
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 504.064.36

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.13>

НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ ДЛЯ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

Михайлов С.С.

Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»

вул. Бакуліна, 6, 61166, м. Харків

mss220797@gmail.com

Стаття спрямована на вибір типу комплексної системи моніторингу довкілля регіонів (КРСМД) України методом аналізу ієрархій Томас Саати.

З метою забезпечення збору, обробки, збереження та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін та розробки науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття ефективних управлінських рішень в Україні створена і функціонує державна система моніторингу довкілля (ДСМД). Реалізує державну політику у сфері охорони довкілля та методично забезпечує організацію спостережень за його станом, рівнем забруднення центральний орган виконавчої влади, що є відповідальним за цю сферу державної діяльності. Згідно з Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» № 1264-XI від 25.06.91 р. [1] (частина четверта ст. 22 із змінами, внесеними згідно із Законом України № 5456-VI від 16.10.2012 р.), державні органи разом з відповідними науковими установами забезпечують організацію короткострокового і довгострокового прогнозування змін довкілля, які повинні враховуватися при розробці і виконанні програм та заходів щодо економічного та соціального розвитку України, в тому числі щодо охорони довкілля, використання і відтворення природних ресурсів та гарантування екологічної безпеки.

Увесь процес моніторингу довкілля має бути запланований і послідовно виконуватись з урахуванням інформаційних потреб і специфіки наявної екологічної ситуації. В регіонах України моніторинг довкілля здійснюють регіональні системи моніторингу, які є основними складовими ДСМД, та деякі підприємства (при наявності систем моніторингу довкілля).

Принциповий підхід до вдосконалення моніторингу довкілля повинен бути комплексним і потребує інтеграції зусиль усіх суб'єктів ДСМД. Ці зусилля мають бути спрямовані на виключення дублювання й введення нових функцій з моніторингу, оптимізацію мереж і програм спостережень, підвищення рівня, уніфікацію й постійне вдосконалення технічного, методичного, метрологічного, наукового забезпечення функціонування мереж спостережень, що можливо реалізувати лише шляхом впровадження комплексних систем моніторингу довкілля в регіонах України (КРСМД). *Ключові слова:* моніторинг довкілля, комплексна система моніторингу довкілля, метод аналізу ієрархій.

Scientific substantiation of the structure of the integrated environmental monitoring system for the regions of Ukraine. Mykhailov S.

The article is aimed at selecting the type of integrated environmental monitoring system for the regions of Ukraine by the hierarchy analysis method by Thomas Saaty.

In order to ensure the collection, processing, storage and analysis of information on the state of the environment, forecast its changes and develop scientifically based recommendations for making effective management decisions, the State Environmental Monitoring System (SEMS) has been established and is functioning in Ukraine. The central executive body responsible for this area of state activity implements the state policy in the field of environmental protection and methodically ensures the organisation of monitoring of its condition and pollution levels. According to the Law of Ukraine "On Environmental Protection" No. 1264-XI of 25.06.91 (part four of Article 22 as amended by the Law of Ukraine № 5456-VI of 16.10.2012), state bodies together with relevant scientific institutions ensure the organisation of short-term and long-term forecasting of environmental changes that should be taken into account when developing and implementing programmes and measures for economic and social development of Ukraine, including environmental protection, use and reproduction of natural resources and guaranteeing

The entire process of environmental monitoring should be planned and consistently implemented, taking into account information needs and the specifics of the existing environmental situation. In the regions of Ukraine, environmental monitoring is carried out by regional monitoring systems, which are the main components of the SFMS, and some enterprises (if they have environmental monitoring systems).

The principled approach to improving environmental monitoring should be comprehensive and require integration of efforts of all the actors of the SSMS. These efforts should be aimed at eliminating duplication and introducing new monitoring functions, optimising observation networks and programmes, raising the level, unifying and continuously improving the technical, methodological, metrological and scientific support for the operation of observation networks, which can only be achieved through the implementation of integrated environmental monitoring systems in the regions of Ukraine (IEMS). *Key words:* environmental monitoring, integrated environmental monitoring system, hierarchy analysis method.

Постановка проблеми. Охорона навколишнього природного середовища (НПС), раціональне використання природних ресурсів, гарантування екологічної безпеки життєдіяльності людини – невід’ємна умова сталого економічного та соціального розвитку України.

Важливими елементами державної системи моніторингу довкілля є РСМД, які організують діяльність усіх суб’єктів моніторингу довкілля регіону, визначати рівень забруднення довкілля на певній території за певний проміжок часу. Завдяки цим даним визначається відповідність стану довкілля вимогам його якості, здійснюється контроль та оцінка впливу на якість довкілля заходів, спрямованих на обмеження викидів забруднюючих речовин, проводиться оцінка впливу забруднення довкілля на здоров’я та життєдіяльність населення.

Принциповий підхід до вдосконалення моніторингу довкілля повинен бути комплексним і потребує інтеграції зусиль усіх суб’єктів ДСМД, зокрема й на рівні регіонів.

Актуальність дослідження полягає у необхідності реалізації вимог Законів та Постанов Кабінету Міністрів України та Директив Європейського Парламенту щодо проведення моніторингу довкілля в регіонах України.

Зв’язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями полягає у визначенні базової структури для створення КРСМД для України, що має забезпечувати потреби органів самоврядування та громадськості в екологічній інформації і приведення оцінки та управління якістю довкілля до вимог Директив ЄС, Законів та Постанов Кабінету Міністрів України щодо охорони довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом з’явилося багато наукових досліджень, що стосуються вдосконалення механізмів, аналізу та ефективності функціонування існуючого системи моніторингу довкілля, зокрема й на регіональному рівні, оптимізації її роботи та обґрунтуванню потреб щодо загального переоснащення системи. Але аналіз попередніх досліджень показує, що досі не приділялася увага базовій структурі КРСМД, яку можна рекомендувати для використання всім регіонам України при створенні регіональних систем моніторингу довкілля.

Наукова новизна статті полягає у тому, що вперше на основі аналізу та теоретичних узагальнень розроблено та визначено структуру КСМД для регіонів України, з урахуванням інформаційних потреб і специфіки наявної екологічної ситуації.

Методологічне або загальнонаукове значення: Результати представлені у статті забезпечують методичними основами з моніторингу довкілля фахівців, що працюють за напрямом створення систем моніторингу, організації проведення моніторингу довкілля, зокрема на регіональному рівні.

Викладення основного матеріалу. Найважливіша вимога до систем моніторингу навколишнього середовища – її ефективність. Це властивість забезпечується за рахунок отримання необхідної кількості та якості інформації при проведенні оптимального числа спостережень.

Для цього необхідно враховувати закономірності часового та просторового розподілу ЗР об’єктів моніторингу та сформуванню системи характеристик зміни їх стану. Для організації ефективної системи моніторингу повинна бути сформована цільова функція системи, її оптимальна структура, обрані найбільш ефективні методи і засоби моніторингу. Дуже важливу роль при цьому відіграють засоби збирання, обробки даних та підтримки прийняття управлінських рішень – інформаційно-аналітичні системи.

Ключовими параметрами систем моніторингу навколишнього середовища є:

- перелік об’єктів, що знаходяться під контролем з їх суворою територіальною прив’язкою;
- перелік показників контролю та допустимих областей їх зміни;
- часові масштаби (регламент моніторингу) – періодичність відбору проб, частота і час представлення даних (хронологічна організація моніторингу).

Сьогодні в програмах моніторингу на зміну традиційного «ручного» пробовідбору приходять збір даних з використанням електронних вимірювальних пристроїв автоматичного дистанційного спостереження в режимі реального часу.

Перевагою спостереження в реальному масштабі часу є те, що в одній базовій станції для зберігання та аналізу можуть використовуватися багато каналів даних. Це різко підвищує оперативність моніторингу при досягненні порогових рівнів контрольованих показників. Такий підхід дозволяє за даними моніторингу вжити негайних управлінських дій, якщо пороговий рівень перевищено [2].

На основі наукових рекомендацій та керуючись аналізом літературних джерел нами була розроблена базова структура комплексної системи екологічного моніторингу навколишнього середовища для регіонів України.

В рамках системи пропонується організувати спостереження за якістю основних складових навколишнього середовища:

- атмосферного повітря;
- водних об’єктів;
- ґрунтів;
- біотичних компонентів (рослинного і тваринного світу);
- радіаційної обстановки.

До основних функцій запропонованої комплексної системи моніторингу відносяться:

- вимір в автоматичному режимі концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та показників якості поверхневих вод;

– вимір в автоматичному режимі метеорологічних величин;

– відбір проб та визначення вмісту забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, поверхневих водах, атмосферних опадах, ґрунтах, сніговому покриві і рослинності;

– спостереження за рідкісними і зникаючими видами тварин і рослин;

– оцінка і прогноз забруднення, в тому числі і у випадках позаштатних ситуацій техногенного та природного характеру;

– збір, зберігання, передача та представлення інформації.

Результатом впровадження системи має стати отримання об'єктивних вихідних та прогнозних даних для забезпечення процесу прийняття управлінських рішень, в тому числі щодо вжиття заходів зі зниження впливу від джерел забруднення.

Отже, спостереження за станом навколишнього середовища, по суті, є збиранням інформації про фактичний стан складових навколишнього середовища, тобто весь процес технології моніторингу можна описати як алгоритм: вимір – аналіз – опис – моделювання – оптимізація [3].

Варіанти РКСМД. Системи моніторингу використовуються як для автоматизованого контролю параметрів навколишнього середовища, так і для прийняття та реалізації організаційно-технічного рішення, підвищення ефективності прогнозу розвитку та ліквідації надзвичайних ситуацій, що дозволяє в короткі терміни та в потрібній оперативній

обстановці приймати найбільш правильні, ефективні та економічно обґрунтовані управлінські дії.

Сьогодні технічне оснащення регіональних систем моніторингу довкілля здебільшого можна охарактеризувати як морально і фізично застаріле, що не забезпечує оперативного надання інформації основним споживачам. Значно ускладнює ситуацію проблеми з упровадженням у практику екологічного моніторингу технологій гео-інформаційних систем і дистанційного зондування Землі, а також відсутність сучасних систем отримання інформації з супутникових метеорологічних систем.

В даний час, процес мініатюризації електронних схем дійшов до молекулярного рівня, роблячи реальним повністю автоматизовані, з всеосяжним програмним забезпеченням, складні багатоцільові та водночас компактні, повністю автономні системи моніторингу якості навколишнього середовища. Розвиток систем моніторингу на базі сучасного обладнання стримується не технічними, а передусім фінансовими труднощами і, як не дивно, організаційними проблемами багаторівневого управління такими системами. Саме тому оптимальним для створеної РКСМД може бути комбінація автоматичних, автоматизованих та ручних методів здійснення моніторингу довкілля.

Отже, розглянемо можливі варіанти комплексної системи моніторингу довкілля (табл. 1).

Отже, можна сказати, що в міру модернізації виробництва та розвитку сучасних технологій автоматизовані системи моніторингу застосовуються все

Таблиця 1

Варіанти комплексної системи моніторингу довкілля для регіонів України

Варіанти	Складові довкілля	Методи здійснення моніторингу довкілля		
		Автоматично	Ручний відбір проб	Індикативно
1	2	3	4	5
1 варіант – автоматична система моніторингу довкілля	атмосфера	100 %	0 %	0 %
	вода	100 %	0 %	0 %
	ґрунт	50 %	50 %	0 %
	біорізноманіття	50 %	50 %	0 %
	радіаційна обстановка	100 %	0 %	0 %
2 варіант – автоматизована система моніторингу довкілля	атмосфера	< 75 %	25%	0 %
	вода	< 75 %	25 %	0 %
	ґрунт	50 %	50 %	0 %
	біорізноманіття	50 %	25 %	25 %
	радіаційна обстановка	75 %	25%	0 %
3 варіант – автоматична комбінована система моніторингу довкілля з використанням вимірвальних та індикативних засобів спостереження	атмосфера	50 %	0 %	50 %
	вода	50 %	0 %	50 %
	ґрунт	25 %	50 %	25 %
	біорізноманіття	50 %	25 %	25 %
	радіаційна обстановка	50 %	0 %	50 %

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
4 варіант – система «ручного» моніторингу довкілля	атмосфера	< 25 %	50 %	< 25 %
	вода	< 25 %	50 %	< 25 %
	грунт	25 %	50 %	25 %
	біорізноманіття	25 %	50 %	25 %
	радіаційна обстановка	25 %	50 %	25 %
5 варіант – автоматизована комбінована система моніторингу довкілля з використанням вимірювальних та індикативних засобів спостереження	атмосфера	33 %	34 %	33 %
	вода	34 %	33 %	33 %
	грунт	25 %	50 %	25 %
	біорізноманіття	25 %	50 %	25 %

ширше. Але зі зростанням ролі АСМ необхідно приділяти більше уваги питанням правильної роботи систем та захисту одержуваних даних.

У всіх варіантів є переваги та недоліки. Тому їх слід оцінити за рядом критеріїв. У роботі оцінку варіантів пропонується оцінювати за методом аналізу ієрархій (метод Т. Л. Сааті).

Оцінка варіантів КРСМД методом аналізу ієрархій Томас Сааті [4]. Одним із варіантів ситуації прийняття рішення щодо ієрархії варіантів є так звана критеріальна (інтерактивна критеріальна) постановка. У цьому випадку особа, яка приймає рішення, вибирає найкращі альтернативи для досягнення певної мети шляхом задоволення набору критеріїв. Основа методу Сааті – попарні порівняння альтернатив по кожному з критеріїв та попарне порівняння критеріїв з погляду важливості для поставленої мети.

Етапи застосування методу Сааті:

1. Виділення проблеми. Визначення мети.
2. Виділення основних критеріїв, що зумовлюють досягнення мети.
3. Виділення групи альтернатив, що становлять найбільший інтерес.
4. Побудова ієрархії: дерево від мети через критерії альтернатив.
5. Побудова матриці попарних порівнянь критеріїв цілі.
6. Побудова матриць попарних порівнянь альтернатив за критеріями.
7. Застосування методики аналізу отриманих матриць.
8. Визначення ваг альтернатив системи ієрархії.

Виділення основних критеріїв, що зумовлюють досягнення мети. Для вибору найбільш ефективного варіанту комплексної регіональної системи моніторингу довкілля для регіонів України, на основі попереднього аналізу пропонується 5 критеріїв оцінки: вартість впровадження та експлуатації системи, оперативність отримання інформації, достовірність та актуальність отриманої інформації, обсяг та повнота отриманої інформації, об'єктивність отримання інформація.

1. Вартість впровадження та експлуатації комплексної регіональної системи моніторингу довкілля.

Вартість – це суспільно необхідна праця, яку потрібно затратити на виготовлення продукту, послуги чи цінності [5].

Виходячи з найзагальніших міркувань для діяльності КРСМД можна попередньо оцінити обсяг витрат на проведення моніторингу. До них відносяться:

- інвестиційні витрати на впровадження системи, придбання землі, будівництво приміщень та споруд, закупівлю обладнання, інших інструментів для здійснення програми екологічного моніторингу;
- експлуатаційні витрати на заробітну плату лабораторних операторів, фахівців, що забезпечують збір, аналіз, подання інформації, інженерів, що забезпечують роботу обладнання, які працюють повний робочий день, для виконання програми екологічного моніторингу. Також до експлуатаційних витрат відносяться витрати, на безпосередню роботу обладнання для пробовідбору та спеціального аналітичного обладнання, накладні витрати, податки та інші витрати для забезпечення відповідної концепції та проведення періодичних досліджень стану довкілля в рамках системи моніторингу довкілля;
- амортизаційні відрахування та інші витрати, які не можуть бути віднесені економічно доцільним шляхом безпосередньо до конкретного об'єкта витрат.

2. Оперативність отримання інформації.

Термін «інформація» визначає відомості, повідомлення або знання про реально існуючі процеси і об'єкти, а також про їх зв'язки та взаємодію, що доступні для практичного використання людиною.

Для системи моніторингу довкілля інформація – це відомості про навколишнє середовище (об'єкти, явища, події, процеси тощо), які зменшують міру існуючої невизначеності та неповноти знань про нього. Однією з вимог до якісної інформації є оперативність її отримання.

Оперативність (своєчасність) інформації – оперативною є така інформація, яка надходить на той чи інший рівень управління не пізніше задалегідь при-

значеного моменту часу, узгодженого з часом розв'язування задач управління та відображає актуальність інформації для необхідних розрахунків та прийняття рішень в умовах змін.

3. Достовірність та актуальність отриманої інформації.

Достовірність інформації – це властивість інформації відображати реально діючі об'єкти з необхідною точністю. Вимірюється достовірність інформації довірою ймовірністю необхідної точності. Таким чином, достовірність – визначає допустимий рівень спотворення, як вхідної так і вихідної інформації, при якому зберігається ефективність функціонування системи.

Точність інформації – визначається ступенем наближення відображуваного інформацією параметра та його істинного значення.

Інформація достовірною, якщо вона відображає справжній стан справ, сповнена, якщо її достатньо для прийняття рішення.

4. Обсяг та повнота отриманої інформації.

Обсяг – основна кількісна характеристика інформації. Обсяг інформації вимірюється кількістю символів у повідомленні. Повнота інформації для систем моніторингу довкілля означає, що вона має мінімальний набір показників, але він достатній для розуміння та прийняття ефективного управлінського рішення. Як неповна, так і надмірна інформація знижує ефективність управління.

5. Об'єктивність отримання інформації.

Об'єктивність – інформація об'єктивна, якщо вона не залежить від методів її фіксації, чиєї завгодно свідомості, думки або судження. Об'єктивну інформацію можна отримати, наприклад, за допомогою справних вимірювальних приладів. Об'єктивнішою прийнято вважати ту інформацію, до якої методи вносять менший суб'єктивний елемент. Об'єктивна

інформація завжди достовірною, але достовірною інформація може бути як об'єктивною, так і суб'єктивною [6].

Альтернативними варіантами визначені 5 варіантів комплексної системи моніторингу довкілля для регіонів України, що викладені у табл. 1.

Наступним кроком методу МАІ є побудова ієрархії: дерево від мети через критерії до альтернатив. Дерево ієрархії представлено на рис. 1. У ряді випадків виконання цього пункту плану не є обов'язковим. Тим не менш, дерево ієрархії дає наочне уявлення про ситуацію прийняття рішення і дозволяє уникнути деяких помилок при її аналізі.

Отже, у даному випадку повна ієрархія проблеми багатокритеріального вибору включає три рівні: мета, критерії, альтернативи.

Розрахунок матриць попарних порівнянь альтернатив за критеріями. Основа методу Сааті – попарні порівняння альтернатив по кожному з критеріїв та попарне порівняння критеріїв з погляду важливості для поставленої мети. Таким чином, усі порівняння в даному методі виробляються попарно, тобто найпростішим і очевидним методом.

Для порівняння Сааті запропонував використовувати якісні ознаки, що переводяться потім у кількісні за 9-ти бальною шкалою (табл. 2).

Шляхом колективного обговорення порівнюємо між собою критерії з погляду відповідності мети. На основі таблиці 3 будується відповідна таблиця якісного порівняння критеріїв – матриця балів (табл. 3). Під головною діагоналлю записуються числа, обернені до відповідних чисел над діагоналлю.

Далі застосовуємо методики аналізу одержаних матриць:

1) знаходимо суму елементів кожного стовпця.

Аналогічно будуються матриці порівняння окремих альтернатив щодо кожного з критеріїв. Опустимо

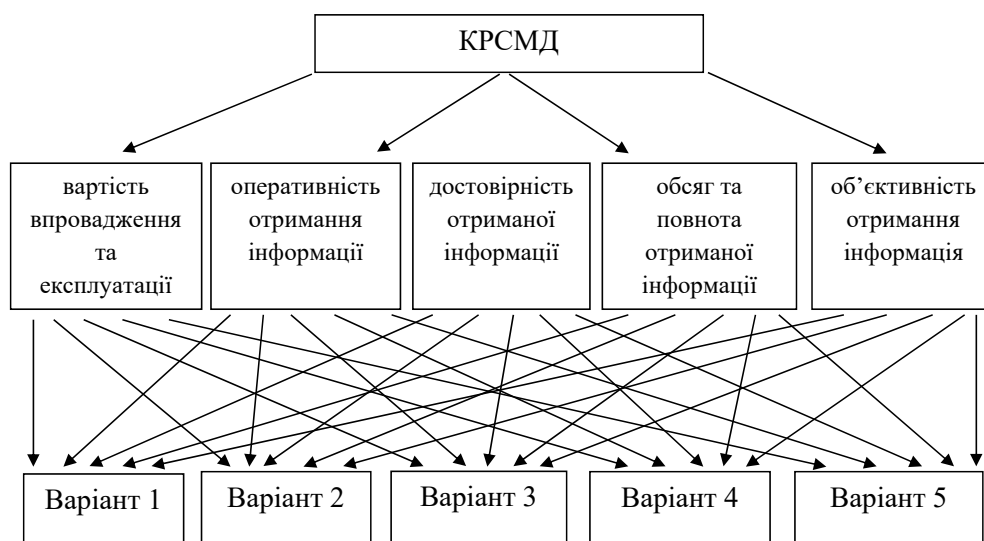


Рис. 1. Ієрархія проблеми вибору КРСМ

Таблиця 2

Якісні варіанти порівняння та відповідні їм кількісні бали

Бал	Пояснення
1	Рівна важливість порівнюваних елементів ієрархії. Порівнювані елементи мають однакову значимість для елемента вищого рівня
3	Помірна перевага і-го елемента ієрархії над j-им. Попередній досвід та оцінка говорять про трохи більшу значущості одного елемента порівняно з іншим
5	Істотна чи сильна перевага і-го елемента. Попередній досвід та оцінка говорять про більш високу значущість одного елемента в порівнянні з іншим
7	Значна перевага і-го елемента. Дуже висока значимість елемента явно виявилася у минулому.
9	Дуже значна перевага і-го елемента. Йдеться про максимально можливу різницю між двома елементами.
2, 4, 6, 8	Проміжні ступені переваги. Значення потрапляють до інтервалу між визначеними вище балами значущості.

Таблиця 3

Якісне порівняння критеріїв для вибору КРСМД

Критерії	Вартість впровадження та експлуатації системи	Оперативність отримання інформації	Достовірність отриманої інформації	Обсяг та повнота отриманої інформації	Об'єктивність отримання інформація
Вартість впровадження та експлуатації системи	1	1/3	1	3	3
Оперативність отримання інформації	3	1	1	5	3
Достовірність отриманої інформації	1	1	1	3	1
Обсяг та повнота отриманої інформації	1/3	1/5	1/3	1	1/3
Об'єктивність отримання інформація	1/3	1/3	1	3	1
Σ	5,333	2,533	3,333	12	8,333

докладний виклад всіх операцій і наведемо нижче лише матриці кількісних балів (табл. 4–8);

2) ділимо всі елементи матриці на суму елементів відповідного стовпця;

3) визначаємо ваги рядків – для цього просто визначаємо середнє значення в кожному рядку останнього з отриманих матриць.

Перевірка обмеженості оцінки пріоритетів.

На цьому етапі обчислюється так званий індекс узгодженості (ІУ) суджень щодо кожної матриці за формулою:

$$IY = \frac{\lambda - n}{n - 1}, \quad (2.1)$$

де n – розмірність матриці, а λ обчислюється так:

– підсумовується кожен стовпець матриці парних порівнянь;

– сума першого стовпця множиться на першу компоненту локального вектора пріоритетів, сума другого стовпця на другу компоненту тощо;

– отримані результати додаються.

Потім необхідно порівняти ІУ з тією величиною, яка б вийшла при випадковому виборі суджень за фундаментальною шкалою (1/9 ... 9) для заданого значення. Значення цієї величини, вона називається випадковою узгодженістю (ВУ), відомі та представлені в табл. 15. Значення ІУ залежить тільки від розмірності матриці парних порівнянь.

Таблиця 4

Кількісні бали порівняння альтернатив по вартості впровадження та експлуатації системи

Альтернативи	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
Варіант 1	1	1/3	1/5	1/9	1/5
Варіант 2	3	1	1/3	1/7	1/4
Варіант 3	5	3	1	1/5	1/3
Варіант 4	9	7	5	1	5
Варіант 5	5	4	3	1/5	1
Σ	23	15,333	9,533	1,65	6,78

Таблиця 5

Кількісні бали порівняння альтернатив по оперативності отримання інформації

Альтернативи	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
Варіант 1	1	3	1/3	8	5
Варіант 2	1/3	1	1/5	7	3
Варіант 3	3	5	1	9	7
Варіант 4	1/8	1/7	1/9	1	1/6
Варіант 5	1/5	1/3	1/7	6	1
Σ	4,658	9,476	1,787	31	16,167

Таблиця 6

Кількісні бали порівняння альтернатив по достовірності отриманої інформації

Альтернативи	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
Варіант 1	1	1/3	5	1/6	3
Варіант 2	3	1	7	1/5	5
Варіант 3	1/5	1/7	1	1/8	1/4
Варіант 4	6	5	8	1	7
Варіант 5	1/3	1/5	4	1/7	1
Σ	10,533	6,676	25	1,635	16,25

Таблиця 7

Кількісні бали порівняння альтернатив по обсягу та повноті отриманої інформації

Альтернативи	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
Варіант 1	1	3	7	3	5
Варіант 2	1/3	1	6	3	3
Варіант 3	1/7	1/6	1	1/5	1/5
Варіант 4	1/3	1/3	5	1	3
Варіант 5	1/5	1/3	5	1/3	1
Σ	2,001	4,833	24	7,533	12,2

Таблиця 8

Кількісні бали порівняння альтернатив по об'єктивності отримання інформації

Альтернативи	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
Варіант 1	1	5	3	9	7
Варіант 2	1/5	1	1/3	5	3
Варіант 3	1/3	3	1	7	5
Варіант 4	1/9	1/5	1/7	1	1/3
Варіант 5	1/7	1/3	1/5	3	1
Σ	1,787	9,533	4,676	25	16,333

Таблиця 9

Ваги рядків критеріїв для вибору КРСМД

Критерії	Вартість впровадження та експлуатації системи	Оперативність отримання інформації	Достовірність та актуальність отриманої інформації	Обсяг та повнота отриманої інформації	Об'єктивність отримання інформації	Середнє значення	Вага у відсотках, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Вартість впровадження та експлуатації системи	0,188	0,132	0,3	0,25	0,36	0,246	24,6
Оперативність отримання інформації	0,563	0,395	0,3	0,417	0,36	0,407	40,7
Достовірність отриманої інформації	0,188	0,395	0,3	0,25	0,12	0,251	25,1

Продовження таблиці 9

1	2	3	4	5	6	7	8
Обсяг та повнота отриманої інформації	0,063	0,079	0,01	0,083	0,04	0,055	5,5
Об'єктивність отримання інформація	0,063	0,132	0,3	0,25	0,12	0,173	17,3

Таблиця 10

Ваги рядків альтернатив по вартості впровадження та експлуатації системи

Альтернативи	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Середнє значення	Вага у відсотках, %
Варіант 1	0,044	0,022	0,021	0,067	0,03	0,037	3,7
Варіант 2	0,131	0,065	0,035	0,087	0,037	0,071	7,1
Варіант 3	0,217	0,196	0,105	0,121	0,049	0,148	14,8
Варіант 4	0,391	0,457	0,52	0,61	0,148	0,425	42,5
Варіант 5	0,217	0,261	0,315	0,121	0,03	0,189	18,9

Таблиця 11

Ваги рядків альтернатив по оперативності отримання інформації

Альтернативи	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Середнє значення	Вага у відсотках, %
Варіант 1	0,215	0,317	0,186	0,258	0,309	0,257	25,7
Варіант 2	0,072	0,106	0,112	0,226	0,186	0,14	14
Варіант 3	0,644	0,528	0,56	0,29	0,433	0,491	49,1
Варіант 4	0,027	0,015	0,062	0,032	0,01	0,029	2,9
Варіант 5	0,043	0,035	0,08	0,194	0,062	0,062	6,2

Таблиця 12

Ваги рядків альтернатив по достовірності інформації

Альтернативи	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Середнє значення	Вага у відсотках, %
Варіант 1	0,095	0,05	0,2	0,102	0,185	0,126	12,6
Варіант 2	0,285	0,15	0,28	0,122	0,301	0,228	22,8
Варіант 3	0,019	0,021	0,04	0,077	0,015	0,035	3,5
Варіант 4	0,57	0,749	0,32	0,612	0,431	0,536	53,6
Варіант 5	0,032	0,03	0,16	0,087	0,062	0,074	7,4

Таблиця 13

Ваги рядків альтернатив по обсягу та повноті отриманої інформації

Альтернативи	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Середнє значення	Вага у відсотках, %
Варіант 1	0,499	0,621	0,292	0,398	0,41	0,444	44,4
Варіант 2	0,167	0,207	0,25	0,398	0,246	0,209	20,9
Варіант 3	0,071	0,035	0,042	0,027	0,016	0,038	3,8
Варіант 4	0,167	0,069	0,208	0,133	0,246	0,165	16,5
Варіант 5	0,01	0,069	0,208	0,044	0,082	0,083	8,3

Визначивши ІУ та ВУ, знаходимо загальну узгодженості (ЗУ) (для матриць розмірності більше 2) за формулою:

$$ЗУ = \frac{ІУ}{ВУ}, \quad (2.2)$$

Якщо для конкретної матриці виявиться, що $-0,1 < ЗУ < 0,1$, можна стверджувати, що судження

експерта, на основі яких заповнена досліджувана матриця, сильно неузгоджені, й потрібно заповнити матрицю знову, більш уважно використовуючи при цьому шкалу парних порівнянь. У іншому випадку судження експерта приймаються.

Обчислимо загальну узгодженість по матриць парних порівнянь критеріїв:

Таблиця 14

Ваги рядків альтернатив по об'єктивності отримання інформації

Альтернативи	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Середнє значення	Вага у відсотках, %
Варіант 1	0,56	0,525	0,642	0,36	0,429	0,503	50,3
Варіант 2	0,112	0,105	0,071	0,2	0,184	0,134	13,4
Варіант 3	0,186	0,315	0,214	0,28	0,306	0,26	26
Варіант 4	0,062	0,021	0,031	0,04	0,02	0,035	3,5
Варіант 5	0,08	0,035	0,043	0,12	0,061	0,068	6,8

Таблиця 15

Значення величини випадкової узгодженості

Розмірність матриці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Випадкова узгодженість	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

1) Для критеріїв вибору КРСМД

$$\lambda = 5,333 \cdot 0,246 + 2,533 \cdot 0,407 + 3,333 \cdot 0,251 + 12 \cdot 0,055 + 8,333 \cdot 0,173 = 5,281;$$

$$IY = \frac{5,281 - 5}{5 - 1} = 0,07$$

Для $n=5$ із табл. 16 отримуємо $BY=1,12$. Тоді $ZY = IY/BY = 0,07/1,12 = 0,06$. Отримане значення ZY відповідає залежності $-0,1 < ZY < 0,1$, що означає, що оцінки експерта узгоджені.

2) Для альтернатив по вартості впровадження та експлуатації системи

$$\lambda = 23 \cdot 0,037 + 15,333 \cdot 0,071 + 9,533 \cdot 0,148 + 1,65 \cdot 0,425 + 6,78 \cdot 0,189 = 5,333;$$

$$IY = \frac{4,278 - 5}{5 - 1} = 0,083$$

Для $n=5$ із табл. 16 отримуємо $BY=1,12$. Тоді $ZY = IY/BY = 0,083/1,12 = 0,074$. Отримане значення ZY відповідає залежності $-0,1 < ZY < 0,1$, що означає, що оцінки експерта узгоджені.

3) Для альтернатив по оперативності отримання інформації

$$\lambda = 4,658 \cdot 0,257 + 9,476 \cdot 0,14 + 1,787 \cdot 0,491 + 31 \cdot 0,029 + 16,167 \cdot 0,062 = 5,303;$$

$$IY = \frac{5,303 - 5}{5 - 1} = 0,076$$

Для $n=5$ із табл. 16 отримуємо $BY=1,12$. Тоді $ZY = IY/BY = 0,076/1,12 = 0,068$. Отримане значення ZY відповідає залежності $-0,1 < ZY < 0,1$, що означає, що оцінки експерта узгоджені.

4) Для альтернатив по достовірності отриманої інформації

$$\lambda = 10,533 \cdot 0,126 + 6,676 \cdot 0,228 + 25 \cdot 0,035 + 1,635 \cdot 0,536 + 16,25 \cdot 0,074 = 4,609;$$

$$IY = \frac{4,609 - 5}{5 - 1} = -0,098$$

Для $n=5$ із табл. 16 отримуємо $BY=1,12$.

Тоді $ZY = IY/BY = -0,098/1,12 = -0,088$. Отримане значення ZY відповідає залежності $-0,1 < ZY < 0,1$, що означає, що оцінки експерта узгоджені.

5) Для альтернатив по обсягу та повноті отриманої інформації

$$\lambda = 2,001 \cdot 0,444 + 4,833 \cdot 0,209 + 24 \cdot 0,038 + 7,533 \cdot 0,165 + 12,2 \cdot 0,083 = 5,066;$$

$$IY = \frac{5,066 - 5}{5 - 1} = 0,017$$

Для $n=5$ із табл. 16 отримуємо $BY=1,12$. Тоді $ZY = IY/BY = 0,017/1,12 = 0,015$. Отримане значення ZY відповідає залежності $-0,1 < ZY < 0,1$, що означає, що оцінки експерта узгоджені.

6) Для альтернатив по обсягу та повноті отриманої інформації

$$\lambda = 1,787 \cdot 0,503 + 9,533 \cdot 0,134 + 4,676 \cdot 0,26 + 25 \cdot 0,035 + 16,333 \cdot 0,068 = 5,378;$$

$$IY = \frac{5,378 - 5}{5 - 1} = 0,095$$

Для $n=5$ із табл. 16 отримуємо $BY=1,12$. Тоді $ZY = IY/BY = 0,095/1,12 = 0,085$. Отримане значення ZY відповідає залежності $-0,1 < ZY < 0,1$, що означає, що оцінки експерта узгоджені.

В результаті пунктів 2.2 та 2.3 сформовано:

– вектор ваг критеріїв;
– матриця ваг альтернатив по кожному критерію (яка складається з отриманих вагових стовпців).

Визначення ваг альтернатив. Помножуючи отримані у пункті 2.2 матриці на стовпець за правилом рядок на стовпець (матричне), отримуємо ваги альтернатив з точки зору досягнення мети:

$$\begin{pmatrix} 0,037 & 0,257 & 0,126 & 0,444 & 0,503 \\ 0,071 & 0,14 & 0,228 & 0,209 & 0,134 \\ 0,148 & 0,491 & 0,035 & 0,038 & 0,26 \\ 0,425 & 0,029 & 0,536 & 0,165 & 0,035 \\ 0,189 & 0,062 & 0,074 & 0,083 & 0,068 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,246 \\ 0,407 \\ 0,251 \\ 0,055 \\ 0,173 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,257 \\ 0,166 \\ 0,292 \\ 0,266 \\ 0,107 \end{pmatrix}$$

В результаті отримуємо ваги альтернатив з вибору найоптимальнішої КРСМД.

Ваги альтернатив з точки зору досягнення мети

	Вага у частках	Вага у %
Варіант 1	0,257	27,7
Варіант 2	0,166	16,6
Варіант 3	0,292	29,2
Варіант 4	0,266	26,6
Варіант 5	0,107	10,7

Таким чином, Варіант 3 є найбільш привабливою для поставленої мети.

Висновки. Першочергова увага до охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання природних ресурсів, забезпечення екологічної і техногенної безпеки життєдіяльності населення – беззаперечна умова сталого розвитку регіону і, в цілому, країни. Державна система моніторингу довкілля України може бути успішно реалізована тільки за умови належного функціонування регіональних систем МД. Адже системи моніторингу довкілля областей організаційно інтегровані в ДСМД. Загалом це потужна багатофункціональна інформаційно-аналітична система, яка узгодженими спільними зусиллями усіх суб'єктів МД [7].

Розрахунки показали, що оптимальним для створеної РКСМД є комбінована система моніторингу довкілля з використанням вимірювальних та індикативних засобів спостереження. Актуальна та

достовірна екологічна інформація отримана за допомогою такої системи має стати необхідним ресурсом для роботи державної системи природоохоронного управління. Навчання щодо набуття досвіду й практики використання екологічної інформації в державному управлінні призведе до підвищення її ролі та значення у процесі прийняття управлінських рішень, і як наслідок – суттєвого підвищення їх оперативності і дієвості. Прийняття управлінських рішень у сфері захисту довкілля на основі об'єктивних та якісних даних моніторингу довкілля, також позитивно вплине на рівень довіри населення до державного управління у цій сфері [8].

Перспективи використання результатів дослідження. Результати представлені у статті сприятимуть оптимізації здійснення моніторингу довкілля, отримання первинних даних, підготовки на їх основі звітності, інформації для громадськості щодо стану довкілля в межах регіону.

Література

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.91 р. № 1264-XI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 22.07.2023).
2. Проектування систем моніторингу та принципи раціональної організації спостережень. *Екологічний моніторинг* : веб-сайт. URL: https://stud.com.ua/135905/ekologiya/proektuvannya_sistem_monitoringu_printsipy_ratsionalnoyi_organizatsiyi_sposterezhen (дата звернення: 28.07.2023).
3. Коваленко Ю. Л. Моніторинг довкілля : конспект лекцій для студентів 2 і 3 курсів денної та 3 курсу заочної форм навчання за спеціальностями 183 – Технології захисту навколишнього середовища та 101 – Екологія. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 144 с.
4. Метод аналізу ієрархій. *Методи прийняття рішень* : веб-сайт. URL: <https://dss.tg.ck.ua/ahp-help> (дата звернення: 05.08.2023).
5. Словник української мови. *Академічний тлумачний словник* : веб-сайт. URL: <http://sum.in.ua/s/vartistj> (дата звернення: 06.08.2023).
6. Сутність інформації та роль інформації системи в управлінні економічної діяльності організації. *Інформаційні системи і технології в управлінні організацією* : веб-сайт. URL: https://pidru4niki.com/74218/informatika/sutnist_informatsiyi_rol_informatsiyanoi_sistemi_upravlinni_ekonomichniiy_diyalnosti_organizatsiyi (дата звернення: 12.08.2023).
7. Поп С. С., Шароді І.С., Шароді В.В. Моніторинг навколишнього природного середовища : Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Ужгород: УжНУ, 2020. 82 с.
8. Аналітична записка щодо стану та перспектив розвитку державної системи моніторингу довкілля : аналітична записка/Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/02/Monitoring-Green-Paper_15_02_2022.pdf (дата звернення: 20.08.2023).