

МОНІТОРИНГ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 506.2

Мищенко Л.В., Крихівський М.В.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА ECOSTAT ДЛЯ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Запропонована розроблена авторами нова комп'ютерна програма ECOSTAT, яка дозволяє автоматизувати рутинний процес визначення геохімічного фону того чи іншого хімічного елемента – забруднювача на певній території.

Ключові слова: статистична обробка, комп'ютерна програма, ґрунти.

Предложена разработанная авторами новая компьютерная программа ECOSTAT, которая позволяет автоматизировать рутинный процесс определения геохимического фона того или иного химического элемента – загрязнителя на определенной территории.

Ключевые слова: статистическая обработка, компьютерная программа, почвы.

Proposed by the authors a new computer program ECOSTAT, which allows you to automate routine process for determining geochemical background of a chemical element – the pollutant in a soil.

Key words: statistical processing, software, soil.

Актуальність проблеми. При екологічних дослідженнях того чи іншого регіону визначається оптимальна мережа екологічних полігонів (рис. 1), на яких відбираються проби з ґрунтового покриття. Після аналізів проб на вміст головних забруднювачів (важких металів та ін.) отримуємо конкретні дані, що складаються у базу даних (табл. 1). Мережа геоекологічних полігонів повинна визначатись таким чином, щоб були охоплені усі різновиди ґрунтів точками відбору проб у залежності від масштабу карти.

Аналіз попередніх досліджень. У процесі обробки отриманих даних використовують різні методи визначення геохімічного фону (табл. 2) з застосуванням варіаційної статистики [2-4, 6-8], для чого нами розроблена нова комп'ютерна програма "ECOSTAT". Це дозволило авторам значно вдосконалити розрахункові та графічні методи визначення регіонального геохімічного фону та аномальних концентрацій забруднюючих речовин, які до наших досліджень ґрунтувались лише на загальних засадах [1, 5, 7].

Викладення основного матеріалу. Статистичні методи вдосконалені авторами в частині групування вибірок, оцінки похибок аналізу та використання геоінформаційних технологій (ГІС). У результаті розрахунки кількісних характеристик розподілу конкретного елемента в ґрунтового покритті склалися із наступних етапів статистичної обробки даних:

- групування аналізів у вибірки;
- перевірка гіпотез розподілу вмістів елементів у вибірці;
- розрахунки статистичних величин розподілу елементів у ґрунтового покритті;
- оцінка середніх значень.

Із праць Ю.Е. Саєта та ін. [4] відомо, що надійність статистичних параметрів визначається правильністю групування вибірок. З точки зору геохімії, це означає, що кожна вибірка повинна належати одному і тому ж об'єкту, характеристики розподілу елементів у якому розглядаються як випадкові величини. У наших дослідженнях такими елементами є ґрунти. Тому, ще при відборі проб, щільність



Рис. 1. Мережа геоeкологічних полігонів, де відбирались проби ґрунтів

точок визначалась з урахуванням розподілу ґрунтових відмін та особливостей території. Були опробувані усі головні ландшафтні елементи більш-менш рівномірно. Із досвіду геохімічних досліджень в інших регіонах [3,7] відомо, що для статистичної обробки достатньо мати по 30 і більшій кількості проб. У наших дослідженнях цей показник перевищений у 2–4 рази.

Перевірку гіпотез розподілу вмісту елементів у вибірках ми виконували за стандартизованими коефіцієнтами асиметрії (A) і ексцесу (E) з врахуванням s^2 – критерію Пірсона при рівні значимості $q=0,05$ і відповідному ступені свободи. Прийняття гіпотези, що перевіряється, аргументувалось на-

База даних із забруднення території Карпатського регіону і Західного Поділля

№ ч/ч	№ проби	Координати		Хімічні елементи						СПЗ	Географічна привязка
		x	y	Hg	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni		
		ГДК		2.1	1	30	55	100	4		
1	15	24.188485	48.668527	0.007	0.03	0.3	0.27	4.6	0.2	0.144242424	Богородчани
2	17	24.251053	48.73485	0	0.01	0.6	0.6	6.8	0.3	0.183909091	Богородчани
3	18	24.328962	48.796982	0	0	1.1	0.4	8.1	0	0.124939394	Богородчани
4	19	24.374841	48.836314	0	0	1.4	1.6	8.5	0	0.160757576	Богородчани
5	20	24.41293	48.868235	0.2	0.63	21.4	4.6	18.3	0.3	1.780207792	Богородчани
6	21	24.454884	48.896166	0.006	0.09	2.3	1.9	9.6	0	0.300069264	Богородчани
7	24	24.223352	48.643076	0.001	0	1.6	0.3	3.2		0.091264069	Богородчани
8	25	24.255381	48.671007	0	0	9.8	1.17	10	4.1	1.472939394	Богородчани
9	26	24.301261	48.702359	0	0.003	1.9	0.2	3.5	4.2	1.154969697	Богородчани
10	27	24.341947	48.73599	0.002	0.007	1.4	1.2	6.8		0.144437229	Богородчани

Всього у базі 1441 точка (геоекологічний полігон) відбору проб з результатами аналізів на вміст забруднювачів

ступними параметрами: $A < 3$; $E < 3$; $c^2_{\text{розрах.}} < c^2_{\text{табл.}}$. Розподіл елементів у природних середовищах завжди можна описати обмеженою кількістю законів: нормальним, логнормальним, відображеним логнормальним і логнормальним зі зсувом. У нашому дослідженні таким законом виявився закон нормального розподілу, тому всі розрахунки можна виконувати згідно наведених формул (табл. 2).

При еколого-техногеохімічних дослідженнях, з нашої точки зору, важливе значення мають флуктуації фону. Іноді пропонують відносити до фонових вмістів такі, що на гістограмах знаходяться вище 10-відсоткового рівня. З врахуванням t-критерія Ст'юдента і величини ймовірності визначають фонові вмісти А.А.Беус, Ю.Е.Саєт та ін. Замість t-критерію іноді пропонують аргумент функції Лапласа або емпіричний коефіцієнт, середньоквадратичну похибку опробування або аналізу, середньоарифметичне, середнє логарифмів вмісту та ін.

Враховуючи те, що для аналітичної похибки кожної конкретної вибірки властива флуктуація фону за рахунок нерівномірності розподілу елементів у середовищах довкілля, а також необхідністю виявлення слабких аномалій, ми вважали за необхідне прийняти варіабельність фону в межах $\pm 3 C_{\phi}$. Таким чином, ми прийняли вищенаведені статистичні показники прийнятними для досліджуваного регіону.

Отже, автори пропонують нову комп'ютерну програму ECOSTAT (рис. 2), яка дозволяє автоматизувати розрахунки геохімічного фону і аномалій на основі бази даних (табл. 1).

Для реалізації комп'ютерної програми ECOSTAT ми скористались матеріалами Ю.Г. Щербакова [3] з розподілу елементів у ґрунтах природних ландшафтів світу (табл. 3) та в ґрунтах лісостепової зони (табл. 4). Конкретні матеріали з геохімії ґрунтового покриву у Карпатському регіоні, узагальнені Г.Д. Гуцуляком в 2005 році при агрохімічному районуванні, дозволили нам побудувати аналогічну таблицю і виявити статистичні параметри, в тому числі регіональний геохімічний фон і аномалії (табл. 5) для сірих лісових опідзолених ґрунтів Карпатського регіону, та побудувати ряд графіків (рис. 3–7).

Отримані шляхом використання комп'ютерної програми ECOSTAT статистичні показники фонового вмісту і аномальності використовуються для побудови еколого-техногеохімічних карт.

На еколого-техногеохімічну карту розповсюдження того чи іншого елемента в конкретному середовищі виносяться ізолінії його рівних концентрацій (ізоконцентрат ік), які повинні відповідати середньому вмісту елемента в кожному характерному інтервалі. Тобто ізолінії концентрацій елементів

Формули для статистичних розрахунків

Статистичні параметри	Розрахункові формули
Середнє:	
Арифметичне	$\bar{X} = \sum X_i / N$
Логарифмів	$\lg \bar{X} = \sum \lg X_i / N$
максимально правдиве	$C = 10^{\lg X + 1.1513 S_{\lg}^2}$
Дисперсія розподілу:	
Вмістів	$S^2 = \sum (X_i - \bar{X})^2 / N - 1$
логарифмів вмістів	$S_{\lg}^2 = \sum (\lg X_i - \lg \bar{X})^2 / N - 1$
Середньоквадратичне відхилення:	
середнє логарифмів вмістів	$S_{\lg}^2 = \sqrt{\sum (\lg X_i - \lg \bar{X})^2 / N - 1}$
максимально правдиве	$S = \sqrt{\frac{C_1 - C}{4} (10^{\lg X + 1.1513 S_{\lg}^2} - 1)}$
відносне, %	$S = 100 \sqrt{10^{\lg X + 1.1513 S_{\lg}^2} - 1}$
Коефіцієнт асиметрії	$A = \sum (X_i - \bar{X})^3 / N \cdot S^3 \sqrt{6(N+3)^{-1}}$ $A_{\lg} = \sum (\lg X_i - \lg \bar{X})^3 / N \cdot S^3 \sqrt{6(N+3)^{-1}}$
Коефіцієнт ексцесу	$\mathcal{E} = \sum \frac{(X_i - \bar{X})^4}{NS^4} - 3 / \sqrt{25(N+5)^{-1}}$ $\mathcal{E}_{\lg} = \sum \frac{(\lg X_i - \lg \bar{X})^4}{NS^4} - 3 / \sqrt{25(N+5)^{-1}}$
Коефіцієнт Пірсона	$X^2 = \sum (n_j - n_j)^2 / n_j$
t-критерій Ст'юдента	$t_c = (X_1 - X_2) / \sqrt{\frac{S^2 X_1}{N_1} + \frac{S^2 X_2}{N_2}}$
t-критерій Родіонова	$t_r = \frac{\lg X_1 - \lg X_2 + 1.153(S_{\lg X_1}^2 - S_{\lg X_2}^2)}{\sqrt{\frac{S_{\lg X_1}^2}{N_1} + \frac{S_{\lg X_2}^2}{N_2} + 2.65 \left[\frac{S_{\lg X_1}^4}{N_1 - 1} + \frac{S_{\lg X_2}^4}{N_2 - 1} \right]}}$
Фоновий вміст	$X_{\phi} = 50\%$ частоти зустрічання
Флуктуація фону	$X_{\phi n} - X_{\phi} = X_{\phi} \cdot mS$
Кларк концентрації	$K = X_{\phi}(C_{\phi})$ Кларк
Коефіцієнт концентрації	$K = X(C_{\phi}) \text{ вибірки} / X_{\phi}(C_{\phi}) \text{ рег.}$
Коефіцієнт аномальності, %	$K_{an} = 100 N_{an} / N$

на картах проводяться не довільно, як іноді можна бачити на геохімічних картах, а тільки через характерні інтервали. Тоді ізолінії будуть передавати характер розповсюдження елемента в середовищі до-вкільля. Це обґрунтовується хвильово-роєвим характером розподілу вмістів того чи іншого елемента в своїх інтервалах.

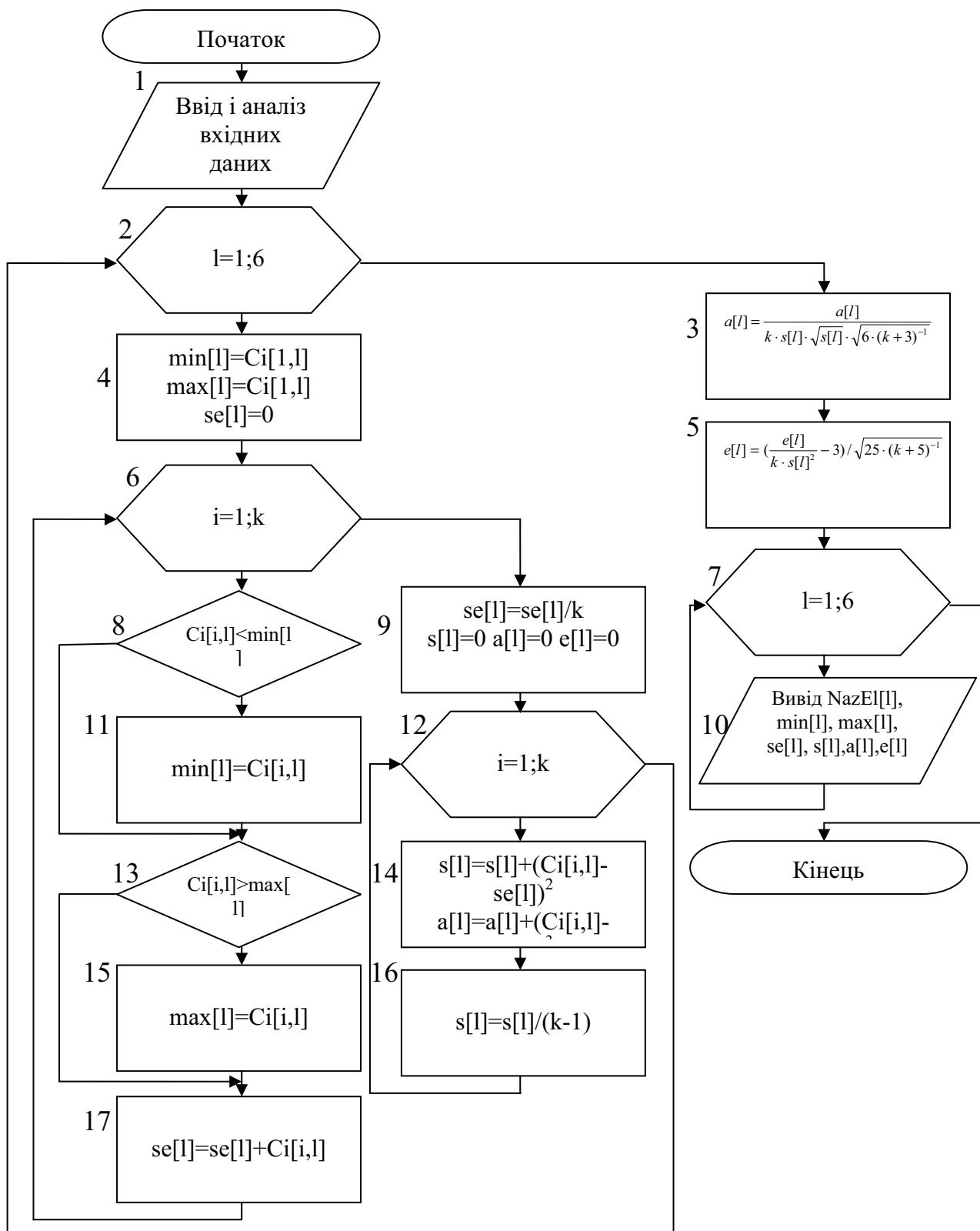


Рис. 2. Графічний алгоритм програми ECOSTAT для розрахунку статистичних параметрів

Таблиця 3

**Розподіл елементів у ґрунтах природних ландшафтів світу
(Ю.Г. Щербаков та ін., 1996)**

Елемент	N вибірки	Вміст, мг/кг			Статистичні параметри				
		X_{\min}	X_{\max}	\bar{X}	S	A	E	X_{ϕ}	K
Li	249	6.7	47.4	25.4	8.1	2.5	-0.4	25.0	0.83
Be	269	0.1	8.0	2.6	1.5	2.8	-0.5	2.2	0.37
P	482	1.0	2000.0	583.3	304.8	14.1	15.5	464.4	4.22
Sc	327	1.0	80.0	15.8	10.1	6.9	13.7	14.8	2.11
Ti	190	300.0	10000	4295.8	2059.9	6.0	3.2	3428.2	0.74
V	247	11.1	155.5	63.8	31.5	2.9	-1.4	59.3	0.59
Cr	386	16.6	775.0	91.5	61.3	44.3	184.5	80.0	0.40
Mn	386	180.0	4400	779.4	295.3	40.5	233.3	764.8	0.90
Co	386	1.5	33.0	8.8	5.5	4.2	2.0	10.0	1.0
Mi	386	4.0	142.8	36.6	18.6	14.4	23.3	43.3	1.08
Cu	417	2.0	60.0	25.1	95	1.9	3.4	25.4	1.27
Zn	400	10.0	334.0	76.6	35.5	33.5	101.3	72.0	1.44
Ga	267	1.0	40.0	16.4	7.9	1.9	-1.2	14.6	0.46
As	425	1.29	55.1	22.0	12.9	1.1	-3.8	22.5	4.5
Rb	247	16.8	945.4	148.7	210.7	17.2	17.7	81.1	1.35
Sr	249	102.8	976.4	191.5	101.4	28.0	74.4	166.1	0.55
Zr	269	1.0	500.0	246.3	95.0	-2.1	-0.1	204.2	0.68
Mo	312	1.0	20.0	3.5	1.7	30.0	114.9	2.7	1.35
Cd	519	0.01	1.87	0.18	0.15	39.1	161.2	0.15	0.30
Cs	249	0.7	8.1	3.9	1.4	1.4	0.0	3.8	0.76
Ba	249	42.0	628.6	383.0	73.3	-5.5	14.8	387.3	0.78
Hg	619	0.002	9.35	0.21	0.74	87.8	429.4	0.07	7.0
Pb	499	4.0	60.0	19.7	9.3	4.4	-0.3	16.4	1.64

Таблиця 4

**Розподіл елементів у ґрунтах лісостепової зони
(В.П. Ковальов та ін., 1996)**

Елемент	N вибірки	Вміст, мг/кг			Статистичні параметри				
		X_{\min}	X_{\max}	\bar{X}	S	A	E	X_{ϕ}	K
Li	278	6.7	47.4	26.5	8.2	0.5	-1.1	270	0.9
V	273	11.1	8.0	68.2	30.2	0.45	-1.4	69.2	0.7
Cr	307	16.6	2000.0	92.3	67.0	37.7	143	77.5	0.39
Mn	307	180	80.0	773	215	3.0	10.6	774	0.91
Co	307	1.5	10000	9.2	5.2	2.1	2.3	10.0	1.0
Ni	307	4.0	155.5	35.7	18.2	11.6	13.4	32.0	0.8
Cu	333	2.0	775.0	25.5	9.9	2.3	2.8	25.1	1.26
Zn	316	10.0	4400	78.4	38.6	28.6	77.1	71.4	1.43
As	325	1.29	33.0	20.8	12.7	1.2	-4.2	21.1	4.22
Rb	273	16.8	142.8	122	173	14.6	29.5	10.6	1.8
Sr	278	80.0	60.0	185	71.9	15.2	43.6	175	0.6
Cd	424	0.01	334.0	0.18	0.15	37.7	157	0.14	0.28
Cs	226	0.4	40.0	4.1	1.5	0.1	-0.6	3.9	0.8
Ba	278	42.0	55.1	420	85.6	2.8	3.0	411	0.8
Hg	470	0.003	945.4	0.23	0.84	68.2	291	0.065	6.5
Pb	289	102.8	4.0	19.1	8.1	3.0	2.7	20.2	2.0

**Розподіл елементів у сірих лісових опідзолених ґрунтах
Карпатського регіону (Г.Д. Гуцуляк та ін., 2005)**

Елемент	N вибірки	Вміст, мг/кг			Статистичні параметри				
		X_{\min}	X_{\max}	\bar{X}	S	A	E	X_{ϕ}	K
V	47	20.0	111	70.9	26.1	-1.3	-1.6	71.0	0.71
Cr	50	55.5	138.2	92.8	17.1	0.3	0.1	92.8	0.47
Mn	50	260	4400	945	590	12.3	33.2	796	0.94
Co	50	2.0	26.0	8.6	6.1	3.3	0.8	8.0	0.8
Ni	50	9.8	82.0	39.1	13.6	1.2	2.5	39.1	0.95
Cu	55	6.0	42.3	26.4	8.1	-2.6	1.2	26.4	1.37
Zn	55	30.0	104	73.1	16.8	-3.2	0.8	79.2	1.58
As	68	3.0	55.1	27.7	12.2	1.2	-0.4	27.7	4.9
Rb	47	46.8	921	137	186	8.8	11.6	140	2.33
Sr	47	120	244	182	26.0	-0.1	-0.9	180	0.6
Cd	68	0.02	0.87	0.21	0.14	6.1	8.9	0.2	0.4
Cs	26	1.7	8.3	4.1	1.2	-0.5	-0.7	1.2	0.24
Ba	47	278	688	444	83.6	1.4	0.9	445	0.89
Hg	97	0.003	1.75	0.21	0.25	13.2	31.0	0.12	12.0
Pb	54	6.0	40.0	19.8	9.4	1.1	-	20.0	2.0

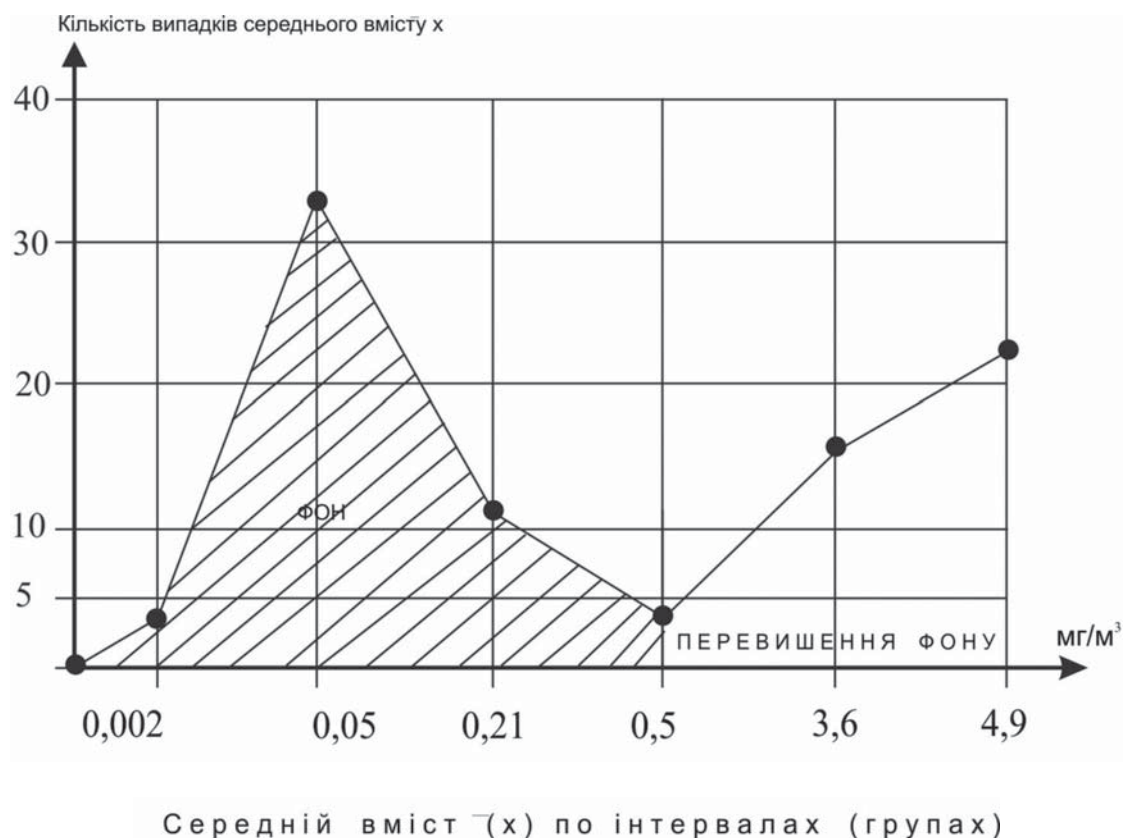


Рис. 3. Розподіл середніх вмітів (\bar{X}) чадного газу по інтервалах (групах) в атмосферному повітрі Гусятинського району

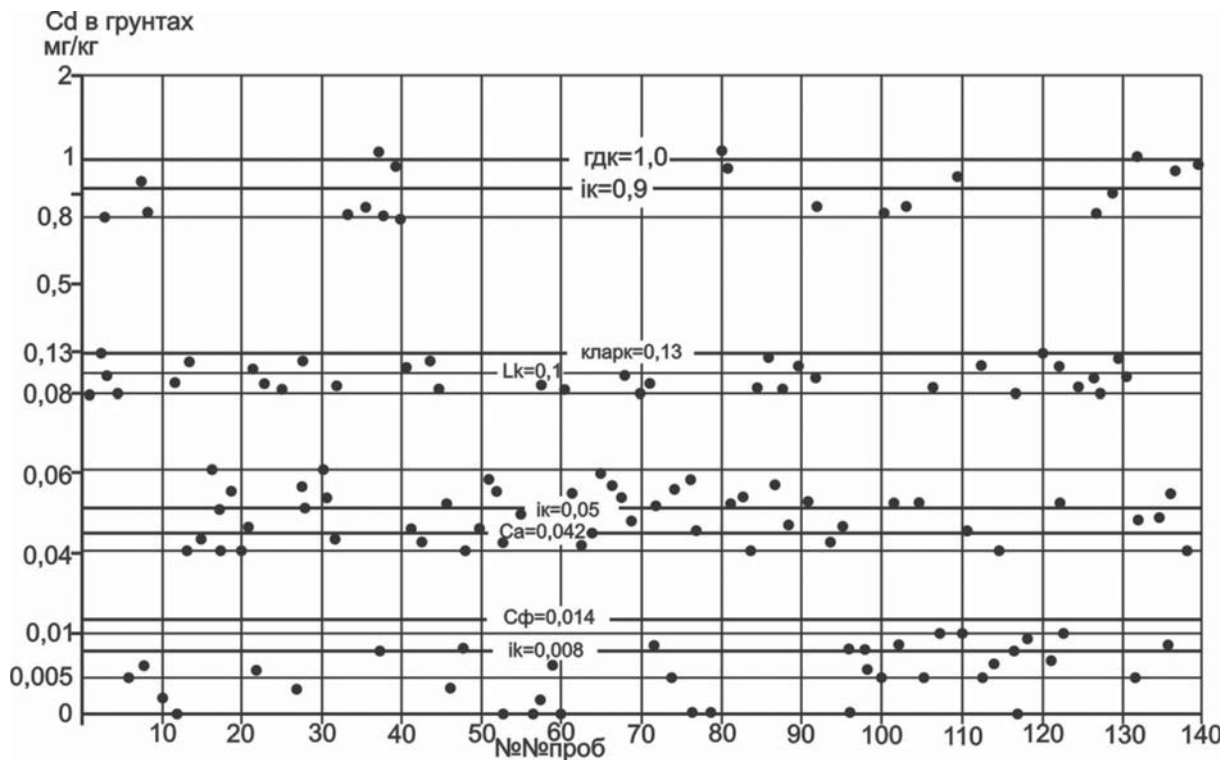


Рис. 4. Розповсюдження кадмію Cd в ґрунтах Дністровського каньйону: графічно-розрахункове визначення фонових і аномальних значень

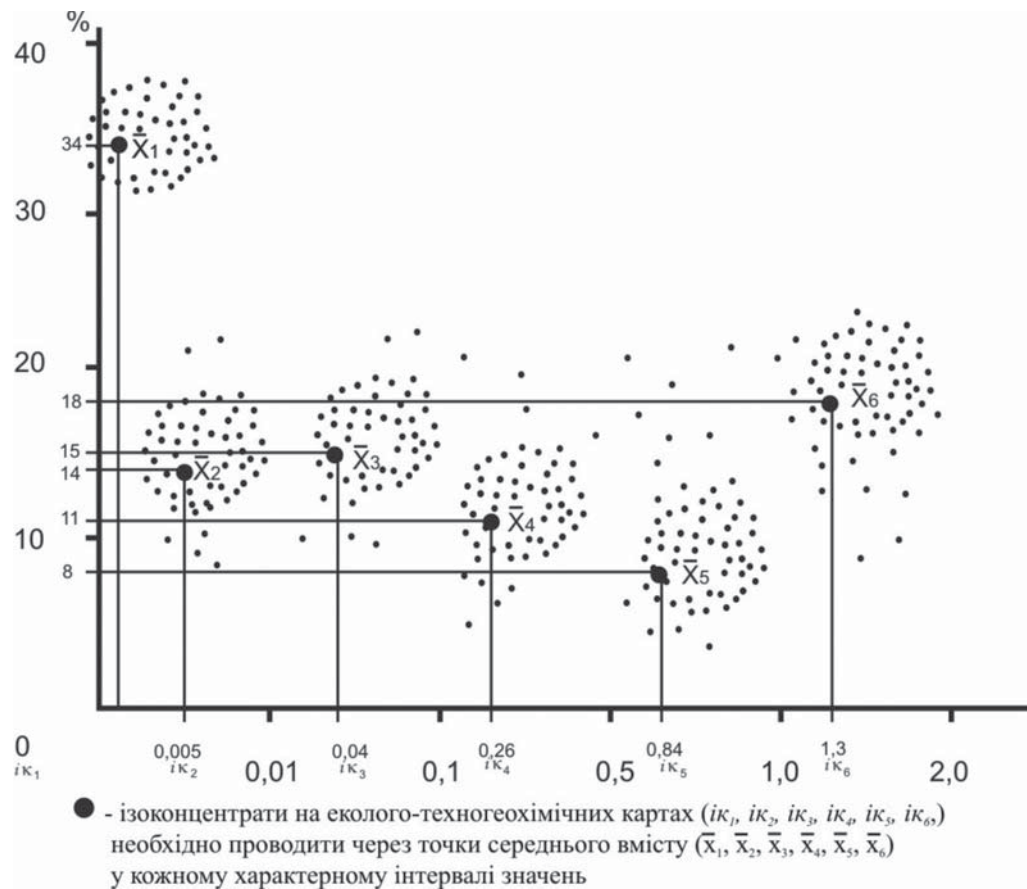


Рис. 5. Хвильово-ройовий характер розподілу забруднюючих речовин у ґрунтах біля потужного джерела викидів поліутантів в атмосферне повітря

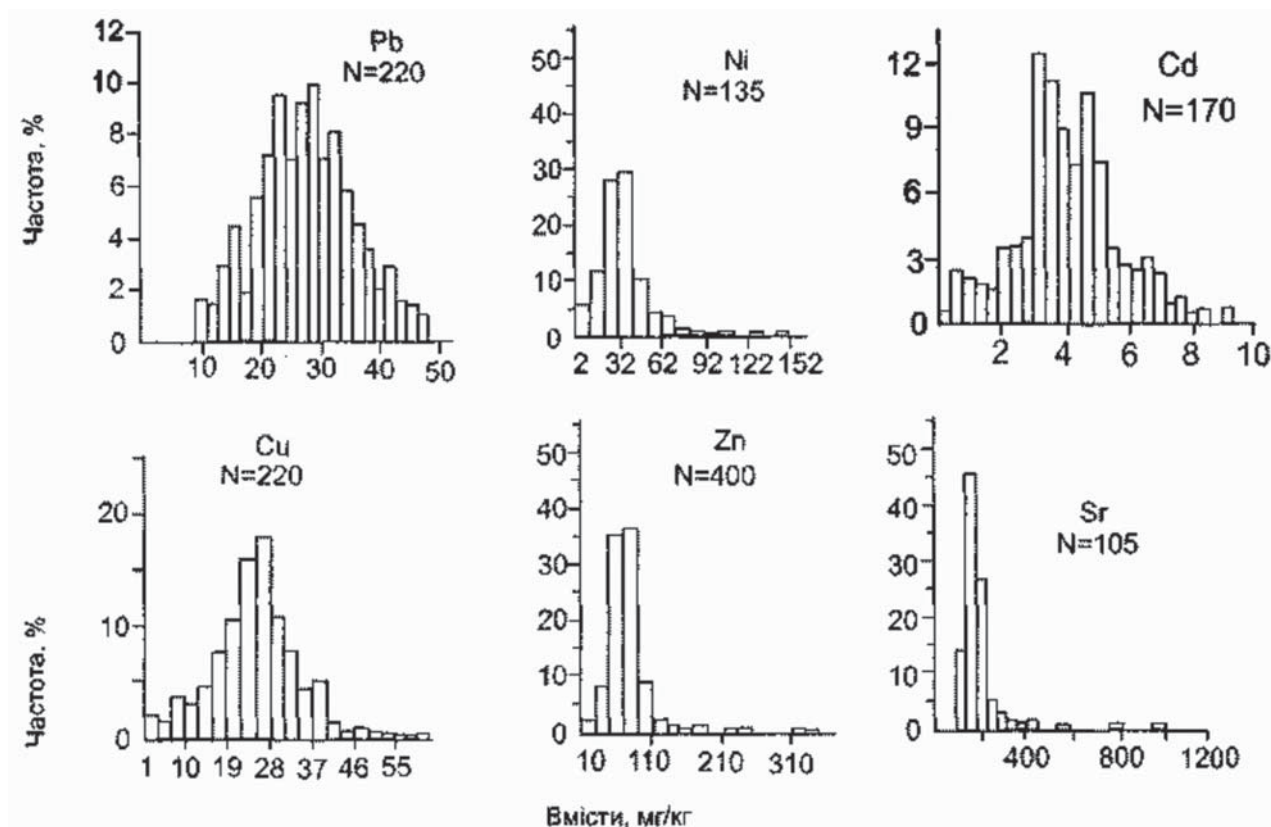


Рис. 6. Гістограми розподілу хімічних елементів у ґрунтах, мг/кг, N – кількість проб у вибірці

Поелементні еколого-техногеохімічні карти вмісту того чи іншого елемента в компонентах ландшафтів будуються шляхом інтерполяції даних від одного екологічного полігону до сусіднього (рис.7).

Висновки. Таким чином комп'ютерна автоматизація обробки екологічної інформації для розрахунків статистичних параметрів дозволяє істотно оптимізувати процес складання екологічних карт.

Література

1. Зорін Д.О. Еколого-геохімічна оцінка Дністровського каньйону як регіонального коридору національної екологічної мережі України: автореф. дис. на здоб. наук. ступ. канд. геол. наук: спец. 21.06.01 – екологічна безпека / Д.О.Зорін. – Івано-Франківськ, 2008. – 19 с.
2. Виноградов А.П. Биохимические провинции / А.П.Виноградов // Труды Юбилейной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения В.В.Докучаева. – М.-Л., 1949. – 124 с.
3. Росляков Н.А. Геохимия Западной Сибири / Н.А.Росляков, В.П.Ковалев, Ф.В.Сухоруков, Ю.Г.Щербаков и др. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 1996. – 248 с.
4. Саєт Ю.А. Геохимия окружающей среды / Ю.А. Саєт, Б.А. Ревич, Е.П. Янина и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
5. Audits II. Agra Earth an Environmental Ltd. / Audits II. – Calgary: Canada, 1995. – PP. 13-21.
6. Environmental auditing: an introduction and practical guide / Environmental // The British Library, 1993. – №3. – 78 p.
7. Kloke A. Content of arsenic, cadmium, chromium, fluorine, lead, mercury and nickel in plants grow on contaminated soil, papers present at United Nations-ECE Symp. On Effects of Air-borne Pollution on Vegetation / A.Kloke. – Warsaw, 1979. – 20. – 192 p.

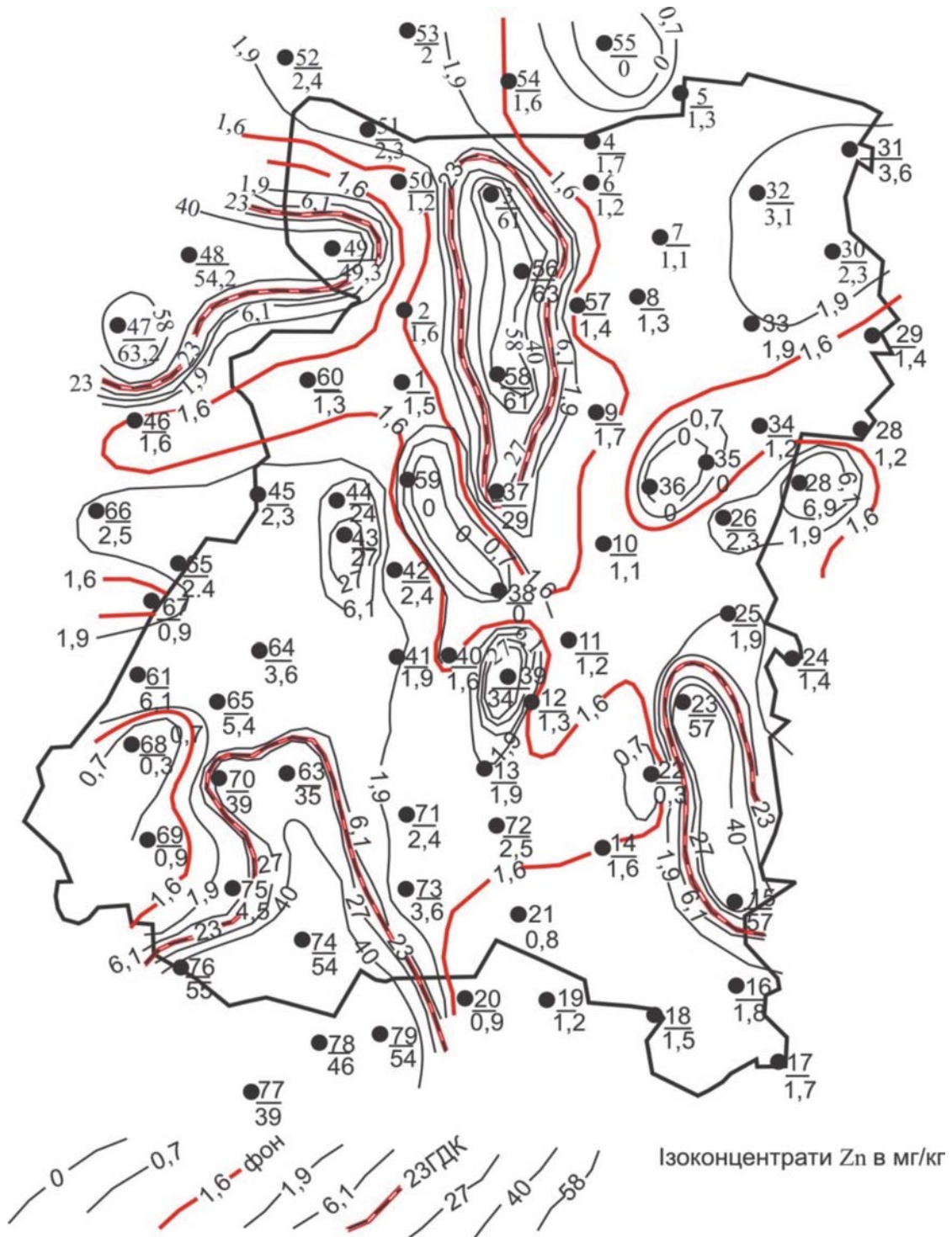


Рис. 7. Еколого-техногеохімічна карта вмісту (мг/кг) цинку (Zn) у ґрунтах Гусятинського району Тернопільської області. М 1:100000

8. Tornton I. Aspects geochemistry and health in the United Kingdom / I.Tornton // Origin and Distribution of the Elements. – 1978: Pergamon Press. – Vol. II. – PP. 791-805.

Поступила в редакцію 23 квітня 2012 р.

Рекомендував до друку д.г.-м.н. О.М. Адаменко