

УДК 621.039.7.001.2

© В.М. Триснюк, канд. географ. наук

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ РЕГІОНУ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ТА СУЧАСНИХ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ

Розглядається комплексний підхід до аналізу екологічної безпеки регіону, що включає проектування бази даних екологічного моніторингу, методи обробки та аналізу багатовимірної інформації про забруднення атмосфери, нові ГІС-технології побудови екологічних карт та виявлення територій підвищеного ризику.

Для полегшення змістовної інтерпретації даних моніторингу і результатів аналізу розроблено систему візуалізації екологічних індексів, які можна безпосередньо наносити на електронну карту регіону з різним екологічним статусом. Дані екологічного моніторингу компонентів довкілля регіонального рівня і результати аналізу представлені у вигляді карт статистичних поверхонь.

Ключові слова: статистична обробка, комп'ютерна програма, ґрунти, атмосферне повітря

Актуальність проблеми. Аналіз екологічної безпеки регіону тісно пов'язаний з дослідженням впливу навколишнього середовища на людину, який можна визначити за допомогою показників захворюваності та смертності у межах певних територіальних комплексів.

Підкреслимо, що в екологічних дослідженнях особливу роль відіграє принцип системності, який орієнтує на дослідження цілісних явищ у їх єдності та внутрішній динаміці. З цієї позиції показники захворюваності та смертності виступають як індикатори складних соціально-екологічних процесів, що відбуваються навколо. Отже, йдеться про те, щоб з'ясувати причини, які впливають на ці індикатори, зокрема - внесок екологічної складової.

Розглядаючи регіон як цілісну систему, можна виділити три фактори, що впливають на екологічну безпеку населення: це забруднення атмосфери підприємствами й транспортом, низька якість питної води, невідповідність продуктів харчування необхідним нормам. Проте, якщо споживання питної води або продуктів харчування все ж таки припускає можливості щодо контролю й управління якістю (людина може вибирати, що їй вживати), то екологічний стан атмосфери в сучасному місті продовжує погіршуватись під впливом транспорту та інших техногенних навантажень, вкрай обмежуючи можливості управління ситуацією.

Забруднення атмосфери визнано найбільш небезпечним за розміром своїх негативних наслідків, оскільки забруднення міста деякими сполуками вже набуло незворотного характеру й спричиняє негативні зміни здоров'я населення.

Розділ 3. Науково-технологічна безпека та інтелектуальні ресурси

У зв'язку з викладеним зростає значення науково-методичного й комп'ютерного забезпечення завдань моніторингу, комплексної оцінки забруднення атмосфери та визначення рівня екологічного ризику для окремих територій, де вирішальну роль відіграють сучасні ГІС-технології й геоінформаційні системи, що забезпечують просторове відображення територіальних об'єктів у вигляді електронних екологічних карт.

Постановка завдання. Метою дослідження є розробка інформаційно-аналітичної системи управління екологічною безпекою компонентів довкілля на територіальному рівні з використанням ГІС-технологій та екологічного картографування. Система включає науково-методичне та програмно-інформаційне забезпечення завдань моніторингу, контролю й управління станом навколишнього середовища у межах міста або регіону.

Викладення основного матеріалу. При екологічних дослідженнях того чи іншого регіону визначається оптимальна мережа екологічних полігонів (рис. 1), на яких відбираються проби з ґрунтового покриву.[1]

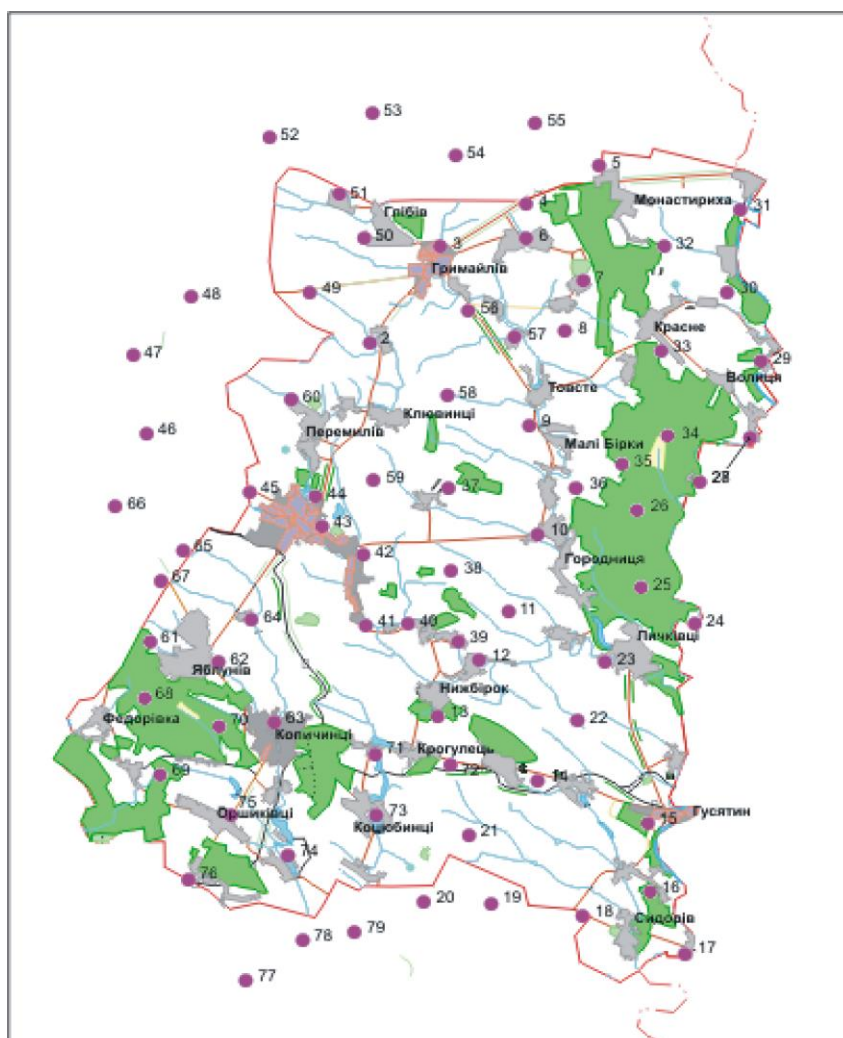


Рис. 1 - Мережа геоекологічних полігонів, де відбирались проби ґрунтів та атмосферного повітря Гусятинського району Тернопільської області. М 1:100000

Екологічна безпека та природокористування

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.

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 ґрунтовому покриві склалися із наступних етапів статистичної обробки даних:

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

Таблиця 1- База даних з кларків концентрації (Кк) елементів у ґрунтах Гусятинського району

1	Елементи та класи їх небезпеки											
	I						II					III
	Hg	Be	Cd	Pb	Se	Zn	Co	Mo	Cu	Cr VI	Ni	Sr
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	6,0241	2.63E-04	0,769231	0,2	0,090909	0	4,0625	0,018072	0,010638	0	0,012069	0,005556
2	7,2289	5.26E-04	0,769231	0,2	0	0	4,25	0,019277	0,012766	0	0,006897	0,016667
3	433,73	0	10,76923	0,2	0,090909	0	4,625	0,73494	0,157447	0,00012048	0,005172	0,038889
4	8,4337	0	1,538462	0,6	0	3,24E-05	0,2125	0,020482	0,012766	0	0,008621	0,011111
5	10,843	0	5,384615	0,8	0	3,82E-05	0,225	0,015663	0,010638	0	0,001724	0,038889
6	0	0	0,769231	1,4	0,272727	0,003412	0,1	0,014458	0,014894	0,00012048	0,003448	0,011111
7	0	0	4,615385	0,2	0,181818	0,003059	0,10625	0,013253	0,002128	0,00036145	0,001724	0,072222
8	0	2.63E-04	0,769231	0	0	0,003147	0,11875	0,015663	0,006383	0	0,005172	0,077778
9	0	7.89E-04	1,538462	0	0	0	4,4375	0,020482	0,006383	0	0,010345	0,05
10	1,2048	1.053E-03	0	0	0,090909	0	2,4375	0,013253	0,004255	0	0	0,038889
11	3,6145	2.63 E-04	0	0,6	0,636364	0	0,14375	0,014458	0	0	0	0
12	8,4337	0	0	0,2	0,545455	5,59E-05	0,18125	0,015663	0,002128	0	0	0

Ефективність виконання картографічних робіт, у свою чергу, багато в чому визначається структурою та змістом бази даних. Проектування бази екологічних даних зазвичай включає концептуальний, логічний і фізичний етапи, на кожному з яких розробляються відповідні моделі даних [2].

Концептуальний етап розробки полягає в створенні моделі даних, призначеної для вирішення найбільш загальних питань, і включає опис сутностей, атрибутів та типів даних. Так, у базі даних медико-екологічних досліджень зберігається інформація про результати моніторингу навколишнього середовища й перевищення норм за окремими показниками, дані соціально-демографічних досліджень (у першу чергу, показники народжуваності та смертності), дані про захворювання, пов'язані з дією шкідливих чинників середовища.

На логічному етапі розробляється конкретна структура бази даних, де враховуються

Розділ 3. Науково-технологічна безпека та інтелектуальні ресурси

наявні форми подання початкових даних. Для аналізу екологічної безпеки Тернопілля наповнення бази даних здійснюється на основі щомісячних звітів про забруднення атмосфер й даних Державного комітету статистики (показників захворюваності та смертності). Інформація подана у вигляді окремих файлів форматів програм Excel і Word.

На завершальному етапі проектування бази даних розроблено фізичну модель даних, де враховані особливості програмного забезпечення.

Можна назвати значну кількість комерційних програмних продуктів для зберігання й організації даних. Останнім часом перевага надається реляційній моделі, яка в більшості задач замінила ієрархічну та мережеву. Відповідно до цієї моделі інформацію подано у вигляді двовимірних таблиць, зручних для вибору окремих показників, часових проміжків, які можна об'єднувати, перетинати тощо.

Для взаємодії користувача з базою даних медико-екологічного моніторингу розроблено спеціальний графічний інтерфейс, який забезпечує пошук у таблицях даних, обробку й аналіз статистичної інформації, подання результатів аналізу у вигляді тематичних карт з виділенням небезпечних територій.

У процесі прийняття рішень, що ґрунтуються на результатах аналізу даних медико-екологічного моніторингу, особлива роль належить методам, які забезпечують візуальну інтерпретацію багатовимірної екологічної інформації для визначення екологічного статусу територій з високим рівнем техногенних навантажень.

Основною частиною геоінформаційної системи є аналітичний блок, який забезпечує реалізацію таких функцій:

- а) вибір і попередня статистична обробка даних, нормування;
- б) аналіз даних, який використовує методи обчислення основних статистик, зокрема багаторівневий алгоритм візуалізації, що включає факторний аналіз (метод головних компонент), кластерний аналіз ;
- в) прогноз тенденцій розвитку: на основі аналізу тимчасових рядів можна побудувати функціонально-стохастичну модель поведінки окремих компонентів і визначити тенденції розвитку системи в цілому;
- г) візуалізація - нанесення результатів аналізу на картографічну основу, створення карт просторових кореляцій, карт просторового розподілу навантажень, узагальнених факторів забруднення, інтегральних оцінок ризику.

В аналітичному блоці передбачена можливість всебічно оцінити наявну інформацію, починаючи від розрахунку основних статистик і закінчуючи побудовою складних функціонально-стохастичних моделей. Аналітичний блок тісно пов'язаний з блоком прийняття рішень, вони взаємно доповнюють один одного.

Сучасні ГІС-технології забезпечують просторове представлення екологічних об'єктів у вигляді електронних екологічних карт. У першу чергу, йдеться про карти статистичних поверхонь, які будуються за кількісними значеннями певних екологічних показників [2]. Одним з актуальних завдань цього напрямку є відтворення і візуальне представлення рельєфу статистичної поверхні на основі чисельних значень показників в опорних точках.

У процесі аналізу стану екологічної безпеки за даними екологічного моніторингу виникає необхідність обробки великих масивів статистичної інформації. Якщо прості операції обробки можна реалізувати в Excel, то істотно більше можливостей пропонують спеціалізовані математичні пакети, зокрема пакет Statistica 6.0, який використовувався для розрахунку інтегральних індексів забруднення атмосфери. Результати аналізу інформації також зберігаються в базі даних, оскільки вони можуть бути корисними для наступних етапів аналізу. Тому одержані результати впорядковуються у формі таблиць, що містять узагальнені чисельні характеристики (наприклад, індекси забруднення або рівні ризику), які також можна подати в графічному вигляді.

Завершальною стадією аналізу екологічного стану міста (регіону) є оформлення картографічних зображень із визначенням територій підвищеного ризику.

Із праць Ю.Е. Саєта та ін. [3] 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 точок визначалась з урахуванням розподілу ґрунтових відмін та особливостей території. Були опробовані усі головні ландшафтні елементи більш-менш рівномірно. Із досвіду геохімічних досліджень в інших регіонах [4,5,6] 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 (А) і ексцесу (Е) з урахуванням c^2 -критерію Пірсона при рівні значимості $q=0,05$ і відповідному ступені свободи. Прийняття гіпотези, що перевіряється, аргументувалось наступними параметрами: $A < 3$; $E < 3$; $c^2_{\text{розрах.}} \cdot c^2_{\text{табл.}}$. Розподіл елементів у природних середовищах завжди можна описати обмеженою кількістю законів: нормальним, логнормальним. У нашому дослідженні таким законом виявився закон нормального розподілу, тому всі розрахунки можна виконувати згідно з наведеними формулами (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 урахуванням t-критерію 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 керуючись необхідністю виявлення слабких аномалій, ми вважали за необхідне прийняти варіабельність фону в межах $\pm 3C_{\phi}$. Таким чином, ми прийняли вищенаведені статистичні показники прийнятними для досліджуваного регіону.

Отримані шляхом використання комп'ютерної програми EKOSTAT статистичні показ-

Розділ 3. Науково-технологічна безпека та інтелектуальні ресурси

ники фонового вмісту і аномальності використовуються для побудови еколого-техногеохімічних карт.

Таблиця 2 - Формули для статистичних розрахунків

Статистичні параметри	Розрахункові формули
Середнє:	
Арифметичне	$\bar{X} = \Sigma X_i / N$
Логарифмів	$\lg \bar{X} = \Sigma \lg X_i / N$
максимально правдиве	$C = 10^{\lg X + 1.1513 S_{\lg}^2}$
Дисперсія розподілу:	
Вмістів	$S^2 = \Sigma (X_i - \bar{X})^2 / N - 1$
логарифмів вмістів	$S_{\lg}^2 = \Sigma (\lg X_i - \lg \bar{X})^2 / N - 1$
Середньоквадратичне відхилення:	
середнє логарифмів вмістів	$S_{\lg}^2 = \sqrt{\Sigma (\lg X_i - \lg \bar{X})^2 / N - 1}$
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	$A = \Sigma (X_i - \bar{X})^3 / N \cdot S^3 \sqrt{6(N+3)^{-1}}$ $A_{\lg} = \Sigma (\lg X_i - \lg \bar{X})^3 / N \cdot S^3 \sqrt{6(N+3)^{-1}}$
Коефіцієнт Пірсона	$X^2 = \Sigma (n_j - n_j)^2 / n_j$
t-критерій Ст'юдента	$t_c = (X_1 - X_2) / \sqrt{\frac{S^2 X_1}{N_1} + \frac{S^2 X_2}{N_2}}$
Фоновий вміст	$X_{\phi} = 50\%$ частоти зустрічання
Флуктуація фону	$X_{\phi n.} - X_{\phi} = X_{\phi} - mS$
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 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 на картах проводяться не довільно, як іноді можна бачити на геохімічних картах, а тільки через характерні інтервали. Такі ізолінії будуть передавати характер розповсюдження елемента в середовищі довкілля [1.7] (рис. 2).

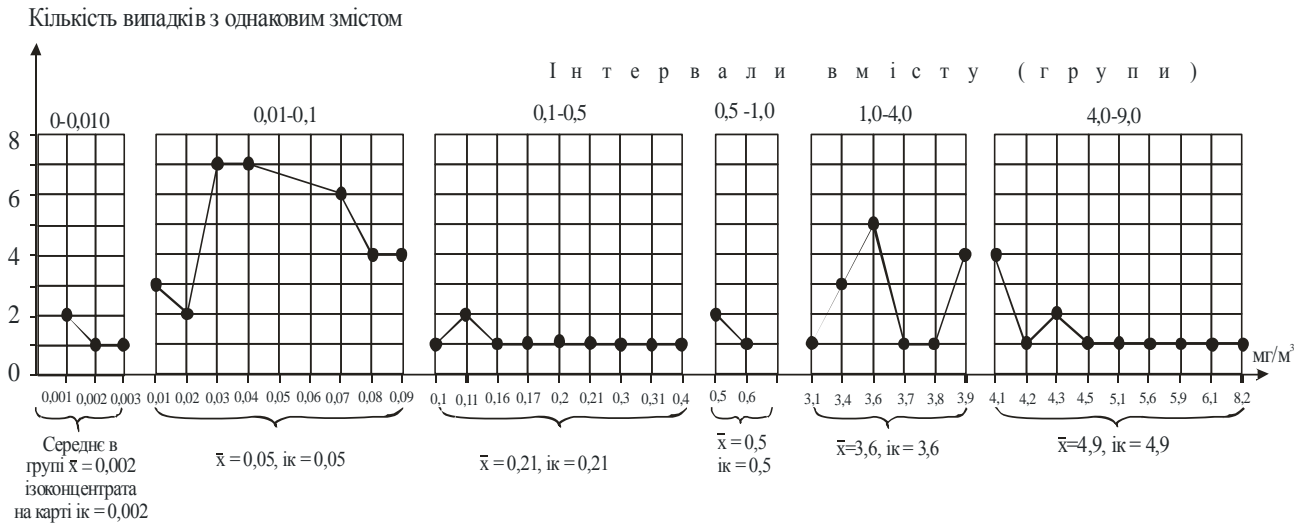


Рис. 2 - Групування вмісту (С) чадного газу в характерних інтервалах (групах) та визначення середнього вмісту (\bar{x}) в кожному характерному інтервалі (групі) для проведення на карті типових ізоліній однакових концентрацій елементів в атмосферному повітрі Гусятинського району (рис. 3)

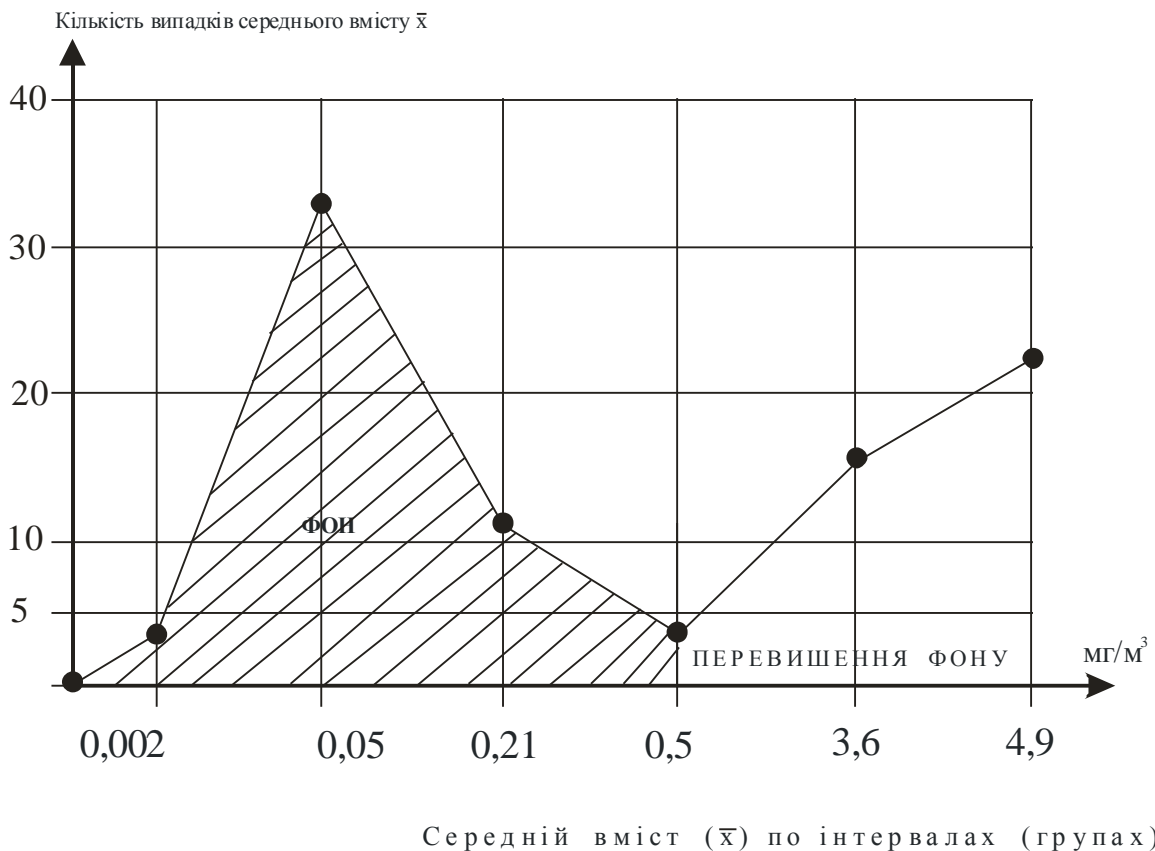


Рис. 3 - Розподіл середніх вмістів (\bar{X}) чадного газу по інтервалах (групах) в атмосферному повітрі Гусятинського району

Розділ 3. Науково-технологічна безпека та інтелектуальні ресурси

Поелементні еколого-техногеохімічні карти вмісту того чи іншого елемента в компонентах ландшафтів будуються шляхом інтерполяції даних від одного екологічного полігону до сусіднього (рис.4).

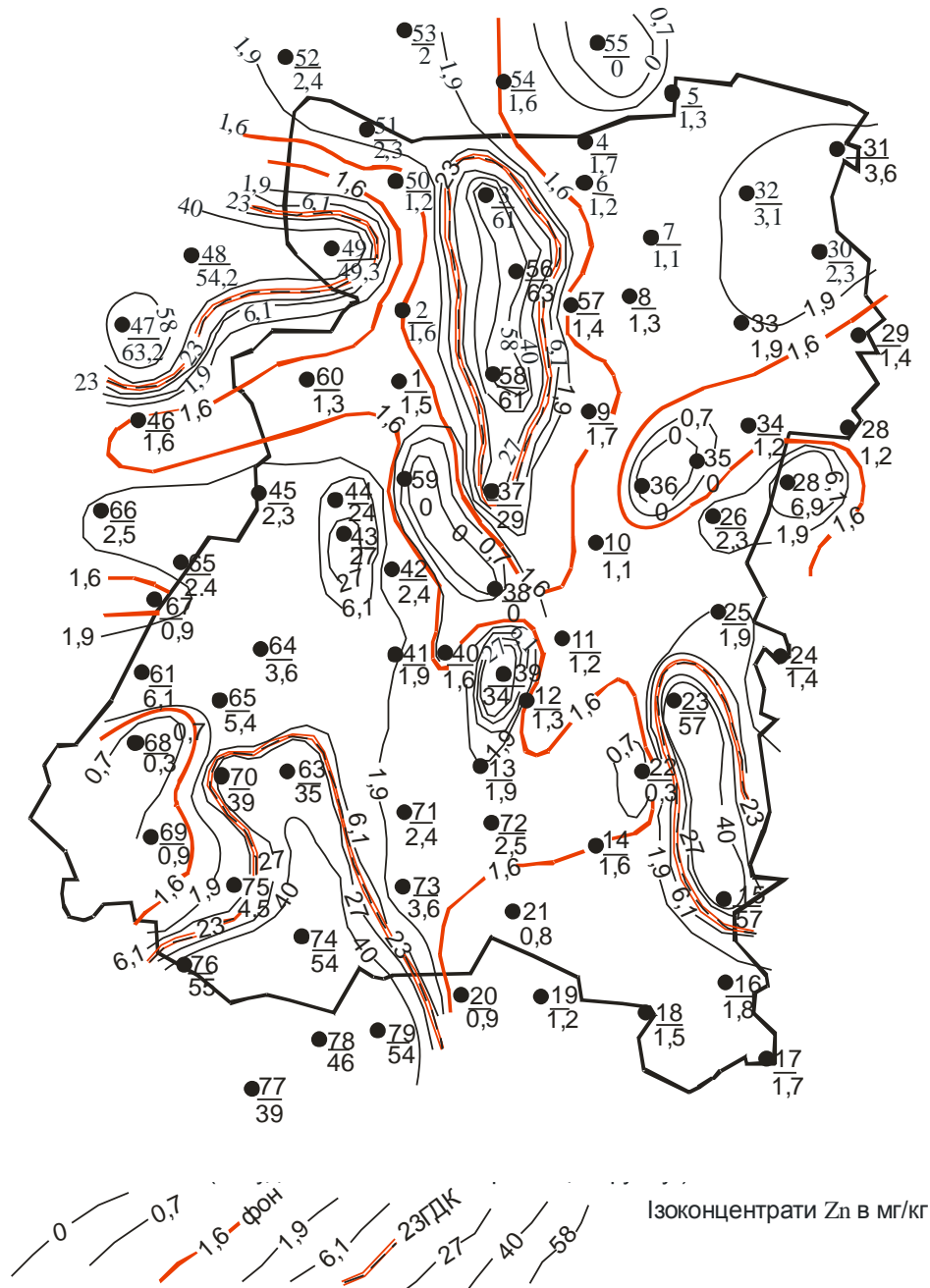


Рис. 4 - Еколого-технохімічна карта вмісту (мг/кг) цинку (Zn) в атмосферному повітрі Гусятинського району Тернопільської області. М 1:100000

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

Для визначення екологічного стану території запропоновано визначити індекси забруднення атмосфери окремих районів міста, отримані в результаті обробки даних моніторингу методами багатовимірної аналізу.

Для полегшення змістовної інтерпретації даних моніторингу та результатів аналізу зроблено систему візуалізації екологічних індексів, які можна безпосередньо наносити на електронну карту, тобто візуалізувати території з різним екологічним статусом.

Дані екологічного моніторингу й результати обробки представлені у вигляді екологічних карт статистичних поверхонь. Екологічні карти, що відображають стан атмосфери, можуть бути побудовані як на основі даних екологічного моніторингу, так і на основі екологічних індексів. Карты, побудовані на основі екологічних індексів, дають найбільш цілісне й інтегроване уявлення про екологічний стан досліджуваної території, оскільки одночасно враховується цілий ряд особливо небезпечних показників.

Запропоновані методи, що базуються на сучасних ГІС-технологіях побудови статистичних поверхонь, містять нові можливості для інтерпретації даних моніторингу забруднень і результатів аналізу.

Список використаної літератури

1. Триснюк В.М. Екологія Гусятинського району. Тернопіль. Тернограф. 2004.-219 с.
2. Сердюцкая Л.Ф., Каменева И.П., Яцишин А.В. Методические основы и компьютерные средства анализа экологической безопасности объектов топливно- энергетического комплекса // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. - К., 2007. - № 3. - С. 28-34.
3. Саєт Ю.А. Геохимия окружающей среды / Ю.А. Саєт, Б.А. Ревич, Е.П. Янина и др. - М.: Недра, 1990.-335 с.
4. Audits И. Agra Earth an Environmental Ltd. / Audits И. - Calgary: Canada, 1995. - PP. 13-21.
5. Environmental auditing: an introduction and practical guide / Environmental // The British Library, 1993.-№3.-78 p.
6. Джонсон К. ArcGIS Geostatistical Analyst. Руководство пользователя. - М.: Дата+, 2001. - 278 с.
7. Триснюк В. М. Географічна, туристична та екологічна навчальні практики у Дністровському каньйоні. / Заставецька О.В., Зорін Д.О., Триснюк В. М. Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. м. Тернопіль. Терно-граф.2010р -198с.

Стаття надійшла до редакції 18.12.12 українською мовою

© В.М. Триснюк

Комплексный анализ экологической безопасности региона на основе статистической обработки и современных ГИС-технологий

Рассматривается комплексный подход к анализу экологической безопасности региона, включающий проектирование базы данных экологического мониторинга, методы обработки и анализа многомерной информации о загрязнении атмосферы, новые ГИС-технологии по-

строения экологических карт и выявления территорий повышенного риска.

Для облегчения содержательной интерпретации данных мониторинга и результатов анализа разработана система визуализации экологических индексов, которые можно непосредственно наносить на электронную карту города, визуализируя территории с разным экологическим статусом. Данные экологического мониторинга атмосферы регионального уровня и результаты анализа представлены в виде карт статистических поверхностей.

© V.M. Trysnyuk

Comprehensive analysis of the ecological security of the region based on statistical analysis and modern GIS technology

Complex approach is examined to the analysis of ecological safety of city or region which includes planning of database ecological monitoring, methods of treatment and analysis of multidimensional information about the air pollution of city, new GIS-technologies of construction of ecological cards and exposure of territories of the promoted risk.

For the facilitation of rich in content interpretation of monitoring data and results of analysis the system of visualization of ecological indexes which can be directly plotted on electronic map of city is developed, that expose territories with different ecological status. Ecological monitoring data and the results of treatment are presented as ecological cards of statistical surfaces.