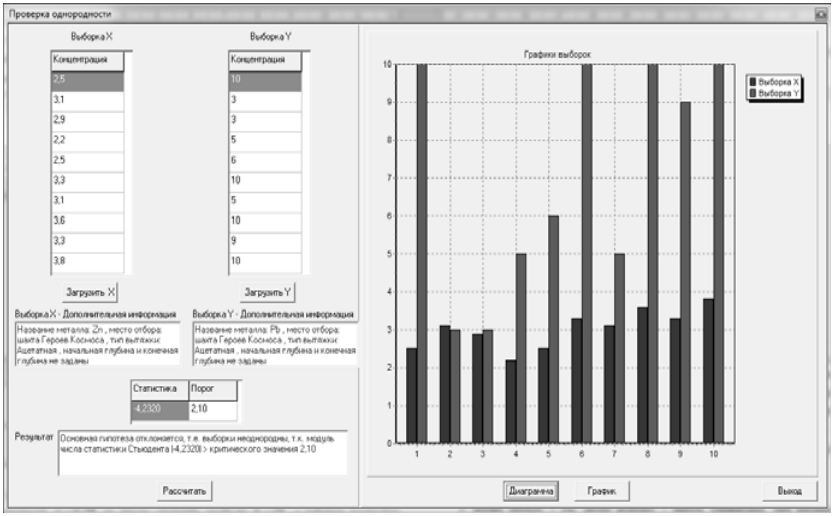

Рис. 4. Результати перевірки двох вибірок Zn – Pb, шахта Героїв Космосу

Критерій однорідності Стьюдента $t = -4,2320$. За заданим рівнем значущості $\alpha = 0,05$ та числом ступенів свободи $k = 18$, з таблиць розподілу Стьюдента знаходимо критичне значення $t_{кр} = 2,10$. Так як $|t| > t_{кр}$, то гіпотеза про однорідність відхиляється. Тобто згідно з результатами аналізу можна зробити висновок, що досліджувані вибірки – неоднорідні.

Приклад 3. Досліджуємо на однорідність дві вибірки:

1: Назва металу – Zn, місце відбору – дамба, тип витяжки – ацетатна, клас небезпеки – 1.

2: Назва металу – Zn, місце відбору – шахта Героїв Космосу, тип витяжки – ацетатна, клас небезпеки – 1.

Результат перевірки аналізу однорідності вибірок представлено на рис. 5.

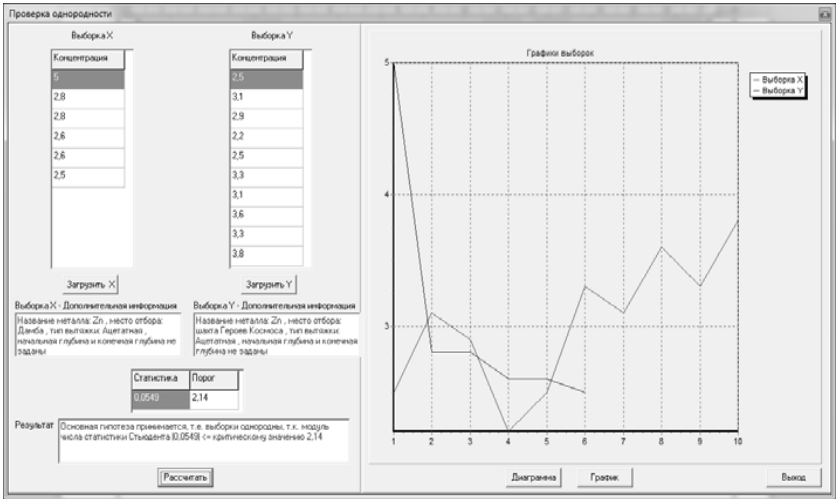

Рис. 5. Результати перевірки двох вибірок Zn, дамба – Zn, шахта Героїв Космосу

Критерій однорідності Стьюдента $t = 0,0549$. За заданим рівнем значущості $\alpha = 0,05$ та числом ступенів свободи $k = 14$, з таблиць розподілу Стьюдента знаходимо критичне значення $t_{кр} = 2,14$. Так як $|t| \le t_{кр}$, гіпотеза про однорідність приймається. Тобто згідно з результатами аналізу можна зробити висновок, що досліджувані вибірки – однорідні.

Приклад 4. Досліджуємо на однорідність дві вибірки:

1: Назва металу – Zn, місце відбору – шахта Терновська, тип витяжки – ацетатна, клас небезпеки – 1.

2: Назва металу – Cu, місце відбору – шахта Терновська, тип витяжки – ацетатна, клас небезпеки – 2.

Результат перевірки аналізу однорідності вибірок представлено на рис. 6.

Критерій однорідності Стьюдента $t = 5,3795$. За заданим рівнем значущості $\alpha = 0,05$ та числом ступенів свободи $k = 12$, з таблиць розподілу Стьюдента знаходимо критичне значення $t_{кр} = 2,18$. Так як $|t| > t_{кр}$, то гіпотезу про однорідність відхиляють. Згідно з результатами аналізу можна зробити висновок, що досліджувані вибірки – неоднорідні.

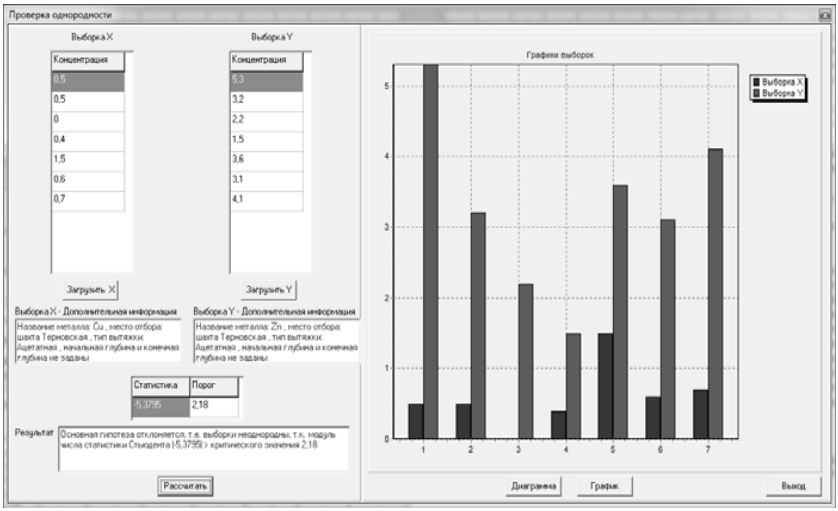

Рис. 6. Результати перевірки двох вибірок Zn – Cu, шахта Терновська

Проведено аналіз даних вмісту рухомих форм важких металів у ВШП для всіх наявних даних. Отримані результати представлено у зведеній табл. 1.

Таблиця 1

Зведена таблиця результатів перевірки однорідності вибірок

	Zn	Cd	Pb	Cu	Co	Ni	Mn
Zn	+	–	–	–	–	–	–
Cd	–	+	–	+	+	+	–
Pb	–	–	+	–	–	–	–
Cu	–	+	–	+	+	–	–
Co	–	+	–	+	+	+	–
Ni	–	+	–	–	+	+	–
Mn	–	–	–	–	–	–	+

Таким чином, результати розрахунків доводять наявність певних закономірних зв’язків між рухомими формами важких металів у складі ВШП. Встановлена однорідність даних з вмісту у ВШП рухомих форм важких металів, що відносяться до II класу небезпеки (а саме – міді, кобальту та нікелю). Це свідчить про те, що усі ці метали мають один з одним значимі зв’язки, які відрізняються лише за своєю величиною (силою зв’язку). Така тенденція є характерною для усіх досліджених ВШП незалежно від місця відбору проби.

Слід зазначити, що кадмій (I клас небезпеки) здатний утворювати стійкі зв'язки з усіма дослідженими металами II класу небезпеки – міддю, кобальтом та нікелем. Встановлено, що для ВШП з усіх дослідних ділянок є характерною наявність асоціацій з трьох важких металів: кадмій – кобальт – нікель та мідь – кадмій – кобальт. Це свідчить про високу вірогідність сумісної присутності рухомих форм цих важких металів у відвальних шахтних породах.

Для рухомих форм свинцю і цинку, які відносяться до I класу небезпеки, та марганцю (III клас небезпеки) не встановлено жодних зв'язків з іншими металами. Таку неоднорідність даних можна пояснити як різними хімічними властивостями досліджених металів, так і їх різною здатністю утворювати специфічні хімічні сполуки за певних фізико-хімічних умов.

Висновки та перспективи подальшого розвитку. Створена у даній роботі нова обчислювальна технологія з використанням сучасних методів статистичної обробки даних дозволяє з високою точністю виконувати достовірну прогнозну оцінку екологічного стану об'єктів довкілля щодо вмісту важких металів на територіях розміщення промислових відходів. Це сприятиме подальшому формуванню сучасної інформаційної та картографічної бази екологічних даних щодо забруднення цих територій важкими металами. На підставі отриманих результатів планується розробляти та здійснювати подальші управлінські природоохоронні заходи щодо забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку промислових регіонів.

Бібліографічні посилання

1. **Приставка А. Ф.** Вычислительные схемы и программное обеспечение критериев однородности и независимости / А. Ф. Приставка, А. И. Передерий, С. В. Измайлова. – Днепропетровск : ДГУ, 1995. – 60 с.

Надійшла до редколегії 25.06.2014 р.