

ОСНОВИ МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОСТІ СИСТЕМ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Т.В. КОЗУЛЯ, Н.В. ШАРОНОВА, Д.І. ЄМЕЛЬЯНОВА, М.М. КОЗУЛЯ

Надано теоретико-практичні засади обґрунтування методики оцінки екологічності на основі імовірісно-ентропійного ризик-аналізу для розв'язання задач екологічної безпеки на рівні ландшафтно-геохімічних комплексів і природно-техногенних територій. Запропоновано для встановлення механізмів усунення прямого зв'язку між економічним розвитком і погіршенням стану навколишнього природного середовища запровадити імовірісно-ентропійний аналіз стану системного об'єкта на мікро- і макрорівні дослідження стосовно даних «стан→процес→стан» щодо гомеостазу «система–зовнішнє середовище». Для реалізації такого підходу з екологічної оцінки природно-техногенного об'єкта запропоновано використати ентропійну функцію. Подано практичні приклади оцінки екологічної якості досліджених техногенно-навантажених об'єктів за методологією КЕС і її сполучення з MIPS-аналізом.

ВСТУП

Актуальність і доцільність теми роботи пов'язана з:

- відсутністю методичного забезпечення розв'язання задач оцінки екологічної якості навколишнього середовища з урахуванням процесів, пов'язаних із наслідками впливу техногенних факторів та міграційно-трансформаційних механізмів у системі моніторингу;
- формуванням нових підходів до застосування принципів рівності трьох складових розвитку держави (економічної, екологічної, соціальної) для реалізації Концепції національної екологічної політики України, затвердження пріоритетності екологічних цінностей за умови сталого розвитку еколого-соціально-економічної системи.

Для подальшого розвитку потенціалу засобів і теоретичних підходів з аналізу і методів обробки даних моніторингу є необхідним підвищення інформаційних можливостей прийняття рішення з екологічної безпеки за умови інтеграції екологічних цілей на рівні соціально-економічних програм розвитку суспільства.

Таким чином, *основну ідею роботи* спрямовано на обґрунтування методики комплексної оцінки якості та екологічної безпеки природно-техногенних територій відповідно до екологічних положень концепції сталого розвитку та національної екологічної політики з метою стабілізації природного стану геохімічного середовища.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Обов'язкове виділення економічного, екологічного і соціального аспектів [1, 2] у системній моделі об'єкта дослідження передбачає використання по-

ложень теорії ентропії, синергетики та негентропії, перехід від системного аналізу стану мікрооб'єкта до визначення перебігу процесів, що відповідають за гомеостаз внутрішнього середовища інтегративної системи і рівновагу «об'єкт – навколишнє середовище» (зовнішній гомеостаз). Постановка задачі дослідження ставить за мету наведення екологічного порядку завдяки переведення системи з екологічно неупорядкованого стану до структурованого завдяки забезпеченню для «система–середовище» не випадкового, а кооперативного інформаційного зв'язку [3], що призводить до «колективного екологічного стану» за одним параметром порядку і реалізується за рахунок необоротних процесів.

Мета роботи — формування задачі ідентифікації ступеня екологічності природно-техногенних об'єктів різного рівня складності, що передбачає розв'язання таких задач:

- обґрунтування об'єктивних методичних підходів до комплексної оцінки якості еколого-соціально-економічних систем і процесів у них з метою встановлення рівня їх екологічності (відсутність негативного впливу на об'єкти біосфери і людину);
- практична реалізація комплексного аналізу екологічності стану техногенно-навантажених об'єктів за наданою методикою ентропійної оцінки «стан системи – процес – фактори саморегулювання безпечності».

СУТНІСТЬ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методика комплексної екологічності систем (КЕС) передбачає використання імовірнісно-ентропійних характеристик стану систем і процесів: імовірність P ; ентропія S та параметр стану x ; перейти від результатів аналізу статистичних спостережень до розгляду термодинамічних процесів, які визначають для системи перехід в стан рівноваги ($\Delta S \rightarrow 0$) (рис. 1), або зменшення негативного впливу між системами за рахунок трансформаційних перетворень ($S \rightarrow \max$) (рис. 2), або порушення рівноваги з переходом у неупорядкований стан ($\Delta S \rightarrow \max$) (рис. 3).

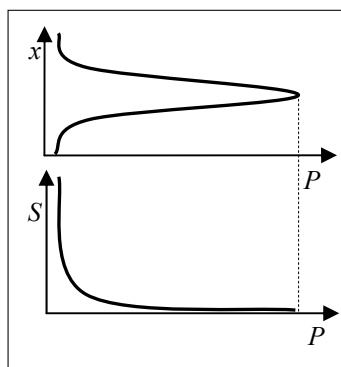


Рис. 1. Стан рівноваги $\Delta S \rightarrow 0$

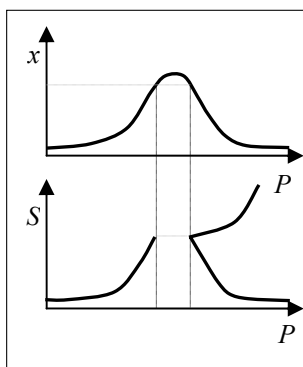


Рис. 2. Стабілізація, позитивні процеси $S \rightarrow \max$

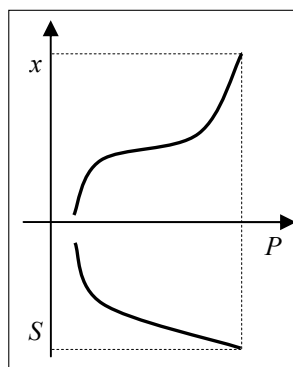


Рис. 3. Порушення рівноваги $\Delta S \rightarrow \max$

Розробка методики імовірнісно-ентропійного підходу комплексної оцінки якості навколишнього середовища визначалася запровадженням в екологічний аналіз положень із теорії систем, синергетики, ентропії та інфор-

мації вітчизняних і зарубіжних науковців І.Р. Пригожина, І. Стенгерса, Дж. Ніколаса, Н. Мартина, Дж. Інгланда, Г. Хакена, Э.Х. Лийва, Л. Бриллюена, Б.Б. Кадомцева. Методика оцінки екологічності складної організаційної системи передбачає встановлення механізмів усунення прямого зв'язку між економічним зростанням і погіршенням стану навколишнього природного середовища. Мова йде про можливість для соціально-еколого-економічної системи надати аналітичну оцінку екологічної відповідності її стану і функціонування в площині імовірно-ентропійно-ризикового рівня виконання вимог безпеки. На базі даних «стан→процес→стан» щодо гомеостазу «система – зовнішнє середовище» за імовірно-ентропійним аналізом на мікро-і макрорівні системного об'єкта його загальний стан визначимо ентропійним функціоналом вигляду:

$$S_{\text{KEC}} = \{U_T, F(t, u), E(t, u), X_{qE}, S_w, A_w, D_w\},$$

де $U_T = T \otimes U$ — зовнішнє регулювання стану (управління U , час T); $F(t, u)$ — функціонал зовнішньої дії на систему; $E(t, u)$ — енергетичний потенціал зовнішнього впливу; X_{qE} — внутрішній стан системи; S_w — стохастичний оператор, який відповідає за перетворення не випадкових функцій (функцій стану та функціонування визначеної статистично рівноважної системи) у випадкові (функції трансформації при стохастичній дії фактора); A_w — оператор усереднення — перехід стохастичних функцій у детерміновані (перехід системи у новий стаціонарний стан у результаті самоорганізації); D_w — детермінований оператор, який відповідає за функцію виходу.

Оскільки випадковий функціонал не може бути критерієм якості системи, то використаємо його статистичні характеристики з урахуванням вагомості (w_i) $\bar{J} = \sum_{i=1}^k w_i J_i$. Відповідність умовам екологічної якості об'єкта J

за незначного впливу на нього з боку зовнішнього середовища на макрорівні $F(t, u)$ (управління на складові системи $V_d(t, u)$) згідно з «термодинамічним досвідом» розв'язання техніко-економічних задач має вигляд:

$$J = J[D_w, Q(t, u)], \quad Q(t, u) = M\{S_w, F(t, u)\}, \quad Q(t, u) = M\{S_w, V_d(t, u)\},$$

де M — оператор математичного очікування.

Відносно змінних w_i ($i \in \overline{1, k}$) функціонал є лінійним. Для визначення імовірного макростану інтегрувальної системи, зважаючи на прийняті термодинамічні положення, використовують ентропію $S = C \ln P$, яка за умови великих значень N складових елементів системи має вигляд: $S =$

$$= -\sum_{i=1}^m N_i \ln N_i + C_0, \quad \text{де } C \text{ та } C_0 \text{ є константами, що становлять умови реалізації макростану системи.}$$

Прийняття управлінського рішення з стабілізації безпеки еколого-соціально-економічного об'єкта при детермінованому управлінні визначається функцією $V_d(t, u)$, якщо J досягає екстремуму. За умови виділення в моделі об'єкта трьох складових аспектів надають випадковий набір детер-

мінованих функцій Q_1, Q_2, Q_3 та критерій якості визначають за індексом виду $J_i = J[D_w, Q_i(t, u)]$ за умови максимізації ентропії рівноважного стану і прийнятих обмеженнях:

- постійне число елементів складових систем — $\sum_{i=1}^m N_i = N$;
- постійність енергії складових систем — $\sum_{i=1}^m \varepsilon_i N_i = E$, де ε_i — енергія одного із елементів системи, що витрачається для забезпечення певного прийняттого екологічного стану об'єкта (рис. 4).

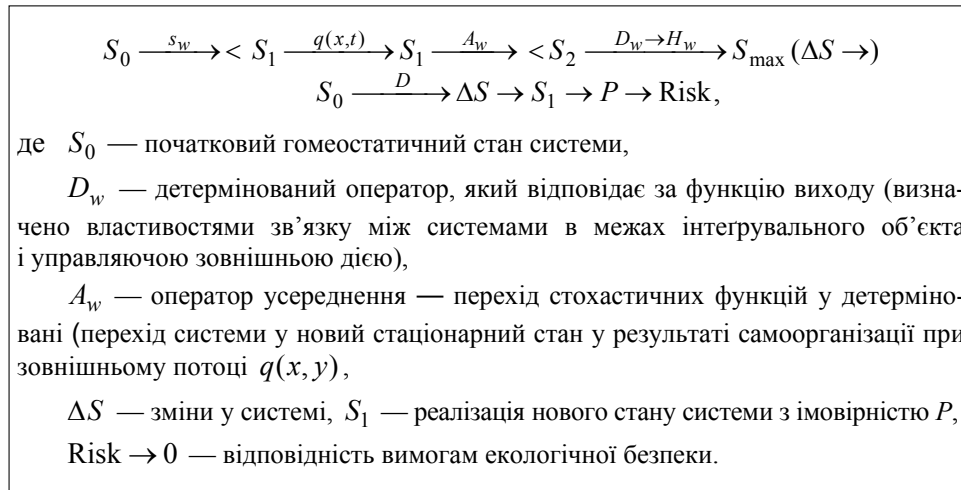


Рис. 4. Аналіз екологічної відповідності, умов регулювання гомеостазу

Для прикладу апробації методики КЕС взято дані дослідження геохімічно-трансформаційної міграції важких металів у ґрунтах на території Зміївського району за результатами спостережень протягом 1994 – 2004 рр., що склало з урахуванням паралельного аналізу близько 400 зразків проб ґрунту та 10800 елемент-визначень [4].

Порушення екологічної рівноваги, а значить і поява небезпеки в об'єкті навколишнього середовища (P) визначається величиною ентропії стану елементів забруднення ($S(P)$) та ентропійної оцінки вірогідних процесів для цього середовища ($RR_{\text{econ}} = S1$), що дає підстави для остаточного встановлення ентропійної оцінки якості середовища (RR_{ecol}) і встановлення ризик-факторів (рис. 5).

За даними термодинаміки самовільних процесів визначено вірогідність трансформації хімічних елементів за довільними процесами, а саме сполучення катіонних і аніонних міграційних форм важких металів з утворенням нерозчинних сполук, у напрямку збільшення ентропії і зменшення енергетичного запасу, що обґрунтовано у вигляді матриці сполученості ентропійної оцінки стану елементів у потоці ($S(P)$) й графічного аналізу ентропійних змін $\Delta S \rightarrow \max$ (рис. 6).

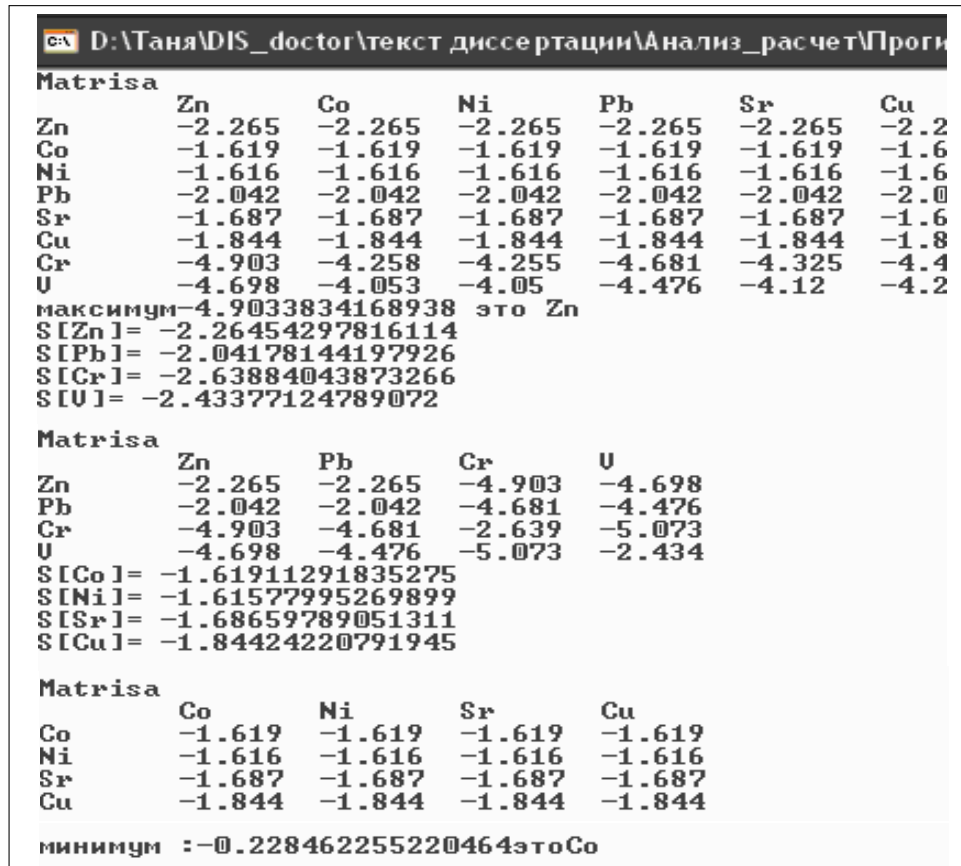


Рис. 5. Ентропійна ризик-оцінка впливу важких металів на стан ґрунтів

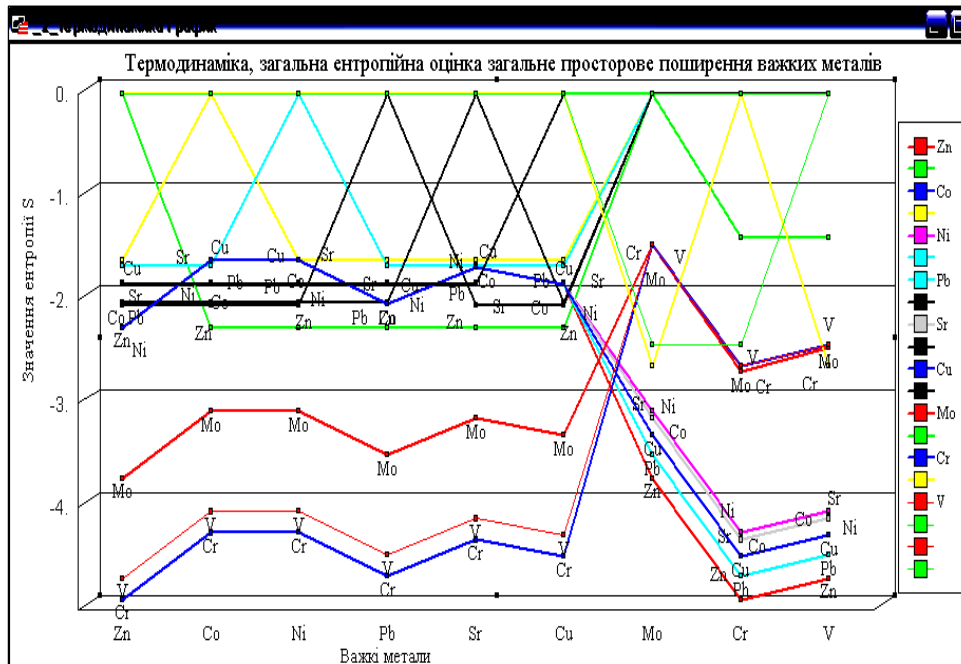


Рис. 6. Ентропійна оцінка факторів впливу на прикладі дослідження стану техногенних елементів у ґрунтах

Величина ризику здоров'ю за еколого-гігієнічним оцінюванням [5] і ентропійним аналізом відповідності визначається відповідно до шкали, наданої в літературних джерелах [6,7,8]. Оцінка ризику встановлювалася відповідно до загальноприйнятих методичних рекомендацій для еколого-гігієнічних досліджень [5]*: $1 < RR_{ij} \leq 1,5$ — малий, $1,5 < RR_{ij} \leq 2$ — середній, $2 < RR_{ij} \leq 3,2$ — високий, $3,2 < RR_{ij} \leq 5$ — дуже високий; і прийнятих градацій екологічного ризику [8]**: 0,1–0,3 — малий ризик; 0,3–0,4 — середній ризик (табл. 1).

Таблиця 1. Результати ризик-аналізу на основі динаміки змін захворювання

| Захворювання | Екологічно обумовлений ризик здоров'ю [5, 6, 7] | | | | Імовірісно-ентропійний ризик здоров'ю [4] | | | |
|--|---|---------------------------------------|--|----------------|--|------------------------|--|-----------------|
| | RR _{ij} — відносний ризик | AR _{ij} — атрибутивний ризик | RR _{зал} — залишковий відносний ризик | Оцінка ризику* | Імовірність відхилення від min прояву P(X) | Ентропійна оцінка S(P) | Ризик, оцінка інформаційної ентропії Risk = S1 | Оцінка ризику** |
| Злоякісні новоутворення | 1,18 | 0,068 | 1,089 | малий | 0,128 | -2,052 | 0,26 | малий |
| Захворюваність на хронічний пієлонефрит | 2,58 | 0,08 | 1,92 | високий | 0,172 | -1,762 | 0,3 | середній |
| Захворюваність на гіпертонічну хворобу | 5 | 2,91 | 0,49 | високий | 0,164 | -1,805 | 0,297 | середній |
| Захворюваність на атеросклероз | 3,02 | 0,067 | 2,09 | високий | 0,147 | -1,92 | 0,281 | малий |
| Захворюваність на камені нирок и сечоводів | 3,98 | 0,1 | 2,29 | високий | 0,161 | -1,826 | 0,294 | середній |

Таким чином, стан Зміївського промислово-енергетичного полігону за оцінкою екологічності ґрунтів контролюється незадіяними у трансформаційних процесах важких металів таких як Co, Ni, Cu, Mo, а рівень здоров'я населення захворюваністю на хронічний пієлонефрит, гіпертонічну хворобу, на камені нирок и сечоводів.

У роботі запропоновано визначення екологічності відповідно до рівня техногенного навантаження на навколишнє середовище (НС) з використанням MIPS-аналізу ступеня впливу на природну систему з боку соціально-економічної діяльності [9]. За методикою КЕС оцінка небезпеки техногенного навантаження визначається кількістю переміщеної маси речовини в об'єктах довкілля з урахуванням стану абіотичних ресурсів і біотичних складових у природних екосистемах — екологічний ризик і ризик здоров'ю (рис. 7).

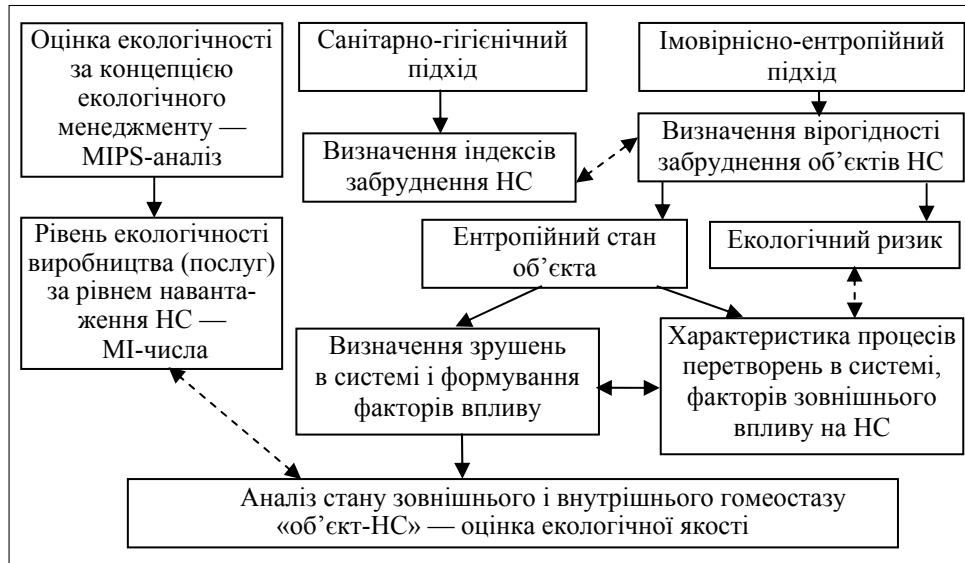


Рис. 7. Схема визначення рівня техногенного навантаження на навколишнє середовище —> послідовність екологічного аналізу ---> інформаційні зв'язки

За методикою оцінки санітарно-гігієнічної якості [5, 6] стану систем розраховуються індекси забруднення, значення яких є вихідними для аналізу виникнення порушень в елементах систем об'єкта з подальшим встановленням напрямків трансформаційних перетворень, які можуть призвести до саморегулювання екологічності об'єкта.

Перша частина задачі розв'язується на основі визначення кількісних ризик-характеристик для кожного фактору впливу (Risk).

На наступному етапі термодинамічного аналізу визначають трансформаційні зміни забруднювачів у навколишньому середовищі відповідно до феноменологічних даних і визначення ентропійних характеристик стану і процесів для розглянутих систем (S).

За результатами комплексного розв'язання задачі на основі MIPS-аналізу (табл. 2) та імовірно-ентропійного підходу надана у вигляді комплексної оцінки екологічного стану території Дергачівського полігону твердих побутових відходів (ТПВ) (табл. 3).

Таблиця 2. Розрахунок MIPS-показників (дані полігону ТПВ) [4]

| Показники | МІ_числа для повітря 1 | МІ_числа для води 2 | МІ_числа для людини 3 | S, т | MIPS 1 | MIPS 2 | MIPS 3 |
|------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|-------|--------|--------|--------|
| Водневий показник | 0,70 | 93,70 | 2,52 | 90,00 | 0,01 | 1,0 | 0,03 |
| Сульфати | 0,413 | 112,10 | 2,61 | 85,00 | 0,01 | 1,32 | 0,03 |
| Хлориди | 1,15 | 110,60 | 8,61 | 73,00 | 0,02 | 1,52 | 0,12 |
| Аміак | 5,04 | 10,10 | 1,85 | 17,00 | 0,30 | 0,59 | 0,11 |
| Нітрати | 0,99 | 58,00 | 1,43 | 11,00 | 0,09 | 5,27 | 0,13 |
| Нітроти | 10,52 | 351,20 | 14,22 | 37,00 | 0,28 | 9,49 | 0,34 |
| Загальне значення MIPS | | | | | 0,70 | 19,23 | 0,80 |

Таблиця 3. Значення комплексної оцінки впливу на НС

| Показники | Risk [2] | S [4] | MI _c |
|-------------------|-------------|-------------|-----------------|
| водневий показник | 0,089109306 | 0,16334405 | 4,29791667 |
| сульфати | 0,061793855 | 0,25846712 | 3,41897647 |
| хлориди | 0,081678017 | 0,0455302 | 7,33438356 |
| аміак | 0,223838433 | -9,05966061 | 2,85833333 |
| нітрати | 0,045054978 | 0,3132299 | 7,29363636 |
| нітри | 0,335062322 | -14,8755632 | 56,1162162 |

Як і в прикладі дослідження стану техногенно-навантажених ґрунтів остаточна оцінка небезпеки визначається за ризик-аналізом рівня здоров'я населення.

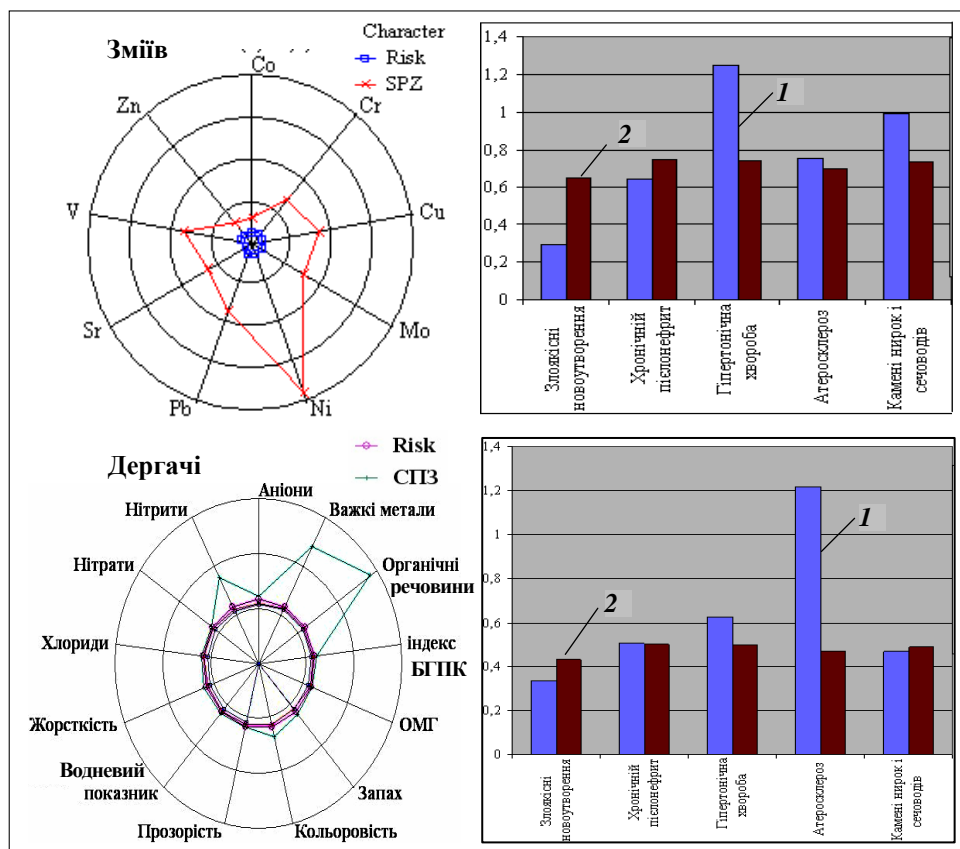


Рис. 8. Приклад графічного співставлення дії техногенного фактора і наслідків для здоров'я для двох об'єктів дослідження: 1 — RR_{ij} відносний ризик, 2 — ризик, оцінка інформаційної ентропії Risk

Таким чином, згідно з результатами визначення ризику екологічної небезпеки за ентропійним оцінюванням та MIPS-аналізом встановлено фактор дестабілізації екологічності — нітри (табл. 3) та загальний екологічний ризик як середній, що відповідає середньому і високому рівню ризику здоров'ю.

За результати порівняння ентропійної ризик-оцінки якості вищезазначених техногенно-навантажених територій встановлено переваги методології у вигляді таких додаткових можливостей:

- уточнення адресності з прийняття регулюючого екологічного рішення відповідно до встановленого негативного фактора впливу (наприклад, виявлено пріоритетний ризик-фактор у вигляді нітритів);
- визначення саморегулюючих механізмів уникнення небезпеки (наприклад, зниження впливу ризик-фактора — ВМ, за рахунок трансформаційної взаємодії між катіонними і аніонними формами забруднювачів у міграційних потоках);
- виявлення видів захворювань, вагомих для визначення заходів із підвищення рівня здоров'я населення для даних територій (рис. 8).

ВИСНОВКИ

З метою формування комплексного методичного підходу до розв'язання задачі оцінки якості природно-техногенних територій відповідно до концепції сталого розвитку мають практичне значення такі отримані результати:

- розроблено теоретичні засади методики комплексної оцінки екологічності систем (КЕС) і практично обґрунтовано доцільність впровадження її як інструментарію розв'язання задач екологічної безпеки для дослідження техногенно-навантажених територій, ландшафтно-геохімічних комплексів на рівні макро-, меза- і мікросистем;
- обґрунтовано схему алгоритмічного забезпечення встановлення рівня техногенного навантаження на об'єкти навколишнього середовища (рис. 7) з екологічної оцінки системних об'єктів на основі імовірнісно-ентропійного підходу і MIPS-аналізу;
- запропоновано комплексність оцінювання екологічності довкілля як зв'язку між екологічним станом і рівнем здоров'я населення на ймовірнісно-ентропійній основі для системи «стан – процес – стан» для об'єктного дослідження.

Надання територіально-об'єктових угруповань як системних моделей об'єктів дослідження для комплексної оцінки екологічності дозволяє при визначенні рівня безпечності ситуації за результатами моніторингу факторів порушення рівноваги урахувати вірогідність хіміко-трансформаційних перетворень у навколишньому середовищі (статистична обробка результатів моніторингу ґрунтів, математичні моделі взаємозв'язку між характеристиками стану об'єкта), що дає підстави для встановлення комплексного механізму управління якістю техногенно-навантажених територій за рахунок науково-обґрунтованого сполучення техногенних потоків з метою регульованого зменшення екологічного ризику.

ЛІТЕРАТУРА

1. Згуровський М.З., Статюха Г.А., Джигирей І.Н. Оценивание устойчивого развития окружающей среды на субнациональном уровне в Украине // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2008. — № 4. — С. 7–20.

2. *Системный анализ в исследовании сложных физических процессов и полей* / М.З. Згуровский, А.М. Демченко, А.Н. Новиков, И.И. Коваленко / Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины. — Препр. — Киев, 1993. — 37 с.
3. *Пригожин И.Р., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. — М.: Наука, 1986. — 432 с.
4. *Козуля Т.В.* Процеси екологічного регулювання. Концепція корпоративної екологічної системи: монографія. — Харків: НТУУ «ХПИ», 2010. — 588 с.
5. *Прусаков В.М., Прусакова М.В.* Анализ динамики риска заболеваний от воздействия факторов окружающей среды // Гигиена и санитария. — 2006. — № 1. — С. 45–49.
6. *Донозологічна діагностика стану здоров'я населення у зв'язку з впливом факторів навколишнього середовища: Методичні рекомендації* / Дергачов Е.А., Огір Л.Б., Дрозд Т.Є. та ін.: Дніпропетровська державна медична академія, Науково-дослідницький інститут медицини праці, Український науковий гігієнічний центр МОЗ України. — К., 2000. — 33 с.
7. *Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря».* — К.: МОЗ, 2007. — 25 с. — (Наказ МОЗ від 13.04.2007 № 184).
8. *Машина Н.І.* Економічний ризик і методи його вимірювання. — К.: Центр навчальної літератури, 2003. — 188 с.
9. *Пахомова Н.В., Рихтер К.К.* Экономика природопользования и экологический менеджмент. — СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 1999. — 488 с.

Надійшла 30.05.2012