

ЕНТРОПІЙНО-РИЗИКОВА ОЦІНКА СТАНУ ТЕХНОГЕННО-ПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ

УДК 519.713:504.064

КОЗУЛЯ Тетяна Володимирівна

к.геогр.н., доцент кафедри комп'ютерного моніторингу
і логістики НТУ «Харківський політехнічний інститут».

Наукові інтереси: складні системи, синергетика і термодинамічний аналіз
соціально-еколого-економічних систем, екологічний моніторинг.

e-mail: kozulia@kpi.kharkov.ua

ЕМЕЛЬЯНОВА Дар'я Ігорівна

студентка НТУ «Харківський політехнічний інститут».

Наукові інтереси: прийняття рішень в системі екологічного моніторингу;
моделювання фізико-хімічних процесів у природних системах.

e-mail: sone4ko-2008@yandex.ru

КОЗУЛЯ Марія Михайлівна

студентка кафедри комп'ютерного моніторингу
і логістики НТУ «Харківський політехнічний інститут».

Наукові інтереси: системний аналіз, екологічний моніторинг.

ГАГАРІН Віталій Вікторович

к.т.н., доцент кафедри Інформаційних технологій

в міському господарстві Харківської національної академії міського господарства.

Наукові інтереси: системний аналіз складних систем.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Зумовлена необхідністю розвитку теоретико-практичних основ екологічних досліджень з оцінки якості навколишнього середовища (НС) відповідно до прийнятої державної концепції екологічної політики України. Математичне моделювання у галузі екологічних знань зазнає значних змін у зв'язку з розвитком уявлень про системність і складність об'єкта екологічних досліджень – еколого-соціально-економічна система. За останніми пропозиціями більш доцільним є звернення до систем-системних уявлень про екологічні об'єкти [1], необхідність розробки нових універсальних показників якості стану різномірних складових системи екологічних досліджень [2].

МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

При аналізі екологічної якості стану складного об'єкта згідно з запропонованою методологією комплексної оцінки екологічності систем (КЕС) використовується структурна і параметрична ідентифікації рівноваги систем і необоротних процесів, визначених самоорганізацією об'єкта [3]. Відповідно до системної моделі об'єкта (обов'язкове виділення економічного, екологічного і соціального аспектів об'єкта дослідження) передбачається згідно з теорією ентропії, синергетики та негентропії перехід від системного аналізу стану мікрооб'єкту до визначення перебігу процесів, що відповідають за гомеостаз внутрішнього середовища інтегру-

вальної системи і рівновагу «об'єкт – навколишнє середовище» – зовнішній гомеостаз.

Таким чином, задачею дослідження є визначення умов наведення екологічного порядку, тобто переведення системи з екологічно неупорядкованого стану до структурованого за рахунок забезпечення для «система-середовище» не випадкового, а кооперативного інформаційного зв'язку, що призводить до «колективного екологічного стану», який описується одним параметром порядку і реалізується за рахунок необоротних процесів. Характеристикою екологічності запропоновано визначити ентропію, як функцію стану системи, ймовірності порушення рівноваги і виникнення передумов перебігу певних трансформаційних процесів.

Формування задачі ідентифікації ступеня екологічності територіально-об'єктових систем передбачає розв'язання таких питань:

1) визначення відповідно до методології КЕС для різних систем і процесів в них за єдиною ентропійною

функцією кількісної характеристики їх екологічності (відсутність негативного впливу на об'єкти біосфери і людину);

2) проведення розрахунків оцінки екологічності стану техногенно-навантажених об'єктів за наданою методикою і забезпечення об'єктивності отриманих результатів.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Для вирішення комплексної екологічної задачі за методологією КЕС пропонується на основі імовірнісно-ентропійних характеристик стану систем і процесів (P, S і параметр стану x) перейти від результатів аналізу статистичних спостережень до характеристики термодинамічних потоків (процесів), які дозволяють утримати систему в стані рівноваги ($\Delta S \rightarrow 0$, рис. 1) чи зменшити негативні впливи між системами за рахунок трансформаційних перетворень ($S \rightarrow \max$, рис. 2), або фіксувати дестабілізацію в об'єкті ($\Delta S \rightarrow \max$, рис. 3).

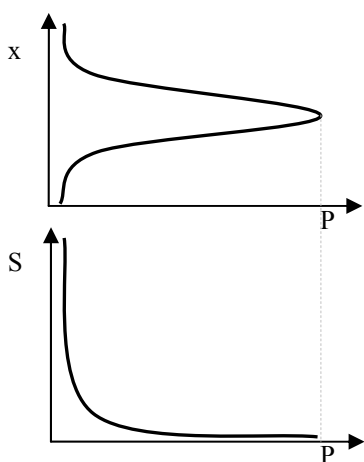


Рисунок 1

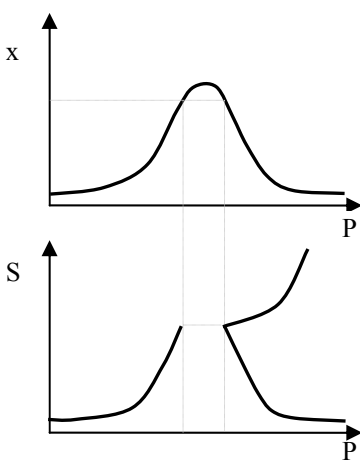


Рисунок 2

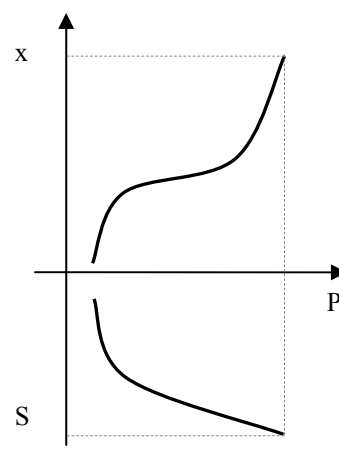


Рисунок 3

Загальний підхід у визначенні екологічності чи рівня екологічної безпеки системного об'єкта дослідження передбачає таку послідовність розв'язку задачі екологічної якості:

$$S_0 \xrightarrow{S_w} < S_1 \xrightarrow{q(x,t)} S_1^1 \xrightarrow{A_w} < S_2 \xrightarrow{D_w \rightarrow H_w'} S_{\max} (\Delta S \rightarrow 0) \quad (1)$$

де S_w – стохастичний оператор при дії природних впливів, зовнішнього регулювання в межах природоохоронних заходів;

$q(x, t)$ – зв'язок між системами, речовинно-енергетичний потік;

A_w – оператор переходу стохастичних функцій у детерміновані, який визначає перехід системи у новий стаціонарний стан у результаті самоорганізації;

D_w – детермінований оператор, який відповідає за функцію виходу, що приводить об'єкт у рівноважний екологічний стан за умови стабілізації зовнішнього і внутрішнього гомеостазу – оператор H_w схеми «вхід – вихід», який для системного утворення визначається

досягненням максимального ентропійного стану S_{\max} і відсутністю дестабілізуючих явищ ($\Delta S \rightarrow 0$).

Імовірно-ентропійний ризик підхід дозволяє у комплексній оцінці якості надати екологічну характеристику усіх трьох складових сталого розвитку, встановити процеси стабілізації і дестабілізації в аналізованих об'єктах НС, які впливають на ризик здоров'ю. Практична реалізація методології КЕС розглянуто на прикладі дослідження відповідності екологічному стану ланд-

шафтно-геохімічних комплексів території Зміївського району, які знаходяться під впливом промислово-енергетичного комплексу.

Для оцінки процесів у складових дослідженої територіально-об'єктовій системи, визначення імовірності впливу на стан екологічних компонент і негативної дії на організми і людину розраховано ризик впливу і ентропію діючого фактора у такій послідовності:

$$1) \sigma(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{\text{lenght}(X)-1} (X_i - \min(X))^2}{\text{lenght}(X) - 1}}, \quad \sigma\sigma(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{\text{lenght}(X)-1} (X_i - 1)^2}{\text{lenght}(X) - 1}};$$

2) імовірність стану, впливу

$$P(X, x_1, x_2) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \sigma(X)}} \left[\frac{-1}{2} \cdot \text{erf} \left(\frac{1}{2} \sqrt{2} \frac{(-\max(X) + \min(X))}{\sigma(X)} \right) \frac{\pi'}{2} \right. \\ \left. - \sqrt{2} \sigma(X) + \frac{1}{2} \cdot \text{erf} \left(\frac{1}{2} \sqrt{2} \frac{(-\text{mean}(X) + \min(X))}{\sigma(X)} \right) \cdot \frac{\pi'}{2} \sqrt{2} \sigma(X) \right], \quad (2)$$

$$PP(X, x_1, x_2) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \sigma(X)}} \left[\frac{-1}{2} \text{erf} \left(\frac{1}{2} \sqrt{2} \frac{(-\max(X) + 1)}{\sigma(X)} \right) \cdot \frac{\pi'}{2} \sqrt{2} \sigma(X) + \frac{1}{2} \text{erf} \left(\frac{1}{2} \sqrt{2} \frac{(-\min(X) + 1)}{\sigma(X)} \right) \cdot \frac{\pi'}{2} \sqrt{2} \sigma(X) \right],$$

3) ризик впливу як інформаційна ентропія і ентропія процесів впливу

$$S(P) = \ln P(X, x_1, x_2) = \log_{\text{arifm}}(X), \quad \text{Risk} = SI = -P(X) \cdot \ln[P(X)],$$

$$\text{Risk} = SS(X) = -PP(X) \cdot \ln[PP(X)].$$

За методологією КЕС на основі нормованих даних моніторингу забруднення території у вигляді індексу забруднення визначаються порушення екологічності і зміни системного об'єкта відповідно до розрахованої величини ентропії ($S(P) = \log_{\text{arifm}}$) з подальшим аналізом рівня небезпеки за ентропійною оцінкою вірогідності процесів, що відбуваються у даному середовищі ($RR(\text{econ}) = S1 \rightarrow PPI(X)$), і надається остаточна оцінка безпеки стану території за величиною екологічного ризику (RR_{ecol}).

Екологічність за наданим підходом є загальною комплексною оцінкою соціально еколого-економічної системи. Вихідними даними для її розрахунку у роботі використані дослідження екологічного стану долинних ландшафтів р. Сіверський Донець, які знаходяться під впливом дії промислово енергетичного комплексу Зміївського району. В аналізі використані аналітичні результати контролю якості 6 постійних контрольних точок спостереження протягом 1994 – 2004 рр., що

склало з урахуванням паралельного аналізу близько 400 зразків і 10800 елемент-визначень [3].

Відповідно до умови термодинамічної рівноваги перебіг перетворень відбувається у напрямку збільшення ентропії, що обґрунтовано у вигляді матриці сполученості ентропійної оцінки стану елементів у потоці ($S(P)$). Ентропійні зміни техногенних надходжень проаналізовані відповідно до даних ландшафтно-геохімічного стану території дослідження (картографічний матеріал MapInfo Professional 8.5 SCP) з врахуванням умов досягнення гомеостазу при перебігу трансформаційних змін за участю полютантів – $\Delta S \rightarrow \max$. Вірогідність переходу системи ґрунт з нерівноважного стану під дією техногенного потоку в стаціонарне положення контролюється властивостями геохімічного простору – типігеоморфологією ґрунту, природним складом, що контролює акумулюючу здатність до дії зовнішніх хімічних надходжень, рН середовища міграції ВМ. У сукупності надані характеристики складають умови для прояву відповідної

поведінки техногенних потоків забруднювачів, що запропоновано аналізувати, виходячи з термодинамічної природи екосистем і об'єктів НС, за ентропійною функцією (рис. 4) [4].

ЛАНДШАФТНО-ГЕОХІМІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ

ГЕОХІМІЧНІ ЛАНДШАФТИ З РІЗНОЮ ЗДАТНІСТЮ ДО МІГРАЦІЇ І НАКОПИЧЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

- з низькою здатністю до самоочищення
- із здатністю до самоочищення і до акумуляції
- з переважною здатністю до акумуляції

АСОЦІАЦІЇ ТОКСИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

$C_{71}Pb_{0,001}(Cl,SO_4,NH_4)$

$C_{12}Pb_{0,001}$ - токсичні хімічні елементи і техногенні речовини в атмосферних викидах міст, в кг/людину/рік
 (Cl,SO_4,NH_4) - токсичні елементи в стічних водах промислово-міських агломерацій

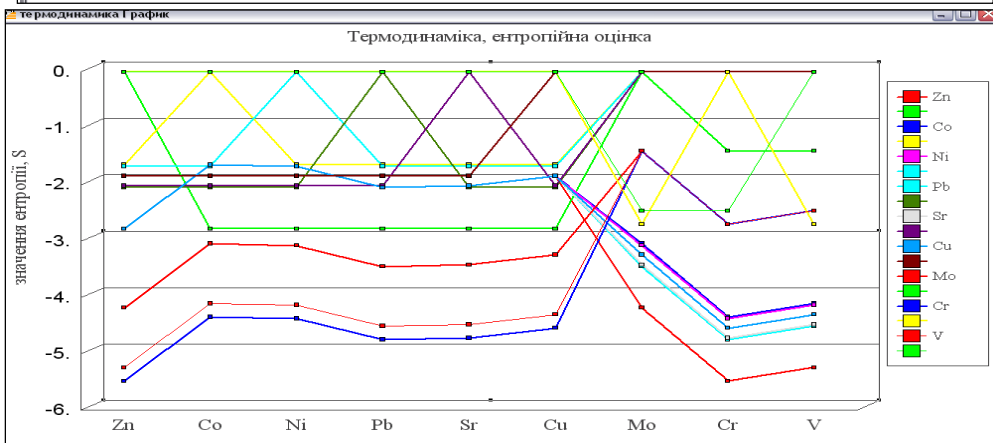
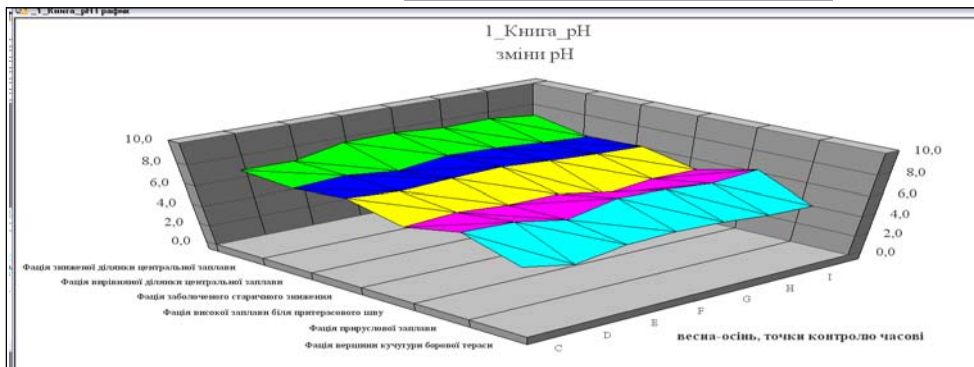
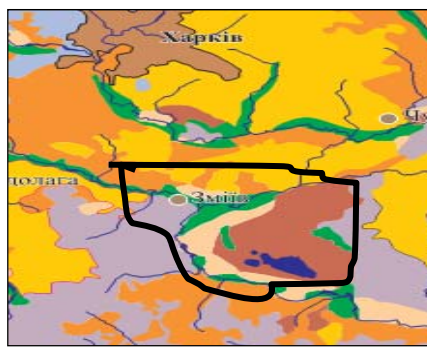
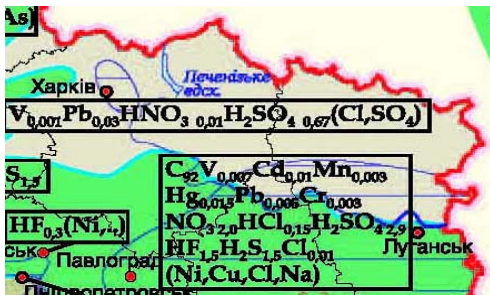


Рисунок 4 – Ентропійна оцінка стану ВМ відповідно до ландшафтно-геохімічного стану території

Комплексний екологічний ризик надано у вигляді у вигляді імовірно-ентропійної оцінки якості навколишнього середовища території у вигляді ризику небезпеки, ризику дії на складові НС, загального екологічного ризику (табл. 1). При розгляді територіально-об'єктових систем комплексна оцінка екологічності визначається ризиком

здоров'ю як відгук на усю низку пересування забруднюючої речовини в навколишньому середовищі.

Для розрахунку ризику здоров'я за даними еколого-медичного моніторингу запропоновано визначити, по-перше, фактор порушення стану організму людини – результат кластерного аналізу, по-друге, встановити

параметри еколого-гігієнічної оцінки рівня здоров'я населення за методом головних компонент.

У ході роботи проаналізовані результати кластерного аналізу за методом Ворса (виділенням кластерів за метрикою відстані Чебишева при порогових відстанях 2000, 4000, 6000, 8000 і т.д.) і за методом ближньо-

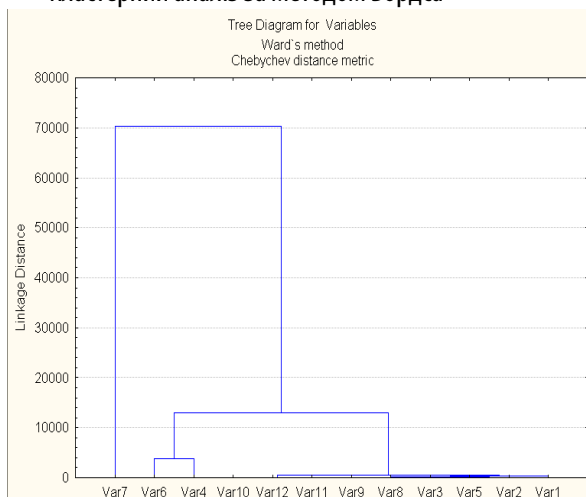
го сусіда (виділення кластерів за метрикою евклідової відстані при порогових відстанях 4000, 8000, 12000 і т.д.). Отримані групи захворювань близькі, дещо більш одноманітні кластери визначені за методом ближнього сусіда, що дозволило сформувати однорідні групи захворювань (рис. 5).

Таблиця 1 –

Результати аналізу імовірнісно-ентропійної оцінки ризику у ґрунтах

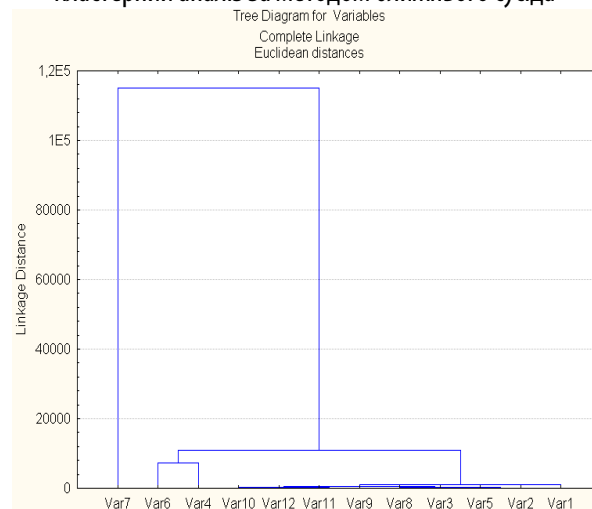
Елементи забруднення	Імовірність відхилення від m впливу $P(X)$	Ентропійна оцінка стану ВМ у міграційному потоці ґрунту $S(P) = \log_{10} P(X)$	Ризик дії забруднюючого елемента, оцінка інформаційно-ентропії $RR(ekon) = S1$	Імовірність відхилення техногенного навантаження від допустимих нормативних значень $PP(X)$	Екологічний ризик $SS(X)$ RR_{ecol}
Стан важких металів у просторовому розповсюдженні у ґрунтах 5-10 см					
Zn	0,104	-2,267	0,235	0,545	0,331
Co	0,2	-1,611	0,322	0,581	0,316
Ni	0,199	-1,616	0,321	0,481	0,352
Pb	0,13	-2,042	0,265	0,332	0,366
Sr	0,185	-1,687	0,312	0,716	0,239
Cu	0,159	-1,842	0,292	0,308	0,363
Cr	0,071	-2,642	0,188	0,446	0,36
V	0,088	-2,435	0,213	0,28	0,356
Mo	0,231	-1,465	0,339	0,332	0,366

Кластерний аналіз за методом Вордса



Кластери: хвороби var 1, 2, 3, і 5 – злоякісні новоутворення, захворюваність на хронічний пієлонефрит, захворюваність на камені нирок и сечоводів, захворюваність на атеросклероз;
хвороби var 12, 11 і 9 – дерматомікози, короста, дизентерія;
хвороби var 6 і 4 – захворюваність на гіпертонічну хворобу, хвороби органів травлення

Кластерний аналіз за методом ближнього сусіда



Кластери: хвороби var 9, 10, 11, і 12 – дизентерія; вірусний гепатит, дерматомікози, короста;
хвороби var 8, 3, 5, 2 і 1 – гострі кишкові захворювання всього, захворюваність на камені нирок и сечоводів, захворюваність на атеросклероз, захворюваність на хронічний пієлонефрит, злоякісні новоутворення;
хвороби var 6 і 4 – захворюваність на гіпертонічну хворобу, хвороби органів травлення

Рисунок 2 – Аналіз даних кластерного аналізу захворюваності території дослідження

Для опису усього діапазону змін властивостей захворювань беруть хвороби, що належать різним класерам – гострі кишкові захворювання всього і хвороби органів дихання.

Таким чином, з наданого вище аналізу суттєвих ефектів у порушенні здоров'я визначено групу захворювань, за якою відповідно до методу головних компонент визначені вагомості, які є основою для еколого-гігієнічної оцінки стану техногенно-навантаженої території дослідження.

Розглянуто вісім власних чисел детермінантної матриці; відсоток варіабельності розраховано відносно

суми елементів головної діагоналі матриці, що дорівнює 8. Перші дві канонічні величини несуть 87,35 % повної варіабельності детермінантної матриці, причому на частку першої з них доводиться 75,57%. Відповідний критерій значимості показує, що для дискримінації між групами практично важливі злочисні новоутворення, захворюваність на хронічній піелонефрит і захворюваність на гіпертонічну хворобу, що становлять 90,5% значимості оцінки наслідків екологічного стану території, врахування захворюваність на атеросклероз і камені нирок и сечоводів визначає понад 96% загального ефекту (табл. 2).

Таблиця 2 –

Аналіз головних характеристик захворюваності для еколого-гігієнічного оцінювання

Канонічна величина	Власне число	Частка варіабельності, %	Кумулятивна частка, %
var 1	813,81	75,57	75,57
var 2	126,85	11,78	87,35
var 6	34,12	3,17	90,51
var 5	32,00	2,97	93,49
var 3	24,35	2,26	95,75
var 4	22,47	2,09	97,83
var 7	11,78	1,09	98,93
var 8	11,55	1,07	100,00
	1076,93	100,00	

Аналіз залежності кількості населення (Var1), народжуваності (Var2) і смертності(Var3) від окремих видів захворювання показав, що кореляція цих демо-

графічних характеристик суттєва від названих вище хвороб (Var5-12) для захворювань на хронічній піелонефрит (Var6), захворюваність на атеросклероз (Var9):

Correlations (Spreadsheet1)																		
Marked correlations are significant at p < ,05000																		
N=11 (Casewise deletion of missing data)																		
Variable	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14	Var15	Var16	Var17	Var18
Var1	1,00	-0,93	-0,83	-0,62	0,27	0,83	-0,43	-0,72	-0,93	0,62	-0,77	-0,71	-0,93	-0,53	-0,13	0,83	-0,83	-0,43
Var2	-0,93	1,00	0,68	0,82	-0,17	-0,77	0,43	0,53	0,83	-0,77	0,68	0,68	0,77	0,68	0,27	-0,77	0,77	0,32
Var3	-0,83	0,68	1,00	0,14	-0,07	-0,77	0,43	0,83	0,77	-0,68	0,83	0,83	0,83	0,32	0,07	-0,83	0,77	0,32
Var4	-0,62	0,82	0,14	1,00	-0,14	-0,43	0,17	0,07	0,53	-0,53	0,27	0,32	0,43	0,62	0,32	-0,32	0,32	0,17

Остаточні результати зведені в табл. 3 і підтверджуються даними санітарних служб стосовно досліджень санітарно-гігієнічної якості даної території [5]. Оцінка ризику здоров'ю і рівень небезпеки розрахована

ний за формулами (2) і визначений відповідно до шкали, наданої в літературних джерелах [6].

Отже, ризик порушень екологічної рівноваги при наявності збільшеної кількості не задіяних у трансформаційних процесах важких металів, ідентифікованих за

їх наявністю у ґрунті, оцінюється як середній ризик, що визначає вплив на стан здоров'я населення на території Зміївського району, ідентифікований у вигляді ризику здоров'ю за тією ж шкалою як критичний ризик.

Таблиця 3 –

Результати імовірнісного ризик-аналізу на основі динаміки змін захворювання

Захворювання	Імовірність відхилення від тієї ж шкалою як критичний ризик	Ентропійна оцінка $S(P) = -\log_2 p$	Ризик, оцінка інформаційної ентропії $Risk = S1$	Оцінка ризику*
var 1- злякисні новоутворення	0,128	-2,052	0,26	малий
var 2- захворюваність на хронічній пієлонефрит	0,172	-1,762	0,3	середній
var 6- захворюваність на гіпертонічну хворобу	0,164	-1,805	0,297	середній
var 5-, захворюваність на атеросклероз	0,147	-1,92	0,281	малий
var 3- захворюваність на камені нирок и сечоводів	0,161	-1,826	0,294	середній

Примітка: * – відповідно до [6]: 0,1–0,3 – малий ризик; 0,3–0,4 – середній ризик

ВИСНОВКИ

Опис дослідженої території як інтегрованої системи за методологією комплексної оцінки екологічності дозволяє при визначенні рівня безпечності ситуації за результатами статичних даних вимірювання вмісту факторів порушення рівноваги у ґрунтах урахувати вірогідність хіміко-трансформаційних перетворень (статистична обробка результатів моніторингу ґрунтів, математичні моделі взаємозв'язку між характеристиками стану об'єкта), що дає підстави для надання еколого-гігієнічної оцінки з встановленням комплексного механізму регулювання якості техногенно-навантаженої території.

Дослідження питання оцінки якості НС відповідно до концепції сталого розвитку з метою формування комплексного методичного підходу з визначення екологічної небезпеки і підвищення ефективності прийняття рішення дозволило встановити:

- 1) доцільність етапності у розв'язанні задачі оцінки якості з урахуванням макро- і макрорівня аналізу:
 - визначення загального рівня екологічності дослідженого геохімічного середовища ґрунту як міграційно-трансформаційного шляху техногенних потоків;
 - оцінка відповідності навантаження нормативам якості об'єктів НС – ентропійна оцінка і ризик аналіз;
- 2) підвищення об'єктивності прийняття рішення за рахунок впровадження процесу як елементу аналітичної системи «стан - процес – стан – ризик здоров'ю».



ЛІТЕРАТУРА:

1. Грищенко В.І. Біоко медицина. Єдиний інформаційний простір /В.І. Грищенко, М.І. Вовк, А.Б. Котова. – К.: Наукова думка, 2001. – 314 с.
2. Згуровський М.З. Сталий розвиток в глобальному і регіональному вимірах /М.З. Згуровський – К.: Вид-во «Політехніка», 2006. – 85 с.
3. Козуля Т.В. Процеси екологічного регулювання. Концепція корпоративної екологічної системи: монографія /Т.В. Козуля. – Харків: НТУ «ХПИ», 2010. – 588 с.
4. Україна. Еколого-географічний атлас. – К.: Рада по вивченню продуктивних сил України, НАН України, 2006. – 211 с.
5. Кратенко І.С. Санітарно-гігієнічна характеристика стану оточуючого середовища в зоні впливу Зміївської ТЕС /І.С. Кратенко, Л.М. Мовчан, Т.Ф. Сотнікова //Епідеміологія, екологія, гігієна: Сб. мат. 6-ой итоговой регион. научно-практ. конф /Харьковская областная санэпидстанция. – Харьков, 2003. – С.90-91.
6. Машина Н.І. Економічний ризик і методи його вимірювання /Н.І. Машина. – К.: Центр навчальної літератури, 2003. –188 с.