

*В. М. Триснюк, В. О. Охарєв,
Т. В. Триснюк, К. В. Сметанін,
Ю. М. Голован*

*Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України, м. Київ*

СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Стаття присвячена створенню системи мобільного екологічного моніторингу та особливості побудови алгоритму з використанням аерокосмічних технологій. Запропоновано методику побудови зон екологічного ризику на основі методів ранжирування екологічних показників при багатокритеріальному оцінюванні екологічної безпеки екосистеми, що базується на використанні багатоспектральних характеристик космічного знімка. Запропонована методика визначення зон екологічного ризику на основі методів ранжирування екологічних показників з використанням одного з інструментів кластерного аналізу – методом аналізу ієрархій.

Запропонований підхід доцільно використовувати при визначенні зон екологічного ризику, виборі напрямів екологічної реабілітації зруйнованих районів, побудови перспективних екологічно чистих і безпечних районів. Запропонована методика синтезу зони екологічного ризику на основі багатокритеріального вибору розглянута на прикладі визначення найбільш небезпечної зони після екологічного моніторингу.

У статті пропонується науково-методичний апарат, що дозволяє визначати зони екологічного ризику безпосередньо за сукупністю екологічних показників згортання критеріїв в комплексний (скалярний) показник. Перспективами розвитку запропонованого підходу є його удосконалення з метою можливого врахування не стаціонарності і стохастичності розглянутих екосистем. Запропоновано оцінювати ризик загроз екологічної та природно-техногенної безпеки регіонів. В роботі отримано статистичні оцінки інтенсивності надзвичайних ситуацій і визначено ймовірності загрозливої екологічної ситуації та функції безпеки для розглядової зони екологічного ризику.

Розглянутий у статті підхід дозволить підвищити ефективність управлінських рішень по забезпеченню екологічної безпеки, знайти найкращий компроміс між суперечливими показниками якості функціонування системи, вибрати і обґрунтувати пріоритетні напрямки розвитку складних екосистем.

У статті наведені необхідні науково-практичні рекомендації щодо застосування мобільної системи аерокосмічного екологічного моніторингу.

Ключові слова: екологічний моніторинг, моніторинг рослинного покриву, космічні знімки, екологічна безпека, інформаційні технології, екологічний ризик, підсистема.

Постановка проблеми. Традиційний спосіб отримання інформації про стан навколишнього природного середовища і техногенних об'єктів, який здійснюється наземними службами, не завжди забезпечує необхідну оперативність оновлення даних. Застосування космічних знімків високої роздільної здатності та сучасних програмних засобів обробки, використання мобільних екологічних комплексів дозволяють отримати інформацію про навколишнє середовище, створити базу даних цифрових тематичних карт і статистичних даних різного рівня. Це дозволить підвищити рівень екологічної безпеки навколишнього середовища і техногенних об'єктів.

Беручи до уваги постійну зміну навколишнього середовища під дією антропогенного впливу, промислових об'єктів, а також параметрів атмосфери Землі, виникає необхідність достовірного виконання завдань екологічного прогнозування та екологічної безпеки на основі застосування екологічного моніторингу [1]. Тому, розширення можливостей екологічного моніторингу можна здійснити з використанням рухомих екологічних комплексів, дистанційно пілотованих літальних апаратів і космічних систем спостереження при використанні дистанційних методів контролю параметрів навколишнього середовища, а також за рахунок удосконалення науково-методичного апарату оцінки стану зон екологічного ризику.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що на сьогоднішній день напрацьовано різні методи, механізми, принципи і методики визначення стану навколишнього природного середовища при проведенні екологічного моніторингу з використанням аерокосмічних технологій. Це підтверджується проведеними дослідженнями та працями в галузі застосування аерокосмічних

технологій для завдань екології та природокористування таких вчених, як Адаменко О. М., Адаменко Я. О., Горбулін В. П., Красовський Г. Я., Лялько В. І., Машков О. А., Мокін В. Б., Пашков Д. П., Рудько Г. І., Трофимчук О. М. та ін. [1-5].

Мета статті. Запропонувати інформаційні технології для діагностики і оцінки стану довкілля та техногенних об'єктів. Застосування аерокосмічних технологій дистанційного зондування відкривають нові можливості створення систем екологічного моніторингу та оцінки їх стану.

Викладення основного матеріалу. Визначається що одним з перспективних методів проведення екологічного моніторингу є дистанційний, що базується на основі комплексного використання космічних, повітряних та рухомих наземних комплексів систем спостереження. У якості повітряних комплексів розглядаються безпілотні літальні апарати (БПЛА), дистанційно пілотовані літальні апарати (ДПЛА) (рис.1).



Рис. 1. Схема управління комплексами моніторингу

Завдяки комплексному застосуванню різних датчиків первинної інформації (емпіричної і теоретичної частин ПС-технологій) можна оперативно оцінити поточні та прогнозні зміни навколишнього середовища в глобальних (планетарних) масштабах [2].

Для організації управління режимом моніторингу використовуються наступні вимірювальні системи: супутники, повітряні, морські (річкові) лабораторії, наземні рухомі пункти спостережень.

За своєю структурою система моніторингу навколишнього середовища і екологічно небезпечних техногенних об'єктів повинна виконувати наступні функції: збір інформації про об'єкт моніторингу; обробка, зведення, угруповання і зберігання інформації; моделювання (імітація, організація взаємозв'язків, навчання) фізико-хімічних процесів різних видів геоекосистем; оцінка поточного стану геоекосистем; прогноз стану геоекосистем; зворотний зв'язок, оцінка дефіциту інформації, її оптимізація.

Синтез системи мобільного екологічного моніторингу з використанням аерокосмічних технологій передбачає створення таких її підсистем:

1. Підсистема збору та експрес-аналіз даних. Підсистема забезпечує систематичний збір, узагальнення, зберігання, використання та поширення інформації про параметри навколишнього середовища в формі, максимально адаптованій до практичного використання споживачами.

2. Підсистема первинної обробки і накопичення даних. Підсистема аналізує інформацію про навколишнє середовище і оцінює фактичний стан природних систем в конкретних просторово-часових межах.

3. Підсистема комп'ютерного картографування. Підсистема реалізує алгоритми формування комп'ютерних карт з нанесенням на них характеристик екологічної ситуації в регіоні.

4. Підсистема оцінки стану атмосфери. Підсистема реалізує моделі поширення атмосферних забруднень, викликаних викидами продуктів випаровування і спалювання палива в різних сферах людської діяльності.

5. Підсистема оцінки стану ґрунтово-рослинних покривів. Ця підсистема здійснює облік в моделях системи «ґрунт-рослинність», впливу атмосферних газів і змін освітленості на біогеохімічні цикли.

6. Підсистема оцінки стану водного середовища території. Підсистема оцінки стану водного середовища реалізує комплексну імітаційну модель водного режиму регіону з урахуванням сезонних змін поверхневого і річкового стоку, впливу снігового покриву, режиму опадів.

7. Підсистема оцінки рівня екологічної безпеки і ризику для здоров'я населення території. Підсистема вирішує завдання розробки коротко- і довгострокових прогнозів, забезпечення даних для ланок управління станом навколишнього середовища, оповіщення про катастрофи, стихійні лиха і екологічно небезпечні явища.

8. Підсистема ідентифікації причин порушення екологічного та санітарного стану. Підсистема, здійснюючи контроль стану навколишнього середовища і джерел антропогенного впливу на нього, забезпечує безперервне спостереження за станом і якістю природно-територіальних комплексів і екосистем, з урахуванням відповідних реакцій біосфери, клімату, а також змін стану здоров'я населення.

9. Підсистема інтелектуальної підтримки прийняття рішень. Підсистема реалізує алгоритми програмно-математичного забезпечення інтелектуальної підтримки користувача (оператора) при комплексному аналізі об'єктивної інформації, що формується системою моніторингу.

Запропонована методика визначення зон екологічного ризику на основі методів ранжирування екологічних показників з використанням одного з інструментів кластерного аналізу – методом аналізу ієрархій.

Методика передбачає наступні процедури.

1. Процедура ранжирування показників якості функціонування.

Будуємо багаторівневу ієрархію проблеми. Перший рівень визначає головну мету її розробки ефективної методології визначення зон екологічного ризику I_1 .

Другий рівень – сукупність критеріїв I_{2i} , $i=1, k$ за якими будемо порівнювати різні підходи при виборі зон екологічного ризику в екосистемі. В якості таких підходів на другому рівні запропоновано використовувати: I_{21} – повнота врахування чинників, що впливають на визначення зони ризику; I_{22} – адекватність моніторингу прогнозованої реальності (достовірність визначення зони ризику); I_{23} – тривалість, або здатність враховувати наслідки функціонування зони ризику в подальшому; I_{24} – реалізація, або можливість визначення зони екологічного ризику з прийнятними витратами (часу, матеріальних засобів і ін.).

2. Здійснюємо попарне порівняння елементів ієрархії на другому рівні $I_{2i} \sim I_{2j}$, $i \neq j$, $i, j=1, 4$.

3. Визначаються пріоритети $\tilde{P}_2(I_{2k})$ критеріїв I_{2i} , $i=1, k$ як нормовану суму рядків елементів матриці парних порівнянь.

Далі формуємо модифіковану матрицю ${}_M \tilde{P}_3$ пріоритетів \tilde{P}_3 з урахуванням пріоритетів критеріїв \tilde{P}_2 .

Узагальнююча вага V підходів I_{3i} , $i=1, \bar{l}$ по відношенню до головної мети I_1 визначається шляхом множення матриці ${}_M \tilde{P}_3$ на одиничний вектор $1_{(l)}, 1_{(l)} \in R^l$

Визначаємо пріоритетний напрямок побудови складної системи по максимальному впливу на головну мету I_1 :

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

Запропонований підхід доцільно використовувати при визначенні зон екологічного ризику, виборі напрямів екологічної реабілітації зруйнованих районів, побудови перспективних екологічно чистих і безпечних районів.

Запропонована методика синтезу зони екологічного ризику на основі багатокритеріального вибору розглянута на прикладі визначення найбільш небезпечної зони після екологічного моніторингу.

Відкладаємо по вісях I_1, I_2, I_3, I_4 всередині кола одиничного радіуса значення небезпечних чинників показників, які відповідають кожному з чотирьох варіантів (рис. 2). Далі з'єднуємо точки

відповідних варіантів і отримуємо чотири чотирикутники. Обчислюємо площі кожного чотирикутника: $S_1=0,910$; $S_2=1,200$; $S_3=0,645$; $S_4=1,275$.

В даному підході більш прийнятним є варіант 4 ($S_4=1,275$).

Запропонований науково-методичний апарат дозволяє визначати зони екологічного ризику безпосередньо за сукупністю екологічних показників згортання критеріїв в комплексний (скалярний) показник. Перспективами розвитку запропонованого підходу є його удосконалення з метою можливого врахування не стаціонарності і стохастичності розглянутих екосистем.

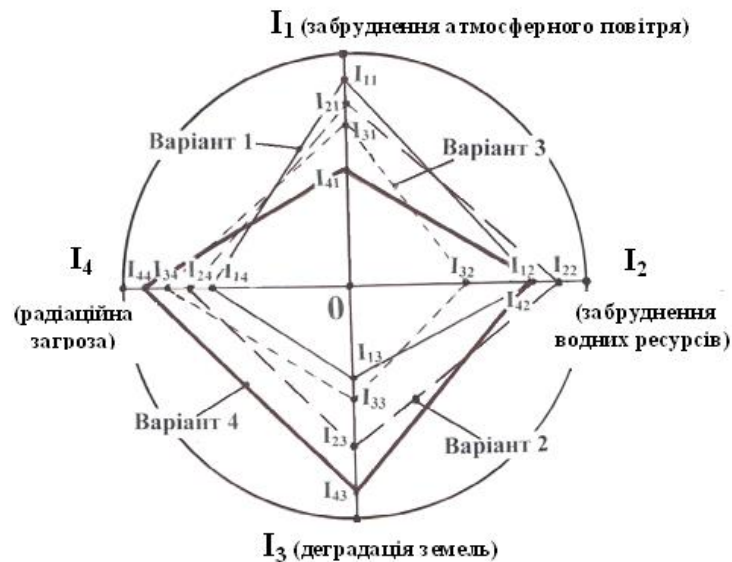


Рис. 2. Визначення зони екологічного ризику

Запропоновано оцінювати ризик загроз екологічної та природно-техногенної безпеки регіонів. В роботі отримано статистичні оцінки інтенсивності надзвичайних ситуацій λ_i і визначено ймовірності загрозливої екологічної ситуації ρ_{ij} та функції безпеки $S_\Sigma(t)$ для розглядової зони екологічного ризику – Донецька область (рис. 3):

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

$$H_\Sigma(t) = 1 - \exp\left(-\sum_i^n \int_0^t \lambda_i(\tau) \rho_{ij}(\tau) d\tau\right), \quad (2)$$

$$\rho_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i},$$

де n_{ij} – число загрозливих екологічних ситуацій i -го виду з порушенням j -ї компоненти екосистеми, n_i – загальне число подій i -го типу.

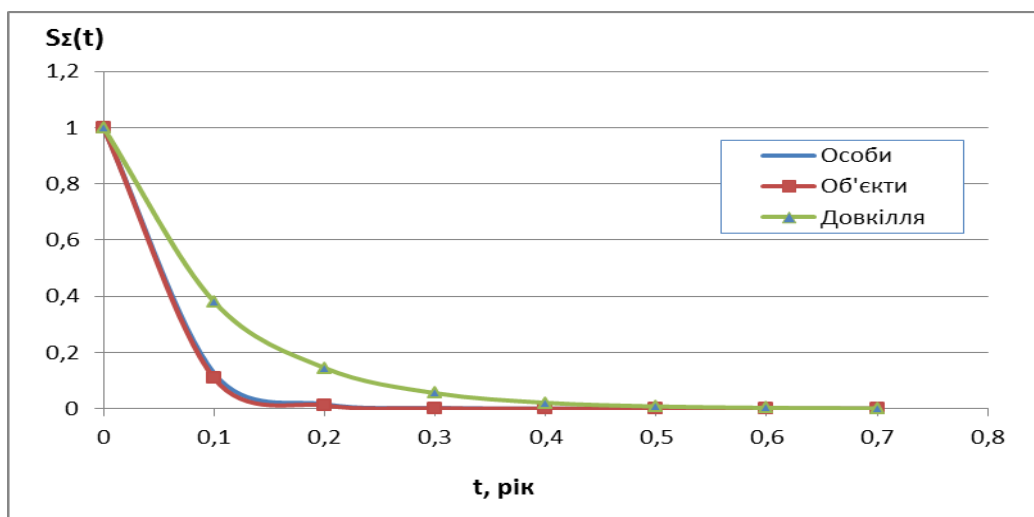


Рис. 3. Функції безпеки об'єктів екосистеми

Запропонований підхід дозволить підвищити ефективність управлінських рішень по забезпеченню екологічної безпеки, знайти найкращий компроміс між суперечливими показниками якості функціонування системи, вибрати і обґрунтувати пріоритетні напрямки розвитку складних екосистем.

Для реалізації необхідні науково-практичні рекомендації щодо застосування мобільної системи аерокосмічного екологічного моніторингу.

Створення векторних шарів здійснювалося в середовищі геоінформаційної системи (ГІС) ArcGIS, ArcInfo 9.3. Вихідним матеріалом для створення векторного шару лісових масивів були космічні знімки з супутника «Січ-2» (рис. 4).

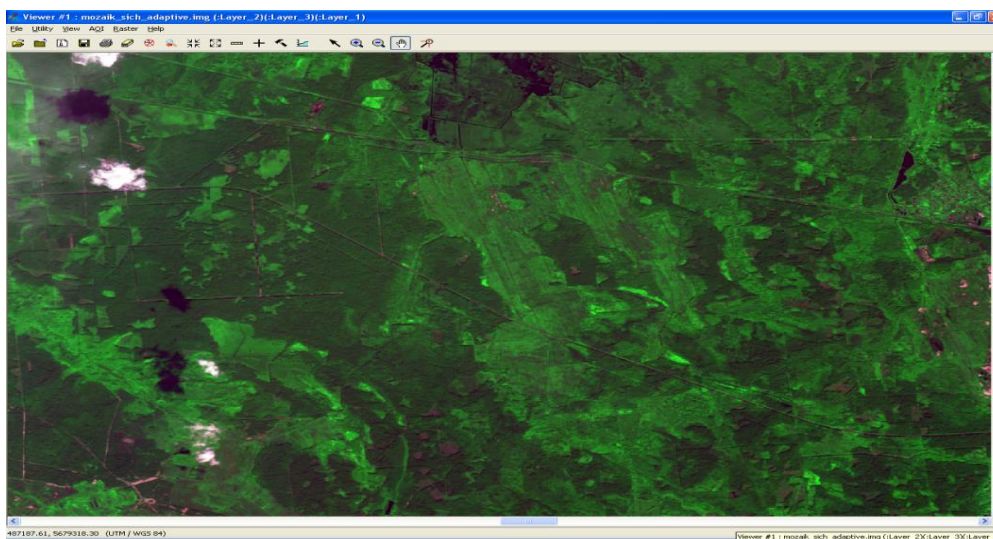


Рис. 4. Зображення після проведеного поліпшення (посилення контурів)

Попередньо виділені класи включали в себе загальні площі масивів лісу, чагарників, лісів на болотах. Наступним кроком у створенні тематичних шарів є коригування отриманих векторів засобами ArcInfo [3]. На (рис. 5) представлений фрагмент векторного шару масивів лісу на території Рівненської області.

Система управління дозволяє досягти необхідної ефективності організації менеджменту, і відповідно групового застосування дистанційно пілотованих літальних апаратів [4] (рис. 5).

Таким чином, в процесі виконання роботи було забезпечено впровадження сучасних інформаційних технологій (використання матеріалів дистанційного зондування Землі з супутників і застосування геоінформаційних технологій) в процес створення цифрових тематичних карт лісових масивів і лісгоспів Рівненської області масштабу 1:50 000.

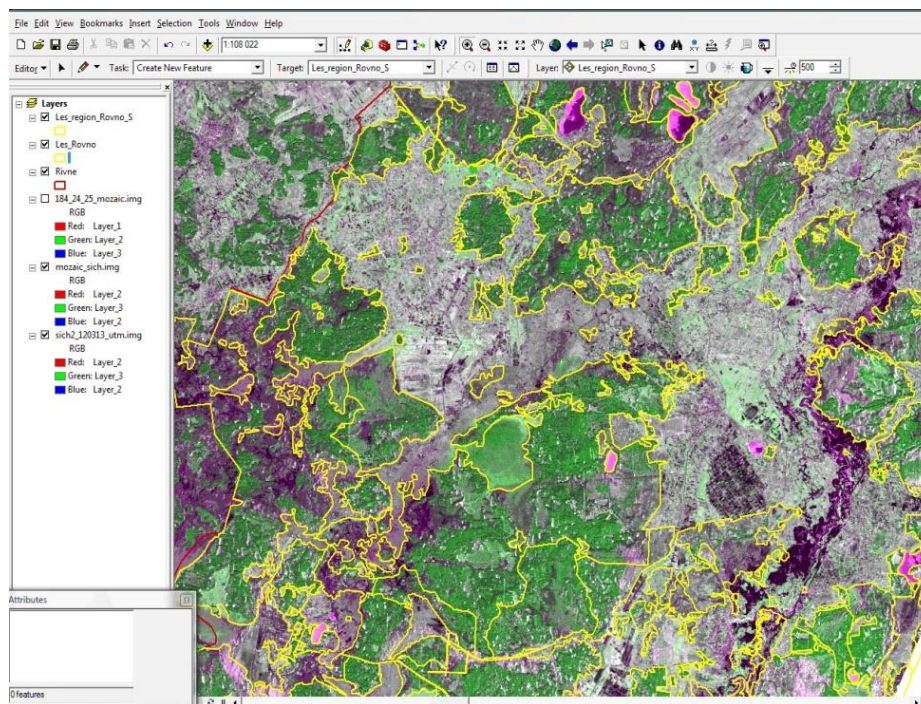


Рис. 5. Фрагмент векторного шару масивів лісу на території Рівненської області

Виконано тематичне дешифрування матеріалів ДЗЗ з метою отримання достовірних оцінок екологічного стану навколишнього середовища, своєчасного виявлення на ранній стадії аварійних, катастрофічно техногенних ситуацій. Джерелами екологічної інформації виступали: космічні апарати, пілотовані літальні апарати, ДПЛА, БПЛА, наземні пересувні комплекси екологічного моніторингу, стаціонарні станції екологічного контролю та спостереження.

Опрацьовано дані екологічного моніторингу для геоінформаційного моделювання рослинного покриву урбанізованих ландшафтів.

Аналіз і моніторинг рослинного покриву проводився за даними радіометра AVHRR і може застосовуватися для оцінки стану рослинності, виявлення типу рослинного покриву, підрахунку займаних площ і моніторингу стану рослинності. Вегетаційний індекс (різниця коефіцієнта відображення в ближньому інфрачервоному та червоному каналі) був застосований при геоінформаційному моделюванні стану вегетації на території Рівненської області. При цьому використовувався космоснімок, отриманий з супутника Landsat-5 від 18 вересня 2008 року.

У роботі виконано дешифрування багатозональних знімків КА Landsat 5 і КА Landsat 7, які дозволяють оцінювати на території Рівненської області зміни забудованих територій, трав'янистої і деревної рослинності з точністю не гірше 10%. Виявлення ерозійних ґрунтів може бути наслідком або водної ерозії, або вітрової дефляції. Основним фактором водної ерозії є поверхневий стік. Режим стоку залежить від опадів, умов рельєфу, інфільтраційних властивостей ґрунтів, їх структури, характеру рослинності, використання земель та багатьох інших показників.

Аерокосмічні знімки не тільки дозволяють надати уявлення про розвиток і інтенсивність процесів водної ерозії і вітрів, дефляції ґрунтів, а й відображають агротехнічні заходи, спрямовані на боротьбу з ними – проведення механічної обробки схилів з урахуванням рельєфу, терасування схилів. Маючи доступ до космоснімків різних за часом, можливо відслідковувати динаміку змін місцевості.

Аналіз результатів проведених досліджень показує, що багатозональні знімки КА серії Landsat можуть ефективно використовуватися для створення тимчасових рядів тематичних карт рослинного покриву і забудованих територій з метою оцінки їх динаміки.

В ході дослідження були використані дані мультиспектральної зйомки з супутника Landsat 7 (сканер ETM+) і дані DEM (Digital Elevation Model, ЦМП), отримані через архів SRTM. Сучасні програмні засоби для обробки космоснімків є потужними і містять велику кількість різних функцій. До таких програмних засобів належать ERDAS Imagine, ENVI, PCI Geomatica.

Висновки. В результаті проведених теоретичних та прикладних досліджень розв'язано важливе науково-практичне завдання створення системи мобільного екологічного моніторингу при комплексуванні космічних, повітряних та рухомих наземних комплексів. Розв'язання

поставленого наукового завдання дозволяє підвищити достовірність та інформаційні можливості систем екологічного моніторингу для визначення зон екологічного ризику на основі використання мобільних комплексів оцінки екологічного стану регіону з застосуванням геоінформаційних та аерокосмічних технологій.

Запропоновано методику побудови зон екологічного ризику на основі методів ранжирування екологічних показників при багатокритеріальному оцінюванні екологічної безпеки екосистеми, яка на відміну від існуючих, базується на використанні багатоспектральних характеристик космічного знімка, що дає можливість однозначно ідентифікувати характер впливу на природне навколишнє середовище в системі екологічного спостереження

Система мобільного екологічного моніторингу навколишнього природного середовища й техногенно небезпечних об'єктів забезпечує створення методики побудови зон екологічного ризику з визначенням стану навколишнього середовища.

Література

1 V. Trysnyuk, T. Trysnyuk, V. Okhariev, V. Shumeiko, A. Nikitin Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding Centrul Universitar Nord Din Bala Mare – UTPRESS ISSN 1582-0548 – №1, – 2018 – С.61-67.

2 Греков Л. Д., Красовський Г. Я., Трофимчук О. М. Космічний моніторинг забруднення земель техногенним пилом. – Київ, Наукова думка. – 2007. – 219 с.

3 Адаменко О. М. Екологічна безпека територій. Монографія / О. М. Адаменко, Я. О. Адаменко, Л. М. Архипова та ін. – Івано-Франківськ : Супрун, 2014. – 456 с

4 Триснюк В. М. Система управління екологічною безпекою природних і антропогенно-модифікованих геосистем. Системи обробки інформації. – 2016. – №12. – С.185-188.

5 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.

Надійшла до редакції 07 грудня 2018 р.

V. M. Trysniuk, V. O. Okhariev,

T. V. Trysniuk, K. V. Smetanin,

Yu. M. Holovan

*Institute of Telecommunications and Global
Information Space of the NAS of Ukraine, Kyiv*

DEVELOPMENT OF THE MOBILE ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM

The article deals with the development of the mobile environmental monitoring system and the peculiarities of algorithm design using aerospace technologies. The authors have proposed the methodology for designing the ecological risk zones based on the ranking methods of ecological indexes with the multi-criteria environmental safety assessment of the ecosystem, based on the use of multispectral characteristics of the space image. The methodology for defining the ecological risk zones has been proposed, which is based on the ranking methods of ecological indexes using one of cluster analysis tools – the hierarchy analysis method.

The proposed approach can be efficiently used to define the ecological risk zones, choose the ways of the ecological rehabilitation of damaged areas and construct the prospective ecologically clean and safe regions. The proposed methodology for synthesizing the ecological risk zone based on the multi-criteria selection has been studied on the example of defining the most dangerous zone after the environmental monitoring.

The article proposes the research and methodological basis, which helps to define the ecological risk zones directly based on the set of ecological indexes and turning the criteria into the complex (scalar) index. The prospective to develop the proposed approach is to improve it so that it could take into account the instability and stochasticity of the ecosystems under consideration. The authors have proposed to assess the risk of threats to the ecological, natural and technogenic safety of the regions. The intensity of

emergencies has been statistically estimated in the article. The probabilities of the threatening environmental situation and safety functions of the considered ecological risk zone have been defined.

The approach, considered in this article, will help to improve the efficiency of managerial decisions on ensuring the environmental safety, to find the best compromise between the contradictory quality indexes of system operation, to select and substantiate the priority directions for the development of complex ecosystems.

The article provides the necessary research and practical recommendations for applying the mobile system of aerospace environmental monitoring.

Key words: environmental monitoring, plant cover monitoring, space images, ecological safety, information technologies, ecological risk, subsystem.

References

1 V. Trysnyuk, T. Trysnyuk, V. Okhariev, V. Shumeiko, A. Nikitin Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding Centrul Universitar Nord Din Bala Mare – UTPRESS ISSN 1582-0548 – №1, – 2018 – C.61-67.

2 Grekov L. D., Krasovs'kij G. Ya., Trofimchuk O. M. Kosmichnij monitoring zabrudnennya zemel' tekhnogennim pilom. – Kiiv, Naukova dumka. – 2007. – 219 s.

3 Adamenko O. M. Ekologichna bezpeka teritorij. Monografiya / O. M. Adamenko, Ya. O. Adamenko, L. M. Arhipova ta in. – Ivano-Frankivs'k : Suprun, 2014. – 456 s

4 Trisnyuk V. M. Sistema upravlinnya ekologichnoyu bezpekoyu prirodnih i antropogenno-modifikovanih geosistem. Sistemi obrobki informacii. – 2016. –№12. – S.185-188.

5 Krasovs'kij G. Ya. Inventarizaciya vodojm regionu z zastosuvannjam kosmichnih znimkiv i geoinformacijnih sistem / G. Ya. Krasovs'kij, O. S. Voloshkina, I. G. Ponomarenko, V. A. Slobodyan // Ekologiya i resursi. – 2005, vip. 11. – S. 19-41.