

Триснюк Василь Миколайович*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ*
ORCID0000-0001-9920-4879**Зорін Денис Олексійович***Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*
ORCID 0000-0002-3519-8171**Волинець Тарас Васильович***Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України,*
ORCID 0000-0002-9152-4680

ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДНІСТРОВСЬКОГО КАНЬЙОНУ

Анотація. Актуальність статті полягає у розробці системи мобільного екологічного моніторингу та особливостям створення алгоритму з використанням аерокосмічних технологій. Запропоновано методику визначення зон екологічного ризику, яка базується на методах ранжування екологічних показників під час оцінки екологічної безпеки екосистеми з використанням багатоспектральних характеристик космічних знімків. Цей науково-методичний підхід дозволяє визначати зони екологічного ризику шляхом об'єднання різних екологічних показників у комплексний (скалярний) індикатор. Використовуючи можливості ГІС для регіональних картографічних побудов та подальшої системи оцінок захищеності ґрунтових вод, для виконання цього виду робіт були використані попередньо створені електронні карти потужності зони аерації та будови літологічного складу її порід у масштабі 1:1000 000. Кожна з електронних карт, залучених для цих побудов, пройшла попередню обробку, що включала генералізацію виділених підрозділів. Побудовано екологічну карту Дністровського каньйону під впливом антропогенних чинників. Це дало можливість подальшого екологічного прогнозування території на основі застосування інформаційних технологій.

Застосування розробленої системи мобільного екологічного моніторингу дозволяє оперативно реагувати на зміни в екосистемі та здійснювати більш точне та ефективне управління природними ресурсами. Така система сприяє не лише виявленню зон екологічного ризику, але й формуванню адекватних заходів щодо їхньої мінімізації. Вона забезпечує комплексний підхід до моніторингу, враховуючи різні аспекти екологічної ситуації, від стану водних ресурсів до рівня забруднення повітря, та допомагає у прийнятті обґрунтованих рішень на рівні місцевих та регіональних органів влади.

Ключові слова: : Дністровський каньйон, екологічна безпека, дистанційно пілотовані літальні апарати, космічні системи спостереження, техногенний вплив, підсистема, екологічний моніторинг, космічні знімки

Trysnyuk Vasyi*Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv*
ORCID0000-0001-9920-4879**Zorin Denis***Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine*
ORCID 0000-0002-3519-8171**Volynets Taras.***Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv*
ORCID 0000-0002-9152-4680

INFORMATION SYSTEMS OF THE MOBILE ENVIRONMENTAL MONITOR OF THE DNISTER CANYON

Abstract. *The relevance of the article lies in the development of a mobile environmental monitoring system and the features of creating an algorithm using aerospace technologies. A methodology for determining environmental risk zones is proposed, which is based on the methods of ranking environmental indicators during the assessment of the ecological safety of the ecosystem using multispectral characteristics of space images. This scientific and methodical approach allows to determine the environmental risk zones by combining various environmental indicators into a complex (scalar) indicator. Using the capabilities of GIS for regional cartographic constructions and the subsequent system of groundwater protection assessments, pre-created electronic maps of the power of the aeration zone and the structure of the lithological composition of its rocks on a scale of 1:1000,000 were used to perform this type of work. Each of the electronic maps involved for these buildings, underwent preliminary processing, which included the generalization of selected subdivisions. An ecological map of the Dniester Canyon under the influence of anthropogenic factors was constructed. This provided an opportunity for further ecological forecasting of the territory based on the application of information technologies.*

The application of the developed mobile environmental monitoring system allows for a prompt response to changes in the ecosystem and more accurate and efficient management of natural resources. This system helps not only to identify areas of environmental risk but also to develop adequate measures to minimize them. It provides an integrated approach to monitoring, taking into account various aspects of the environmental situation, from the state of water resources to the level of air pollution, and helps to make informed decisions at the level of local and regional authorities.

Keywords: *Dniester Canyon, environmental safety, remotely piloted aircraft, space surveillance systems, man-made impact, subsystem, environmental monitoring, space images*

1. Вступ

Використання водних ресурсів спричиняє техногенне навантаження на гідроекологічне середовище. Вирішення проблеми екологічної безпеки гідроекосистем має базуватися на концепції стійкого розвитку, яка включає економічне зростання за рахунок впровадження комплексних екологічно чистих технологій, що не викликають серйозних екологічних проблем, пов'язаних із забрудненням інгредієнтами та теплыми аномаліями.

Через значний техногенний вплив на геологічне середовище відбуваються комплексні зміни геохімічних, гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов, які в багатьох регіонах призводять до стійкого погіршення природної обстановки та набувають трансграничного характеру. Використання космічних знімків високої роздільної здатності та сучасних програмних засобів обробки, а також застосування мобільних екологічних комплексів дозволяють отримати інформацію про стан навколишнього середовища, створити базу даних цифрових тематичних карт і статистичних даних різного рівня. Це підвищує рівень екологічної безпеки навколишнього середовища і техногенних об'єктів. Розширити можливості екологічного моніторингу можна за рахунок використання мобільних екологічних комплексів, дистанційно керованих літальних апаратів і космічних систем спостереження, а також шляхом удосконалення науково-методичних засобів оцінки стану зон екологічного ризику.

2. Матеріали останніх досліджень, щодо застосування геоінформаційних систем та кресмічного моніторингу відображені в працях Яковлєва Є.О., Рудька Г.І., Трофимчука О.М., Красовського Г.Я., Лялька В.І. та інших. В нормативних та законодавчих документах «Про охорону земель», «Про моніторинг», велику увагу зосереджено на державному контролі за використанням ґрунтів та природоохоронних територій [2-5].

3. Об'єкт дослідження є інформаційні технології для екологічного моніторингу та прогнозу території Дністровського каньйону на основі дистанційних та аерокосмічних технологій.

4. Мета дослідження.

Метою роботи є аналіз та представлення комплексного огляду технології використання методів інтерполяції для обробки даних екологічного забруднення. При моніторингових дослідженнях поставлено завдання:

- провести аналіз значення природних та техногенних факторів;
- дослідити моделі та створити карти екологічного забруднення Дністровського каньйону

5. Результати дослідження.

Запропонована методика визначення зон екологічного ризику базується на методах ранжування екологічних показників із застосуванням одного з інструментів кластерного аналізу – методу аналізу ієрархій. Методика включає такі етапи:

Ранжування показників якості функціонування:

- будується багаторівнева ієрархія проблеми, де перший рівень визначає головну мету розробки ефективної методології для визначення зон екологічного ризику (I1).

- другий рівень складається з сукупності критеріїв (I2i, i = 1, k), за якими порівнюватимуться різні підходи до вибору зон екологічного ризику в екосистемі. На другому рівні пропонується використовувати такі підходи:

I21 – повнота врахування факторів, що впливають на визначення зони ризику;

I22 – адекватність моніторингу прогнозованої реальності (достовірність визначення зони ризику);

I23 – тривалість, або здатність враховувати наслідки функціонування зони ризику в подальшому;

I24 – реалізація, або можливість визначення зони екологічного ризику з прийнятними витратами (часу, матеріальних засобів тощо).

Попарне порівняння елементів ієрархії на другому рівні (I2i~I2j, де i ≠ j, i, j = 1, 4):

Визначаються пріоритети критеріїв (I2i, i = 1, k) як нормована сума рядків елементів матриці парних порівнянь. Далі формується модифікована матриця пріоритетів з урахуванням пріоритетів критеріїв. Узагальнююча вага (V) підходів по відношенню до головної мети (I1) визначається шляхом множення матриці на одиничний вектор. Визначення пріоритетного напрямку побудови складної системи мобільного екологічного моніторингу:

$$V_i : \max[V_1 V_2 \dots V_i]. \quad (1)$$

Пріоритет визначається за максимальним впливом на головну мету (I1).

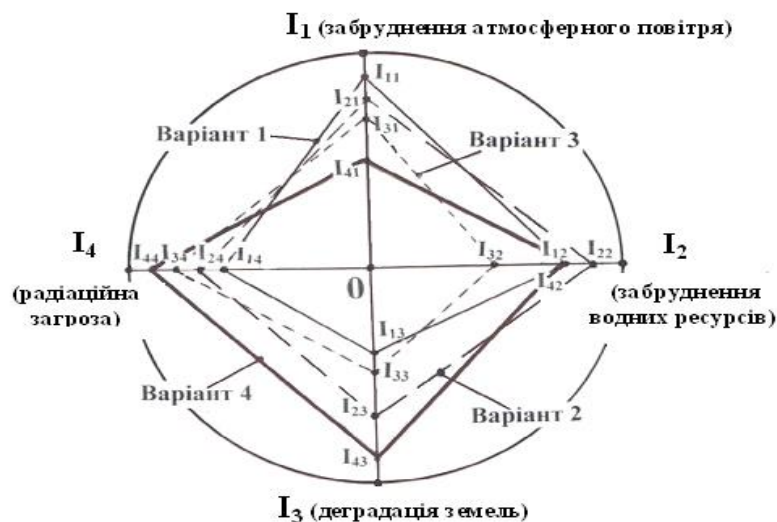


Рис. 1. Визначення зони екологічного ризику

Запропонований в наших дослідженнях підхід доцільно використовувати для визначення екологічного ризику, аналізу підтоплення територій, а також для прогнозу побудови перспективних екологічно чистих і безпечних районів. Методика синтезу зони

екологічного ризику на основі багатокритеріального вибору розглянута на прикладі визначення найбільш небезпечної зони після екологічного моніторингу. Значення небезпечних чинників, які відповідають кожному з чотирьох варіантів, відкладаються по осях I1, I2, I3, I4 всередині кола одиничного радіусу (рис. 1.).

При зеднанні точок отримуємо чотирикутники $S_1 = 0,910$; $S_2 = 1,200$; $S_3 = 0,645$; $S_4 = 1,276$. Найбільш прийнятний четвертий варіант. Запропонований підхід ґрунтується на стохастичній екосистемі, що розглядаються в наших дослідженнях на прикладі Івано-Франківської області (рис. 2.).

$$S_{\Sigma}(t) = \exp \left(- \sum_i^n \int_0^t \lambda_i(\tau) \rho_{ij}(\tau) d\tau \right), \quad (2)$$

$$H_{\Sigma}(t) = 1 - \exp \left(- \sum_i^n \int_0^t \lambda_i(\tau) \rho_{ij}(\tau) d\tau \right), \quad (3)$$

$$\rho_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i}, \quad (4)$$

де n_{ij} – загрози екобезпеки, J –й компонент; n_i –число подій.

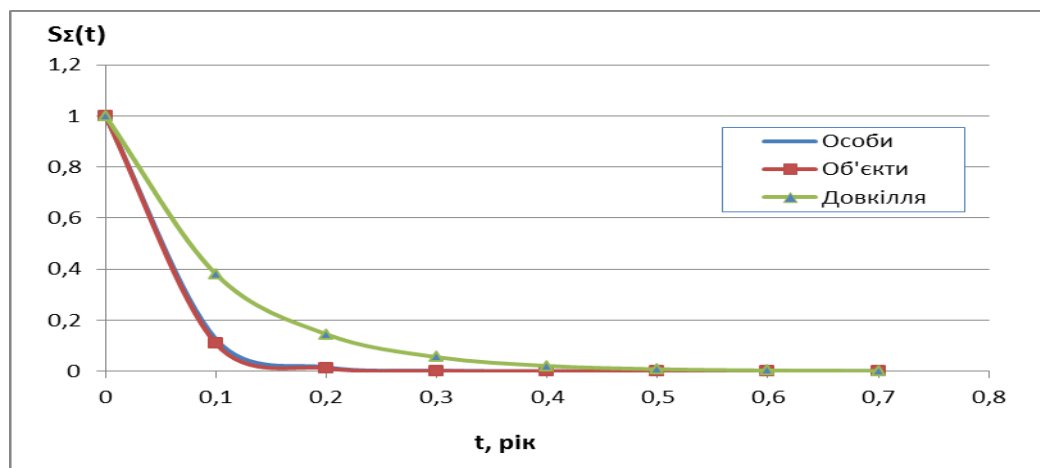


Рис. 2. Безпечові функції екосистеми

В середовищі геоінформаційних систем ArcInfo 9.3 ArcGIS створено векторні шари. Для побудови векторного шару була карта району досліджень Дністровського каньйону (рис.3.) та знімки космічних апаратів «Landsat 5» (рис. 4.). Для вирішення поставлених задач була розроблена модель території за допомогою ГІС MAP INFO з цифрової карти масштабу 1 : 100 000 з мережею спостережень, яка охоплює весь полігон. Робочий масштаб польових досліджень 1 : 50 000. В процесі моніторингових досліджень було визначено 136 геоєкологічних полігонів – точок спостережень, де відбирались проби на різні аналізи (рис. 3,4). Точки відбору проб відображали ландшафти території досліджень та геологічну будову.

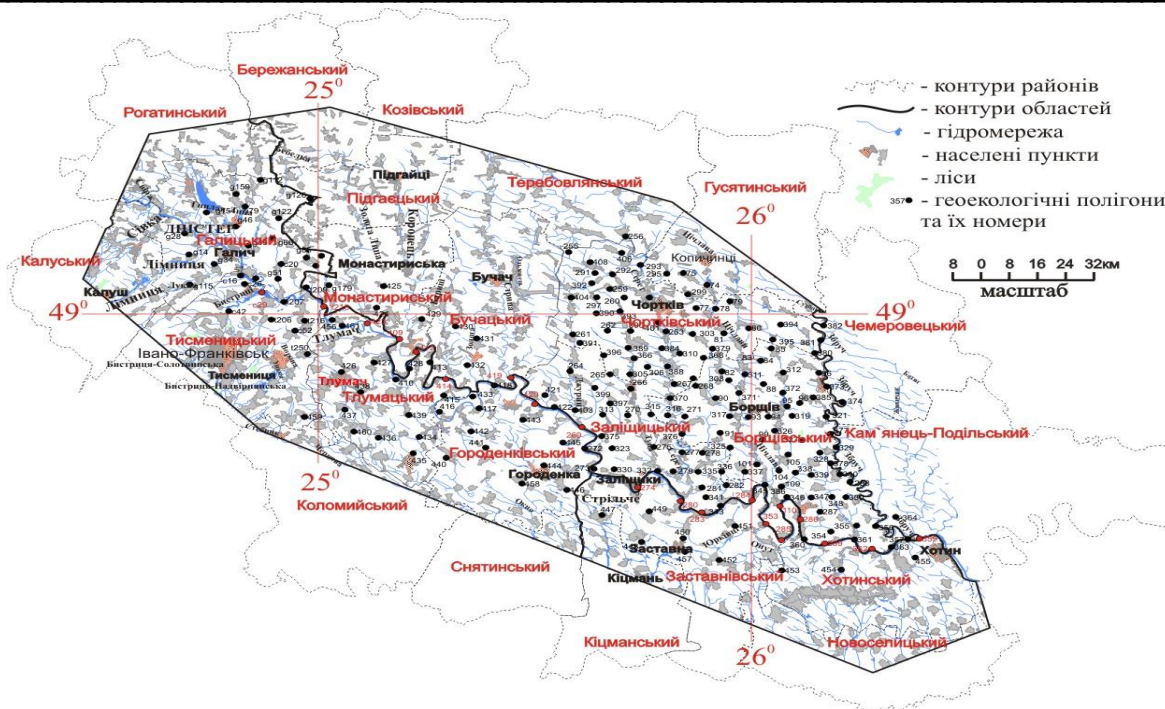


Рис. 3. Карта району досліджень Дністровського каньйону

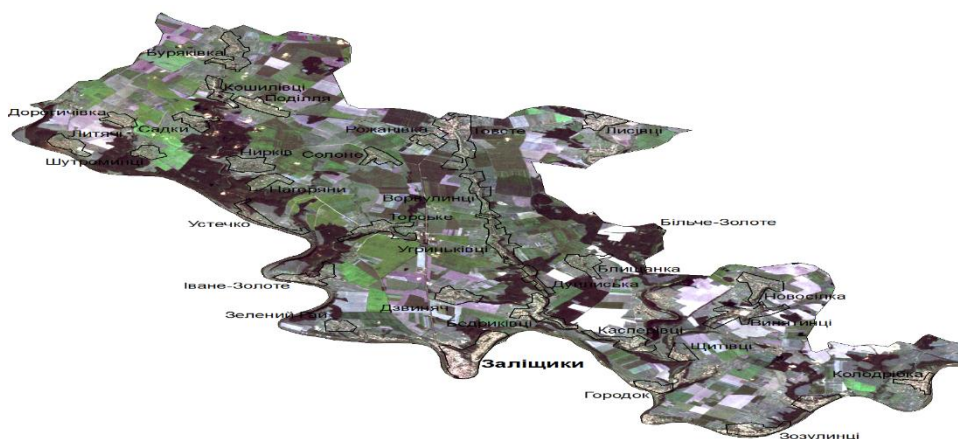


Рис. 4. Космічний знімок Дністрових долин з супутника Landsat 5.

Результати аналітичних досліджень відібраних нами проб зведені у базах даних Microsoft Excel (табл.1), які були оброблені методом Kriging за допомогою ГІС програми SURFER[6]. Інтерполяція еколого-техногеохімічної картографічної моделі забруднення, наприклад, ґрунтів на основі отриманих результатів виконується на основі атомно-абсорбційного аналізу (рис. 5).

Для його визначення вміст кожного елемента (C_i) ділять на фоновий вміст (C_f) та сумують ці частки :

$$Z_c \text{ або } СПЗ = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_f}. \quad (5)$$

Отримані величини зводять до бази даних, на основі якої будуються карти розподілу Z_c (СПЗ) на досліджуваній території[7].

База даних з вмісту хімічних елементів у ґрунтах долини Дністра

№№ п/п	№ пр об	Нормативний вміст		Вміст хімічних елементів (Сі), мг/кг								Сумарний показник забруднення (Zn)
				І клас небезпеки			ІІ клас небезпеки		ІІІ клас не без пе ки	Нафтопродукти	ДДТ	
				As	Cd	Pb	Cu	Zn	V			
		Кларк → ГДК → Фон Сф →	1,7	0,13	16	47	83	19	-	-		
			20	1	32	3	23	150	4 г/кг	0,001		
			0,004 7	0,014	0,44	0,063	13,4	0,94	0,012	-		
Координати, градуси												
X	Y											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	101	25,9891	48,7001	0,01	0,09	1,8	0,9	28	6	0,7	0	93,739
2	102	26,0261	48,659	0,005	0,009	0,4	0,07	17,3	0	0	0	5,0179
3	103	26,059	48,6661	0,003	0,004	0,6	0,08	14,9	0	0	0	4,6694
4	104	26,0952	48,6772	0,04	0,08	2,1	0,9	26	19	0,1	0	63,77
5	105	26,1002	48,7091	0,001	0,007	0,2	0,08	12,4	0	0	0	3,3625

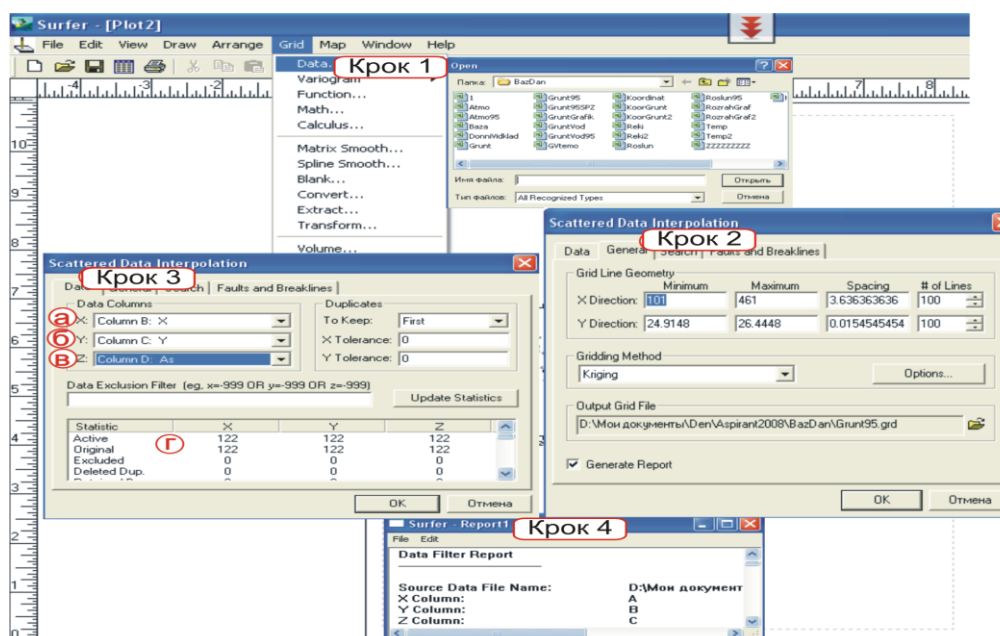


Рис. 5. Створення .grid файлу

Друга важлива вкладка – це *Levels*, вона дозволяє указувати через який діапазон значень проводити контури значень. В результаті створено карту з використання сумарного показника забруднення Z_s або $СПЗ$, який відображає 8 елементів токсикантів (рис.6) Порівняння карт, побудованих двома методами, показує їх добру кореляцію, тобто високу

достовірність обох методів. Перший з них більш простий, якщо є необхідна кількість даних, а другий потребує додаткових розрахунків.

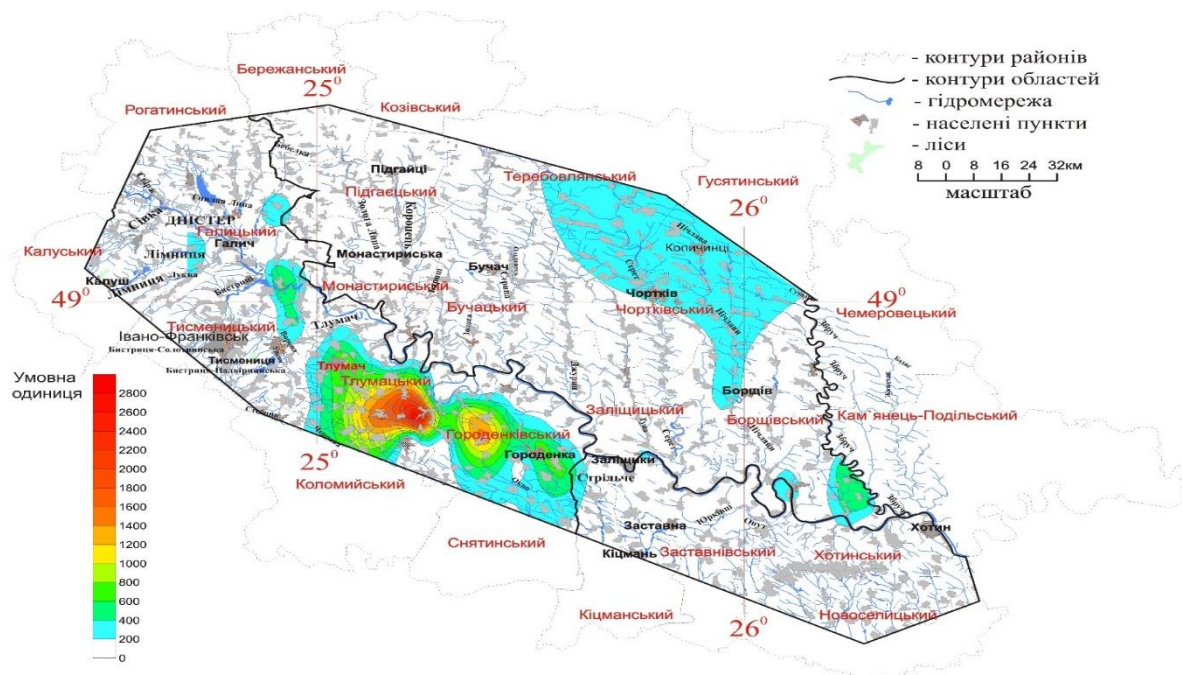


Рис. 6. Сумарний показник забруднення Zs або СПЗ у ґрунтах

На модельній території Дністровського каньйону розвинутий природний та техногенно трансформований ґрунтовий покрив. Забруднення ґрунтового покриву такими елементами, як Mn, Cu, Hg, Zn та інші розповсюджені поблизу промислових та інших забруднюючих підприємств. Аналіз показав, що аміак і сполуки магнію приводять до залуження ґрунтів, хлориди та сірка підкислюють ґрунти [8]

6. Висновки. В результаті проведених теоретичних і прикладних досліджень вирішено важливе науково-практичне завдання зі створення системи мобільного екологічного моніторингу, що об'єднує космічні, повітряні та наземні мобільні комплекси. Це дозволило підвищити точність та інформаційні можливості систем екологічного моніторингу для виявлення зон екологічного ризику, використовуючи мобільні комплекси для оцінки екологічного стану регіону з використанням геоінформаційних та аерокосмічних технологій. Запропоновано методику визначення зон екологічного ризику, яка базується на ранжуванні екологічних показників у процесі багатокритеріального оцінювання екологічної безпеки екосистеми. Ця методика, на відміну від існуючих, використовує багатоспектральні характеристики космічних знімків, що дозволяє точно визначати вплив на природне середовище в системі екологічного моніторингу. Система мобільного екологічного моніторингу навколишнього природного середовища та техногенно небезпечних об'єктів забезпечує розробку методики побудови зон екологічного ризику з визначенням стану навколишнього середовища.

Список використаної літератури:

1. Адаменко О. М. Екологічна безпека територій. Монографія / О. М. Адаменко, Я. О. Адаменко, Л. М. Архипова та ін. – Івано-Франківськ : Супрун, 2014. – 456 с
2. Триснюк В.М. Система управління екологічною безпекою природних і антропогенно-модифікованих геосистем. Системи обробки інформації. –2016. –№12. – С.185-188. Index Copernicus

3. Красовський Г. Я. Інвентаризація водойм регіону з застосуванням космічних знімків і геоінформаційних систем / Г. Я. Красовський, О. С. Волошкіна, І. Г. Пономаренко, В. А. Слободян // Екологія і ресурси. – 2005, вип. 11. – С. 19-41.
4. Trofymchuk O. Geo-information Technologies for Decision Issues of Municipal Solid Waste / O. Trofymchuk, V. Trysnyuk, N. Novokhatska, I. Radchuk // Journal of Environmental Science and Engineering A 3 (2014) s. 183-187.
5. В.М. Триснюк, А.А. Нікітін В.О. Шумейко Алгоритм оброблення інформації про радіоактивне забруднення місцевості з використанням даних ДЗЗ та ГІС. // Системи управління, навігації та зв'язку. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Полтава. Випуск 6 (46) 2017р. – С. 102-110.
6. Zorin D. (2023). Elektrony kartografichny GIS-modeli ekologichnogo stanu Dnistra. Tom 43.
7. O. Trofymchuk, Y. Yakovliev, V. Klymenko, Y. Anpilova, Geomodeling and monitoring of pollution of waters and soils by the earth remote sensing. International Multidisciplinary Scientific GeoConference - SGEM, 19, 1.4 (2019).
8. Триснюк В. М., Нагорний Є. І., Триснюк Т. В., Конечька О. О., Курило А. В.. Методика виявлення радіаційного забруднення місцевості та його ризиків. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Випуск 3(69) 2022 С. 112-115. ISSN 2073-7394.

References:

1. Adamenko O. M. Ecological security of territories. Monograph / O. M. Adamenko, Ya. O. Adamenko, L. M. Arkhipova and others. – Ivano-Frankivsk: Suprun, 2014. – 456 p
2. Trysnyuk V.M. Environmental safety management system of natural and anthropogenically modified geosystems. Information processing systems. -2016. - No. 12. - P.185-188. Index Copernicus
3. G. Ya. Krasovskyi. Inventory of reservoirs of the region using space images and geoinformation systems / G. Ya. Krasovskyi, O. S. Voloshkina, I. G. Ponomarenko, V. A. Slobodian // Ecology and resources. – 2005, issue 11. – P. 19-41.
4. Trofymchuk O. Geo-information Technologies for Decision Issues of Municipal Solid Waste / O. Trofymchuk, V. Trysnyuk, N. Novokhatska, I. Radchuk // Journal of Environmental Science and Engineering A 3 (2014) s. 183-187.
5. V.M. Trysnyuk, A.A. Nikitin V.O. Shumeiko Algorithm for processing information on radioactive contamination of the area using data from DZZ and GIS. // Management, navigation and communication systems. Poltava National Technical University named after Yury Kondratyuk. Poltava Issue 6 (46) 2017 - P. 102-110.
6. Zorin D. (2023). Elektrony kartografichny GIS-modeli ekologichnogo stanu Dnistra. Tom 43.
7. O. Trofymchuk, Y. Yakovliev, V. Klymenko, Y. Anpilova, Geomodeling and monitoring of pollution of waters and soils by the earth remote sensing. International Multidisciplinary Scientific GeoConference - SGEM, 19, 1.4 (2019)
7. O. Trofymchuk, Y. Yakovliev, V. Klymenko, Y. Anpilova, Geomodeling and monitoring of pollution of waters and soils by the earth remote sensing. International Multidisciplinary Scientific GeoConference - SGEM, 19, 1.4 (2019).
8. Trysnyuk V.M., Nagornyi E.I., Trysnyuk T.V., Konetska O.O., Kurylo A.V.. Methods of detecting radiation contamination of the area and its risks. Control, navigation and communication systems. Collection of scientific works. Poltava National Technical University named after Yury Kondratyuk. Issue 3(69) 2022, pp. 112-115. ISSN 2073-7394.