



<https://doi.org/10/36023/ujrs.2021.8.4.203>

УДК 528.88.04:504.064.2.001.5

Концепція формування методології аерокосмічного геомоніторингу для вирішення завдань природокористування

А. В. Хижняк*, О. Д. Федоровський, А. Ю. Порушкевич, Т. А. Єфіменко

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", вул. Олеся Гончара, 55-Б, Київ, 01054, Україна

У статті пропонується концепція формування методології аерокосмічного геомоніторингу для вирішення завдань природокористування на основі системного підходу і принципах структуризації, міждисциплінарності і комплексування даних. Наведено теоретичні основи системного аналізу, методології та моделювання. Описано концептуальну схему створення методології та наведено сукупність цільових установок з основними модулями, функціонування яких забезпечує отримання інформації, необхідної для вирішення тематичних завдань. На основі схеми сформовано основні причинно-наслідкові зв'язки між рівнями, що відображають характер функціонування системної методології. Вона пов'язує в певну послідовність етапи від формування вхідної концепції до конкретного вирішення тематичних завдань природокористування. Для оцінювання попиту методичних засад і засобів для вирішення завдань природокористування на основі методології аерокосмічного геомоніторингу запропоновано використати метод аналізу ієрархії. Метод дав змогу оцінити переваги і недоліки розглянутих методичних засобів і отримати щодо кожного з них формалізовану узагальнюючу оцінку рівня відносного попиту методичних засобів. З отриманих результатів було визначено, що на сьогодні, відповідно до розглянутих у статті природоресурсних завдань, найбільший попит має метод на основі статистичного критерію. В статті наведено приклад апробації методичних засобів методології аерокосмічного геомоніторингу для вирішення конкретних тематичних завдань природокористування, зокрема результат використання методу на основі статистичного критерію для оцінювання техногенного навантаження ділянок гірничопромислової території Криворізького індустріального регіону, який відіграє провідну роль в економіці України та є основною сировинною базою для розвитку чорної металургії. Техногене навантаження оцінювалось на території площею 152 км², для трьох ступенів навантаження: легкого – 3 бали, середнього – 6 балів і важкого – 9 балів.

Ключові слова: аерокосмічний геомоніторинг, системний аналіз, методологія, природокористування.

© А. В. Хижняк, О. Д. Федоровський, А. Ю. Порушкевич, Т. А. Єфіменко. 2021

Вступ

Використання аерокосмічних засобів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) дає змогу отримати об'єктивну і достовірну інформацію щодо вирішення різноманітних завдань природокористування (пошук нафти і газу, оцінка екологічного стану природно-антропогенних об'єктів, моніторинг територій в умовах глобальних змін довкілля тощо). Вирішити ці завдання на основі ДЗЗ, як правило, неможливо без використання даних з суміжних наукових дисциплін. По суті, це міждисциплінарний науковий підхід, актуальність використання якого особливо очевидна, коли необхідно враховувати безліч взаємопов'язаних факторів різної фізичної природи, фактично інтегруючи результати досліджень, які отримані з різних галузей знань.

Методологія системного підходу – науково обґрунтовані етапи інформаційних технологій підтримки рішень на основі методів і моделей системного аналізу, які застосовуються для досягнення поставлених цілей. Особливістю

наукової методології системного підходу є складний характер досліджуваних систем, взаємозв'язок їх підсистем, адаптація до мінливих зовнішніх умов. Вона покликана використовувати принципи і методи системного аналізу, які забезпечують створення динамічних моделей соціальних еколого-економічних систем. Формулювання принципів, побудова моделей і управління рухом до поставлених цілей становлять основу системної методології вирішення тематичних завдань природокористування. Системний аналіз може бути представлений як практичне застосування системного підходу і передбачає створення інформаційних технологій (методів і моделей) управління сталим розвитком.

Тому одним із головних невирішених завдань системного природокористування є пошук шляхів моделювання динамічного балансу між економічним споживанням природних ресурсів та екологічним станом природного середовища для процесів розвитку різних просторово-часових масштабів. Застосування системної методології передбачає встановлення складу, структури та організації елементів – підсистем, а також виявлення основних взаємодій між ними; виявлення зовнішніх зв'язків системи і визначення основних з них; визначення

* E-mail: avsokolovska@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8637-3822>

функцій системи; виявлення закономірностей і тенденцій їх розвитку. (Концептуальні основи формування..., 2018; Даргейко Л. Ф. и др., 2006).

З огляду на вищевикладене, можна зробити висновок про актуальність проблеми створення концептуальної основи методології аерокосмічного геомоніторингу (АКГМ) для вирішення завдань природокористування, яка будується на системному підході, принципах міждисциплінарності, структуризації і комплексування, створення нових інформаційних технологій, методичних засад і засобів з метою розширити функціональні можливості геомоніторингу, що підвищить ефективність пошуку нафти і газу на суходолі і морському шельфі, оцінювання стану сільськогосподарських угідь і лісового господарства, водних ресурсів і міських агломерацій та ін.

Теорія

Системний підхід до раціонального природокористування означає управління сталим розвитком, споживанням і відтворенням природних ресурсів відповідно до критеріїв контрольованого балансу соціальної, екологічної та економічної доцільності з урахуванням потреб майбутніх поколінь, управління ресурсами територій суходолу і акваторій (Моисеев Н. Н., 1981).

Сталий розвиток – сукупність взаємопов'язаних процесів, що спрямовані на досягнення системи цільових установок розвитку та утворюють соціально- еколого-економічну ієрархію. Системна методологія природокористування розглядає в завданні сталого розвитку чотири складові частини системного підходу: принципи, мислення, моделювання та управління. Тімченко І. С. і Ігумнова Є. М. розкривають такі визначення цих понять (Тімченко І. С. и др., 2000):

– *Системні принципи* – аксіоматика побудови інформаційних технологій для постановки і досягнення цілей, що відповідають раціональному використанню наявних ресурсів;

– *Системне мислення* – застосування системних принципів для побудови концептуальної моделі ієрархії двох систем: керованої системи, введеної для постановки і досягнення мети, і керуючої системи, що відображає процеси в навколишньому середовищі;

– *Системне моделювання* – використання концепції адаптивного балансу впливів при побудові прогностичної моделі досягнення поставленої мети на основі ієрархічної зв'язки двох систем: керованої системи руху до поставленої мети і керуючої системи навколишнього середовища.

– *Системне управління* – знаходження і здійснення раціональних сценаріїв руху до мети шляхом використання всієї доступної інформації і безперервної адаптації цільових установок до наявних ресурсів розвитку.

Системна методологія передбачає створення на основі методів системного аналізу моделей навколишнього середовища для прогнозування її впливу на прийняття рішень, що ведуть до досягнення мети. Побудова системи навколишнього

середовища поряд з обґрунтуванням структури зворотних зв'язків усередині керованої системи є завданням системного мислення. Таким чином, системна методологія організовує такий рух до поставленої мети, при якому послідовно застосовуються системні принципи, системне мислення і побудовані на їх основі технології системного управління.

Системне моделювання дає змогу обґрунтувати найбільш раціональні, з погляду використання доступної інформації, методи побудови формальних (комп'ютерних) моделей складних систем для прогнозу процесів, що в них відбуваються і адаптації моделей до цих спостережень. Об'єднання в загальну ієрархічну систему керованих процесів і процесів у навколишньому середовищі робить системне моделювання об'єктно-орієнтованим підходом. Найбільш поширений у світовій практиці метод формалізації соціально-економічних моделей пов'язаний з роботами Дж. Форрестера. Він розробив метод системної динаміки, що дає змогу представляти складні системи як результат взаємодії потоків різних субстанцій, що протікають через них (Forrester J. W., 1991).

Перелічимо найбільш важливі моменти системної методології: системні принципи необхідні для побудови інформаційної технології підтримки рішень, що приймаються в процесі досягнення цілей, забезпечених наявними ресурсами; системне мислення дає змогу раціонально проаналізувати і узагальнити наявну інформацію при побудові початкової ментальної моделі руху до поставленої мети; схема причинно-наслідкових зв'язків, що представляють ментальну модель, служить основою системного моделювання; складна система може мати нові властивості, якими не володіє жодна з її частин і які не можна виявити, вивчаючи частини системи окремо. Останнє є найбільш важливою властивістю системної методології. Виходячи з цього, Л. Берталанфі дав таке визначення поняття “система”: система є щось ціле, що підтримує своє існування за рахунок взаємодії частин (Bertalanffy L., 1975)

В іноземній науковій літературі є безліч визначень “міждисциплінарності”, що відрізняються в розумінні змісту, яке автори вкладають в один і той самий термін. Так, Е. А. Бушковська визначає міждисциплінарність, як об'єднання двох або більше академічних дисциплін або міждисциплінарність – це дослідження будь-якого об'єкта методами різних наук (Бушковская Е. А., 2009).

Міждисциплінарний характер сучасного пізнання багато в чому обумовлений тим, що наука з “дисциплінарної” сфери діяльності перетворюється в “проблемно-орієнтовану”. Тому перспективними стають дослідження, які об'єднують зусилля фахівців з різних галузей знань і наукових дисциплін, посилюється взаємний обмін досвідом вирішення тематичних завдань, що дає змогу знаходити нові оригінальні рішення (Киященко Л. П., 2006). Міждисциплінарні дослідження характерні для різного роду великих цільових дослідницьких програм, оскільки вони спрямовані на вирішення

наукових проблем різного ступеня складності і масштабу, що в основному передбачає використання методик і залучення фахівців декількох дисциплін.

Киященко Л. П. дає трактування поняття “міждисциплінарність” (Киященко Л. П., 2006), та пише, що про міждисциплінарність можна говорити у випадках, коли різні дисципліни, взаємодіючи одна з одною, утворюють нову дисципліну (так, наприклад, сформувався біохімія або біофізика), або, коли теоретичні уявлення або дослідні практики однієї дисциплінарної області проникають в інші. Відомий в природокористуванні метод генетичних алгоритмів повною мірою відповідає цьому визначенню. Серед різних методів вирішення комбінаторних і оптимізаційних завдань генетичні методи належать до класу евристичних методів пошуку квазіоптимальних рішень. У нашому випадку запозичення з мікробіології еволюційних методів для математичного моделювання розвитку і прогнозу природних процесів метод генетичних алгоритмів служить прикладом міждисциплінарного підходу у вирішенні завдань природокористування (von Wehrden H. et al., 2019). Є переконання в тому, що дисциплінарна обмеженість не дає змоги скласти цілісне уявлення про складні багаторівневі процеси і об’єкти. Предмет вивчається одночасно з різних сторін декількома науковими дисциплінами, кожна з яких використовує власну методологію.

Міждисциплінарний підхід виходить на перший план у вивченні завдань природокористування. Дистанційні аерокосмічні дослідження є наочним прикладом міждисциплінарного наукового підходу, актуальність використання якого особливо очевидна, коли необхідно враховувати безліч взаємопов’язаних факторів різної фізичної природи, фактично інтегруючи результати досліджень, які отримані з різних галузей знань: іконіки, географії, ботаніки,

геодезії, геології, геохімії, океанології і т.д. (MacKinnon P. J. et al., 2013).

Методика

Методи, моделі і способи в сукупності з міждисциплінарним підходом до структурного аналізу та комплексування аерокосмічної і наземної інформації формують нову методологію дистанційних аерокосмічних досліджень у природокористуванні (Хижняк А. В., Федоровський О. Д., 2020).

Представимо концепцію формування методології аерокосмічного геомоніторингу для вирішення завдань природокористування, як концептуальну схему сукупності цільових установок з основними модулями, функціонування яких забезпечує отримання інформації, необхідної для вирішення тематичних завдань (Рис. 1). На основі схеми формуються основні причинно-наслідкові зв’язки між рівнями, що відображають характер функціонування системної методології (Федоровський А. Д. и др., 2001).

Модулі, що розташовані на головній діагоналі схеми, яка з’єднує лівий верхній кут з правим нижнім кутом, становлять перелік тематичних завдань, що вирішуються АКГМ на основі системного підходу і принципах структуризації, міждисциплінарності та комплексування даних.

Модулі, що розташовані праворуч діагоналі розкривають основний зміст методології АКГМ, опис розроблених, модифікованих і адаптованих методичних засад, засобів, способів і моделей, що формують методологію АКГМ вирішення природоресурсних завдань.

Модулі, що розташовані зліва від діагоналі становлять результати апробації і верифікації розроблених методів, моделей і способів вирішення природоресурсних завдань.



Рис. 1. Концептуальна схема методології аерокосмічного геомоніторингу для вирішення завдань природокористування

Для оцінювання попиту методичних засад і засобів для вирішення завдань природокористування на основі методології АКГМ були використані експертні оцінки того чи іншого процесу, пов'язаного з такими поняттями, як технологічна можливість і доцільність на основі запропонованого Т. Саати методу аналізу ієрархій (hierarchy analysis method) (Саати Т., 1993). Метод дає змогу оцінити переваги і недоліки розглянутих методичних засобів і отримати щодо кожного з них формалізовану узагальнюючу оцінку рівня відносного попиту методичних засобів. Найбільш відповідальним етапом є структуризація цільової функції на більш прості критеріальні складові – показники, що об'єднуються у відповідні ієрархічні рівні, і побудова суджень між першим і останнім рівнями.

Суть структуризації полягає у розбивці завдання на ієрархічні підсистеми та компоненти, необхідні для того, щоб завданням можна було керувати. Структура завдання має визначити результат, який необхідно отримати, і пов'яже елементи роботи, які належить виконати, – як між собою, так і з кінцевою метою завдання.

Процес структуризації є невід'ємною частиною загального процесу планування завдання і визначення його цілей, а також підготовки зведеного плану завдання і матриці розподілу впливів. Задача нульового рівня полягає у формуванні мети, яка буде досягнута в процесі вирішення поставленої мети. У такому разі, це “визначення рівня попиту методичних засобів в методології АКГМ”. Перший рівень – перелік тематичних завдань, що вирішуються на основі АКГМ: оцінювання сільгоспугідь, пошук нафти і газу, оцінювання стану міських агломерацій, водогосподарські і морські завдання, кадастр землі, оборонний напрям та ін. На другому рівні надається космічна інформація ДЗЗ, яка використовується для вирішення природоресурсних завдань ДЗЗ: географічна, геологічна, гідрографічна, різночасова, ландшафтна, площі (на глобальному рівні), площі (на детальному рівні), спектрозональна тощо. Третій рівень включає методичні засоби методології АКГМ, рівень відносного попиту яких треба визначити (табл. 1).

Таблиця 1. Ієрархічна схема оцінювання попиту методичних засад і засобів для вирішення завдань природокористування на основі методології АКГМ

Рівень 0	Визначення рівня попиту методичних засобів в методології АКГМ						
Рівень 1	Тематичні завдання для аерокосмічного геомоніторингу природокористування						
	Оцінювання стану міських агломерацій	Оцінювання стану сільськогосподарських угідь	Пошук нафти і газу	Водогосподарські завдання	Морські	Земельні	Оборонні
Рівень 2	Інформація ДЗЗ						
Геологічна	Географічна	Гідрофізична	Ландшафтна	Площі (глоб. масш.)	Площі (дет. масш.)	Різночасова	Спектральна
Рівень 3	Оцінки попиту методичних засад і засобів для вирішення завдань природокористування на основі методології АКГМ						
Метод на основі статистичного критерію	Метод системної динаміки	Метод аналітичних мереж	Метод аналізу ієрархій	Метод багатокритеріальної оптимізації		Ентропійні методи	
Просторово-частотний метод	Метод ГА	Метод адаптивного балансу впливів		Метод регресійного аналізу		Метод Колмогорова	

Якщо розглянута проблема представлена ієрархічно, для формалізації експертної процедури будується множина матриць попарних порівнянь для кожного рівня і кожної складової цього ієрархічного рівня.

Матриця парних порівнянь має вигляд (Саати Т., 1993)

	A_1	A_2	....	A_i	....	A_n
A_1	1	s_1/s_2	....	s_1/s_i	....	s_1/s_n
A_2	s_2/s_1	1	....	s_2/s_i	....	s_2/s_n
....
A_j	s_j/s_1	s_j/s_2	....	s_j/s_i	....	s_j/s_n
....
A_n	s_n/s_1	s_n/s_2	....	s_n/s_3	....	1

де A_1, A_2, \dots, A_n , – параметри, що становлять ієрархічний рівень; s_i/s_j – відношення абсолютних пріоритетів s_i, s_j , i -го і j -го параметрів; n – число критеріїв, порівнюваних на цьому рівні.

Проводиться їх нормалізація і оцінюються вектори пріоритетів з погляду ступеня їх впливу на складові попереднього рівня. Такі матриці потрібно будувати для попарних порівнянь кожної альтернативи на другому рівні стосовно спільної мети на першому рівні і т.д. При цьому зіставлення відбувається не за абсолютними значеннями, а за ступенем відносної переваги за кожним параметром. Ця процедура виконується на кожному ієрархічному рівні, включаючи останній, для якого вираховуються пріоритети з погляду ступеня їх впливу на передостанній рівень експертних суджень.

Далі обчислюються компоненти власного вектора матриці. З отриманих груп матриць визначаються нормальні оцінки вектора локальних пріоритетів. Після того як компоненти власного вектора отримані для всіх n рядків матриці, їх можна використовувати для подальших обчислень. Одночасно з матрицею

попарних порівнянь оцінюється ступінь відхилення від узгодженості отриманих локальних пріоритетів.

Метод аналізу ієрархій дає змогу сконструювати необхідну цільову функцію й оцінити ступінь впливу на неї кожної з характеристик досліджуваної системи. Якщо отримані всі необхідні вагові коефіцієнти, то формула згортки узагальненого критерію для порівнюваних варіантів має вигляд (1):

$$F = \sum_l K_l^1 \sum_m K_m^2 \sum_r K_r^3 \sum_c K_c^4 \cdot x_c^b, \quad (1)$$

де верхній індекс критеріального пріоритету позначає рівень ієрархії, а нижній – індекс підсумовування на відповідному рівні; x_c^b – коефіцієнт переваги варіанта c за показником b .

Для автоматизації процесу визначення рівня відносного попиту методичних засобів шляхом обчислень вищеперахованих визначень у цій роботі було розроблено математичну програму обчислень Hierarchical Analysis Method (HAM) (Рис. 2).

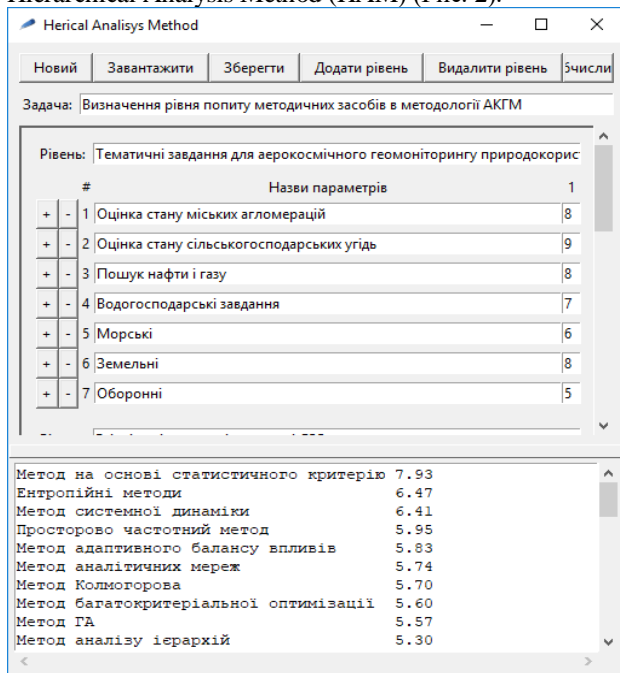


Рис. 2. Вікно програми Hierarchical Analysis Method (HAM) після введення даних

Для демонстрації роботи програми було проведено розрахунки на основі експертних суджень, а отримані результати надані на Рис. 3.

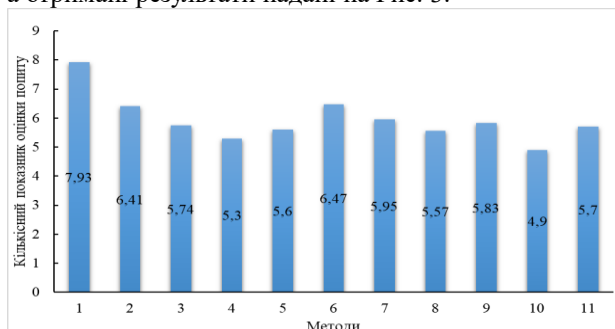


Рис. 3. Результат оцінювання попиту методичних засад і засобів для вирішення завдань природокористування на основі методології АКГМ:

1 – Метод на основі статистичного критерію; 2 – Метод системної динаміки; 3 – Метод аналітичних мереж; 4 – Метод аналізу ієрархій; 5 – Метод багатокритеріальної

оптимізації; 6 – Ентропійні методи; 7 – Просторово-частотний метод; 8 – Метод ГА; 9 – Метод адаптивного балансу впливів; 10 – Метод регресійного аналізу; 11 – Метод Колмогорова

Отже, з результатів дослідження визначено, що на сьогодні для вирішення розглянутих природоресурсних завдань найбільш придатним є метод на основі статистичного критерію.

Приклади застосування

Нижче, як приклад, наводиться результат використання методу на основі статистичного критерію (Arkhipov A.I. et al., 2018) для оцінювання техногенного навантаження ділянок гірничопромислової території Криворізького індустріального регіону, який є дуже важливим для економіки України та є основною сировинною базою для розвитку чорної металургії (Дніпропетровська обласна..., 2021).

Процес техногенезу, як складової частини антропогенезу, є невід'ємною частиною розвитку гірничодобувної промисловості. Антропогенні ландшафти (відвали, кар'єри, шламосховища, промділянки та ін.) сформували неспецифічні для Криворіжжя локальні ландшафто-техногенні системи. Вони займають територію в 40 тис. га, протяжністю з півночі на південь більш як 100 км. У Кривому Розі нараховується близько 5 тисяч джерел забруднення атмосферного повітря. Найбільше підприємство-забруднювач атмосферного повітря – “Арселор Міттал Кривий Ріг” (Рис. 4).



Рис. 4. Територія дослідження ділянок гірничопромислової території Криворізького індустріального регіону, космічний знімок Sentinel 2 за 20.04.2018 р. (комбінація каналів 2-3-4)

Оцінка техногенного навантаження виконувалась на території площею 152 км², яка була розділена на 609 ділянок згідно з такими інформативними ознаками: Gravika, Magnitka, дані середнього значення яскравості піксела оптичних космічних знімків, дані з температурних карт, дані, отримані з радарних космічних знімків для трьох ступенів навантаження: легкого – 3 бали, середнього – 6 балів і важкого – 9 балів.

Для систематизації вхідних даних було створено геоінформаційну систему проєкту досліджуваної ділянки за отриманими даними дистанційної

інформації та експертних оцінок. Крім того, для отримання значень усіх типів ознак в окремих точках на вибрану територію дослідження нанесено сітку з ділянками 500*500 м (Рис. 5) і кожній ділянці присвоєно середні значення яскравості піксела в окремому каналі та значення вхідних геологічних карт.

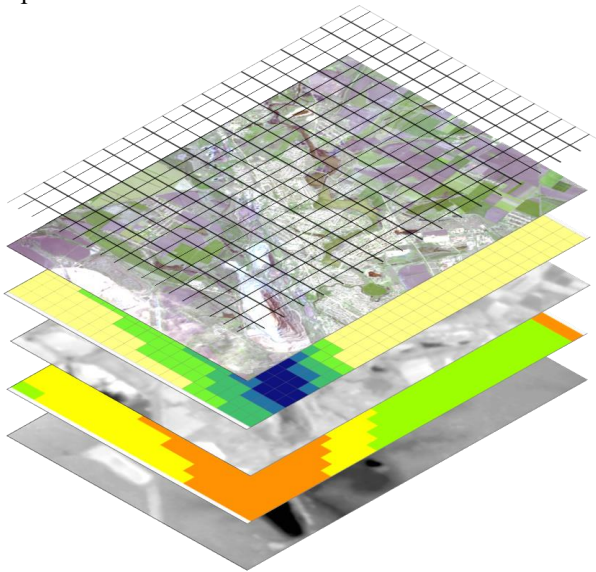


Рис. 5. Систематизація та інтегрування вхідних даних для оцінювання техногенного навантаження гірничопромислових територій

Далі на основі отриманих даних створено матриці інформативних ознак для досліджуваних та еталонних ділянок. У табл. 2 наведені приклади значень еталонів згідно з трьома інформативними ознаками. Цей процес включає формування значень ознак у вигляді електронних таблиць, в кожному рядку яких – результати вимірів усіх видів дистанційної інформації, а в стовпцях – значення ознак для кожної з 609 ділянок.

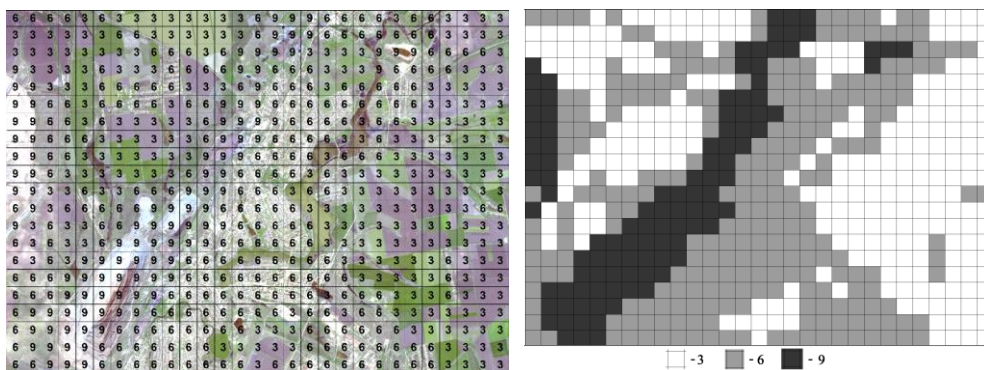
Для обчислення значення ймовірності віднесення значень інформативних ознак кожного досліджуваного об'єкта до значень інформативних ознак кожного присутнього на космічному знімку об'єкта-еталона було автоматизовано на програмному комплексі, спеціально створеному на основі статистичного (евристичного) критерію, що передбачає апріорне введення інформативних ознак всіх еталонів і автоматичне обчислення значень ймовірності належності кожного досліджуваного об'єкта до всіх присутніх об'єктів-еталонів, що дає змогу отримати більшу об'єктивність і достовірність при розпізнаванні і класифікації зображень об'єктів на аерокосмічних знімках. Далі встановлюється порогове значення ймовірності належності значень інформативних ознак кожного досліджуваного об'єкта до значень інформативних ознак кожного присутнього на КЗ об'єкта-еталона.

Таблиця 2. Приклади значень еталонів згідно з трьома інформативними ознаками

№№	Gravika			Magnitka			СЗЯП		
Бали	3	6	9	3	6	9	3	6	9
1	-0.4	-2.0	4.5	120	-1500	-5000	1100	1250	1320
2	-0.8	1.8	5.0	200	-2500	-7000	1150	1280	1350
3	-1.3	3	5.2	300	-3000	-9000	1200	1300	1380
4	-1.8	4.3	5.5	420	-3500	-10000	1230	1320	1400

Кінцевим продуктом цього процесу є визначення класу досліджуваних об'єктів за максимальним значенням ймовірності їх належності до конкретного об'єкта-еталона, відповідного класу та створення картосхеми, що характеризує екологічний стан ділянок гірничопромислової території Криворізького

індустріального регіону. Результати надані у вигляді картосхем на Рис. 6 у балах та у відносних градаціях яскравості: білий колір – відповідає легкому ступеню навантаження (3), сірий – середньому (6) і чорний – важкому (9), відповідно.



а

б

Рис. 6. Картосхеми оцінювання екологічного стану ділянок гірничопромислової території Криворізького індустріального регіону: а) картосхеми надана у балах відповідно до ступенів навантаження: 3 – легкий, 6 – середній, 9 – важкий; б) картосхеми у відносних градаціях яскравості відповідно до ступенів техногенного навантаження

Для обґрунтування запропонованого способу на 100 ділянках було визначено відповідність результатів, отриманих на основі космічної інформації ДЗЗ методом статистичного критерія, і отриманих на основі візуальних наземних спостережень. Для цього було підраховано коефіцієнт кореляції, який становить 0,8, що цілком прийнятно для практичних оцінок техногенного або антропогенного навантаження.

Висновки

1. Досліджено основні особливості використання системного підходу і методів системного аналізу, міждисциплінарності, структуризації складних завдань і комплексування даних.

2. Розроблено концепцію і описано концептуальну схему формування методології аерокосмічного геомоніторингу для розв'язання завдань природокористування на основі методів системного аналізу і принципах структуризації складних завдань, міждисциплінарності і комплексування даних.

3. Отримано оцінку попиту методичних засад і засобів методології аерокосмічного геомоніторингу при вирішенні основної номенклатури тематичних завдань природокористування.

4. Наведено приклад апробації методичних засобів методології аерокосмічного геомоніторингу при вирішенні конкретних тематичних завдань природокористування, а саме: результат використання методу на основі статистичного критерію для оцінювання техногенного навантаження ділянок гірничопромислової території Криворізького індустріального регіону.

Перспективи подальшого дослідження вбачаємо в розробці нових технологій, адаптації нових методів та модифікації вже існуючих, для обробки інформації, отриманої з безпілотних літальних апаратів тощо.

Література

- Arkhipov, A. I., Glazunov, N. M., Khyzhnyak, A. V. (2018). Heuristic Criterion for Class Recognition by Spectral Brightness. *Cybernetics and Systems Analysis*. 54 (1), 94–98. <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0010-7>.
- Bertalanffy, L. (1975). Perspectives on General Systems Theory, ed. by Edgar Taschdjian (G. Braziller, Intl. Library of Systems Theory and Philosophy, New York).
- Forrester, J. W. & Kenyon, B. De Greene (Ed). (1991). System Dynamics and the Lessons of 35 Years. *A chapter for "The Systems Basis of Policy Making in the 1990s"*. Boston: MIT Press. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3226-2_7.
- MacKinnon, P. J., Hine, D., Barnard, R. T. (2013). Interdisciplinary science research and education. *Higher Education Research & Development*. 32 (3), 407–419. doi.org/10.1080/07294360.2012.686482.
- von Wehrden, H., Guimarães, M. H., Bina, O. et al. (2019). Interdisciplinary and transdisciplinary research: finding the common ground of multi-faceted concepts. *Sustainable Sciences*. 14, 875–888. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0594-x>.

- Бушковская, Е. А. (2010). Феномен междисциплинарности в зарубежных исследованиях. *Вестник Томского государственного университета*. 330, 152–155.
- Даргейко, Л. Ф., Боднар, Е. Н., Козлов, З. В., Федоровский, А. Д. (2006). Стратегия выбора перспективного варианта развития космической системы ДЗЗ. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 4, 46–51.
- Дніпропетровська обласна державна адміністрація. Паспорт області. (2021). Взято з <https://adm.dp.gov.ua/pro-oblast/dnipropetrovshina/pasport-oblasti>.
- Киященко, Л. П. (2006). Феномен трансдисциплинарности – опыт философского анализа. *Santalka. Filosofija*. Vilnius. 14 (1), 17–38.
- Загорський, В. С. (2018). *Концептуальні основи формування системи управління сталим розвитком еколого-економічних систем*. Львів: ЛРІДУ НАДУ. ISBN 978-617-644-042-0.
- Моисеев, Н. Н. (1981). *Математические задачи системного анализа*. Москва: Физ.-мат. лит.
- Саати, Т. (1993). *Принятие решений. Метод анализа иерархий*. Москва: Радио и связь.
- Тимченко, И. Е., Игумнова, Е. М., Тимченко, И. И. (2000). *Системный менеджмент и АВС-технологии устойчивого развития*. Севастополь: ЭКОСИ – Гидрофизика.
- Федоровский, А. Д., Даргейко, Л. Ф., Зубко, В. П., Якимчук, В. Г. (2001). Системный подход к оценке эффективности аппаратных комплексов дистанционного зондирования Земли. *Космична наука і технологія*. 7 (5–6), 75–79. doi.org/10.15407/knit2001.05.075.
- Хижняк, А. В., Федоровський, О. Д. (2020). Методичні засоби системного аналізу як складові методології аерокосмічного геомоніторингу розв'язання природоресурсних і екологічних завдань. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2, 27–40. doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2020.2.02.

References

- Arkhipov, A. I., Glazunov, N. M., Khyzhnyak, A. V. (2018). Heuristic Criterion for Class Recognition by Spectral Brightness. *Cybernetics and Systems Analysis*. 54 (1), 94–98. <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0010-7>.
- Bertalanffy, L. (1975). Perspectives on General Systems Theory, ed. by Edgar Taschdjian (G. Braziller, Intl. Library of Systems Theory and Philosophy, New York).
- Forrester, J. W. & Kenyon, B. De Greene (Ed). (1991). System Dynamics and the Lessons of 35 Years. *A chapter for "The Systems Basis of Policy Making in the 1990s"*. Boston: MIT Press. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3226-2_7.
- MacKinnon, P. J., Hine, D., Barnard, R. T. (2013). Interdisciplinary science research and education. *Higher Education Research & Development*. 32 (3), 407–419. doi.org/10.1080/07294360.2012.686482.
- von Wehrden, H., Guimarães, M. H., Bina, O. et al. (2019). Interdisciplinary and transdisciplinary research: finding the common ground of multi-faceted concepts. *Sustainable Sciences*. 14, 875–888. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0594-x>.
- Bushkovskaya, E. A. (2010) The phenomenon of interdisciplinarity in foreign studies. *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*. 330, 152–155 (in Russian).
- Dargeiko, L. F., Bodnar, E. N., Kozlov, Z. V., Fedorovsky, A. D. (2006). Strategy for choosing a promising variant of Space Distant Earth Zonding system development. *System Research & Information Technologies*. 4, 46–51. (in Russian).

- Dnipropetrovsk Regional State Administration. Passport of the region (2021). Retrieved from <https://adm.dp.gov.ua/problast/dnipropetrovshina/pasport-oblasti> (in Ukrainian).
- Kiyashchenko, L. P. (2006). The phenomenon of transdisciplinarity is an experience of philosophical analysis. *Santalka. Filosofija. Vilnius*. 14 (1), 17–38. (in Russian)
- Zagorsky, V. S. (2018). *Conceptual bases of formation of management system of sustainable development of ecological and economic systems*. Lviv: LRIDU NADU. ISBN 978- 617-644-042-0. (in Ukrainian).
- Moiseev, N. N. (1981). *Mathematical problems in systems analysis*. Moscow: Phys.-mat. lit. (in Russian).
- Saati, T. (1993). *Decision making. Hierarchy analysis method*. Moscow: Radio and communication. (in Russian).
- Timchenko, I. E., Igumnova, E. M., Timchenko, I. I. (2000). *System management and ABC technologies for sustainable development*. Sevastopol: "ECOSI – Hydrophysics". (in Russian).
- Fedorovskiy, O. D., Dargeyko, L. F., Zubko, V. P., Yakimchuk, V. G. (2001). A system approach to the estimation of the efficiency of hardware complexes for remote Earth sounding. *Kosmichna nauka i tehnologiya*. 7 (5–6), 75–79. doi.org/10.15407/knit2001.05.075 (in Russian).
- Khyzhniak, A. V., Fedorovsky, O. D. (2020). Methodological approaches of system analysis as components of the methodology of aerospace geomonitoring for solving natural resources management and environmental problems. *System research and information technologies*. 2, 27–40. doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2020.2.02 (in Ukrainian).

КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕТОДОЛОГИИ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ГЕОМОНИТОРИНГА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

А. В. Хижняк, А. Д. Федоровский, А. Ю. Поружкевич, Т. А. Ефименко

Государственное учреждение “Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины” 0154, ул. Олеса Гончара, 55-Б, Киев, Украина

В статье предлагается концепция формирования методологии аэрокосмического геомониторинга для решения задач природопользования на основе системного подхода и принципов структурирования, междисциплинарности и комплексирования данных. Приведены теоретические основы системного анализа, методологии и моделирования. Описана концептуальная схема создания методологии, приведены целевые установки с основными модулями, функционирование которых обеспечивает получение информации, необходимой для решения тематических задач. На основе схемы сформированы основные причинно-следственные связи между уровнями, отражающие характер функционирования системной методологии. Она связывает в определенную последовательность этапы от формирования входной концепции к конкретному решению тематических задач природопользования. Для оценивания спроса методических основ и средств для решения задач природопользования на основе методологии аэрокосмического геомониторинга предложено использование метода анализа иерархий. Метод дал возможность оценить преимущества и недостатки рассмотренных методических средств и получить по каждому из них формализованную обобщающую оценку уровня относительного спроса методических средств. В результате было определено, что наибольшим спросом пользуется метод на основе статистического критерия. В статье приведен пример апробации методических средств методологии аэрокосмического геомониторинга для решения конкретных тематических задач природопользования, а именно результат использования метода на основе статистического критерия для оценивания техногенной нагрузки участков горнопромышленной территории Криворожского индустриального региона, который играет ведущую роль в экономике Украины и является основной сырьевой базой для развития черной металлургии. Техногенная нагрузка оценивалась на территории площадью 152 км², для трех степеней нагрузки: легкой – 3 балла, средней – 6 баллов и тяжелой – 9 баллов.

Ключевые слова: аэрокосмический геомониторинг, системный анализ, методология природопользования.

THE CONCEPT FORMATION OF THE AEROSPACE GEOMONITORING METHODOLOGY OF THE DECISION OF PROBLEMS IN NATURAL RESOURCE

A. V. Khyzhniak, O. D. Fedorovsky, A. Yu. Porushkevych, T. A. Yefimenko

Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Science of the National Academy of Sciences of Ukraine, 55-B, Oles Gonchar str., Kyiv 01054, Ukraine

The article proposes the concept of forming the methodology of aerospace geomonitoring to solve problems of nature management based on a systems approach and the principles of structuring, interdisciplinarity and data integration. Theoretical bases of system analysis, methodology and modeling are given. The conceptual scheme of methodology creation is described, and the set of target installations with the basic modules which functioning provides reception of the information necessary for the decision of thematic tasks is resulted. Based on the scheme, the main causal relationships between the levels, which reflect the nature of the system methodology functioning are formed. It connects in a certain sequence the stages from the formation of the input concept to the specific solution of thematic issue on natural resources. To assess the demand for methodological principles and tools for solving problems of nature management based on the methodology of aerospace geomonitoring, the use of the hierarchy analysis method is proposed. This approach allowed evaluating the advantages and disadvantages of systems methods and obtaining for each of them a formalized summary assessment of the level relative demand of methodological tools. From the obtained results, it was determined that to date, according to the nature resource task considered in the article, the method based on the statistical criterion has the greatest demand. The article gives an example of approbation of methodical means of aerospace geomonitoring methodology for solving specific thematic tasks of nature management. The result of using the method based on statistical criteria to assess the man-made load of mining areas of the Kryvyi Rih industrial region, which plays a leading role in the economy of Ukraine and is the main raw material base for the development of ferrous metallurgy. Assessment of man-caused load was performed on the territory of 152 km², for three levels of load: light – 3 points, medium – 6 points and heavy – 9 points.

Key words: aerospace geomonitoring, system analysis, methodology, nature management.

Рукопис статті отримано 01.09.2021