

Волинець Тарас Васильович

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ
ORCID 0000-0002-9152-4680

ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ МОРСЬКИХ АКВАТОРІЙ ТА ПРИБЕРЕЖНИХ ЗОН

Анотація. *Робота присвячена розв'язанню науково-практичного завдання, що полягає в розробці методів, технологій і засобів створення систем комплексного моніторингу морських акваторій та стану прибережних зон з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Основною метою є підвищення якості, оперативності, комплексності та ефективності процесів збору даних спостережень, їх оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан території та її екологічну безпеку.*

У дослідженні акцентується на поєднанні комплексності методології побудови динамічної системи моніторингу, прогнозування та попередження щодо безпеки та сталого розвитку територій і країни в цілому. Основну інформаційну базу складають супутникові дані та дані, отримані за допомогою БПЛА, щодо надзвичайних ситуацій та стану морських акваторій.

Особливою рисою запропонованої методики є нововведені структурні елементи, які дозволяють визначити склад бортового обладнання, кількість БПЛА та оптимальний маршрут їх руху відповідно до виконання поставлених екологічних завдань.

Доведено, що методи математичного й імітаційного моделювання сприяють створенню функціональних і інформаційних моделей, а також використовуються методи системного аналізу для встановлення структурних зв'язків між елементами складних систем. Картографічний метод дослідження об'єктів морських акваторій і прибережних зон включає картографічне моделювання та регіональний аналіз просторової структури геоекологічних явищ, що дозволяє визначати їх екологічні критерії.

На основі застосування несучої апаратури на борту БПЛА реалізовано пропозиції щодо якісної оцінки та контролю параметрів навколишнього середовища при вирішенні завдань екологічного моніторингу стану морських акваторій і прибережних зон.

Ключові слова: *інформаційні технології, екосистема, морські акваторії, програмна траєкторія руху, система керування, алгоритми керування, спектральні канали, дистанційні методи.*

Volynets Taras

Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID 0000-0002-9152-4680

INFORMATION SYSTEMS OF MOBILE MONITORING OF MARINE WATERS AND COASTAL ZONES

Abstract. *The work is dedicated to the solution of the scientific and practical task, which consists in the development of methods, technologies and means of creating systems of complex monitoring of marine water areas and the state of coastal zones using unmanned aerial vehicles (UAVs). The main goal is to increase the quality, efficiency, complexity and effectiveness of the processes of data collection of observations, their processing, transmission, preservation and analysis of information about the state of the territory and its environmental safety.*

The research focuses on the combination of the complexity of the methodology of building a dynamic system of monitoring, forecasting and warning regarding the security and sustainable development of the territories and the country as a whole. The main information base consists of satellite data and data obtained with the help of UAVs regarding emergency situations and the state of marine water areas.

A special feature of the proposed methodology is the newly introduced structural elements that allow determining the composition of on-board equipment, the number of UAVs and the optimal route of their movement in accordance with the fulfillment of the environmental tasks.

It has been proven that the methods of mathematical and simulation modeling contribute to the creation of functional and informational models, and the methods of system analysis are also used to establish structural connections between elements of complex systems. The cartographic method of researching the objects of sea water areas and coastal zones includes cartographic modeling and regional analysis of the spatial structure of geoecological phenomena, which allows determining their ecological criteria.

On the basis of the application of the load-bearing equipment on board the UAV, proposals were implemented for qualitative assessment and control of environmental parameters when solving the tasks of ecological monitoring of the state of marine water areas and coastal zones.

Key words: *information technology, ecosystem, marine water areas, software trajectory, control system, control algorithms, spectral channels, remote methods.*

Вступ

Збереження екологічної безпеки морських акваторій та прибережних зон є критичним завданням для країн, які мають вихід до моря. В умовах зростання антропогенного навантаження на морські екосистеми, глобальних змін клімату та збільшення транспортного потоку важливою стає необхідність безперервного моніторингу стану водних ресурсів і прибережних екосистем. Своєчасне виявлення екологічних ризиків та техногенних інцидентів (витоків нафти, забруднень хімічними речовинами, зміни температури й солоності води, ерозійних процесів) дозволяє мінімізувати збитки та сприяння. У цьому контексті сучасні інформаційні системи мобільного моніторингу набувають особливого значення. Мобільні платформи моніторингу – такі як безпілотні літальні апарати (дрони), автоматизовані морські буйки та спеціалізовані катери з датчиками – дозволяють відшкодування на місцях, що особливо важливо для регіонів із важкодоступними прибережними зонами. Застосування мобільних інформаційних систем сприяє точнішому відстеженню екологічних параметрів, моніторингу біорізноманітності, попередженню стихійних явищ (наприклад, штормових хвиль і повеней) та контролю за виконанням міжнародних екологічних стандартів.

2. Аналіз досліджень і публікацій.

Розвиток інформаційних систем моніторингу морських і прибережних зон активно досліджується в наукових колах. Науковці з різних країн аналізують технологічні рішення, оптимізують методи збору даних і розробляють алгоритми для оперативного виявлення екологічних ризиків. На сьогодні розроблено різноманітні методи, механізми, принципи та підходи для оцінки стану навколишнього середовища під час екологічного моніторингу із застосуванням аерокосмічних технологій. Ефективність таких підходів підтверджується дослідженнями та науковими роботами, присвяченими використанню: Лялько В.І. – спектральні характеристики рослинного покриву [1,2]; Попов М.О. – прогнозування врожайності зернових культур за багато спектральними даними ДЗЗ [3], Трофимчук О.М., Красовський Г.Я., Греков Л.Д., Триснюк В.М. – космічний моніторинг забруднення земель [4,5], Панас Р.М. - космічний моніторинг деградації ґрунтів [6] та інших. Таким чином, аналіз публікації підтверджує, що ефективні системи мобільного моніторингу морської акваторії потребують комплексного підходу, який включає синергію різних технологій — від супутникових знімків до безпілотників та локальних сенсорних мереж. Системний розвиток цих напрямів дозволяє суттєво підвищити ефективність природоохоронних заходів та запобігти екологічним катастрофам у морських та прибережних.

Метою цієї роботи є аналіз і представлення комплексного огляду інформаційних технологій для обробки даних моніторингу морських акваторій та прибережних зон. Для досягнення цієї мети необхідно таке завдання:

-проаналізувати сучасні інформаційні системи для моніторингу морських акваторій та прибережних зон.

-дослідити моделі системи мобільного моніторингу, за допомогою розв'язку системи нелінійних трансцендентних рівнянь.

Об'єктом дослідження є процес застосування дистанційно-пілотованих літальних апаратів в системі екологічного моніторингу стану морських акваторій та прибережних зон..

Визначено, що одним із перспективних методів екологічного моніторингу є дистанційний моніторинг. У складі повітряних комплексів застосовуються безпілотні літальні апарати (БПЛА) та дистанційно пілотовані літальні апарати (ДПЛА) (рис.1.)



Рис. 1. Схема управління комплексами моніторингу.

Результати дослідження.

Для забезпечення високоякісного та своєчасного екологічного моніторингу морських акваторій і прибережних зон за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) пропонується застосування комплексного підходу. Цей підхід включає такі етапи:

1. Визначення зони спостереження та аналіз її характеристик: На цьому етапі обирається область для моніторингу і збираються основні дані про її особливості.

2. Підбір обладнання для БПЛА: На другому етапі обирається бортове обладнання, яке дозволяє просторово визначити та виміряти зони ураження з урахуванням висотного профілю атмосферного середовища.

3. Передача даних з БПЛА: На цьому етапі зібрана інформація передається для подальшої обробки та аналізу.

Необхідно враховувати, що такий підхід має певні обмеження, пов'язані з можливостями бортового обладнання, яке може не завжди забезпечувати надійні дані для екологічного моніторингу. Система моніторингу навколишнього середовища та екологічно небезпечних техногенних об'єктів повинна виконувати низку функцій, таких як збір і обробка інформації, моделювання фізико-хімічних процесів, оцінка стану геоекосистем, прогнозування та зворотний зв'язок для оптимізації інформаційних потоків. Синтез мобільної системи екологічного моніторингу морських акваторій і прибережних зон із застосуванням аерокосмічних технологій передбачає створення таких підсистем:

1. Підсистема збору та оперативного аналізу даних стану морських акваторій і прибережних зон.

2. Підсистема первинної обробки та накопичення даних про стан морських акваторій і прибережних зон.

3. Підсистема картографування з використанням комп'ютерних технологій.

4. Підсистема оцінки стану атмосфери в контрольованій зоні.

5. Підсистема аналізу стану прибережних територій.

6. Підсистема оцінки рівня екологічної безпеки та потенційних ризиків для здоров'я населення.

7. Підсистема виявлення причин порушень екологічного та санітарного стану.

8. Підсистема інтелектуальної підтримки для прийняття рішень.

Особливістю запропонованої методики є додаткові структурні елементи для визначення складу бортового обладнання, оптимальної кількості БПЛА та оптимальних маршрутів руху безпілотників залежно від поставлених екологічних завдань (рис. 2)



Рис. 2. Підготовчі роботи для моніторингу морських акваторій та визначення оптимального маршруту руху безпілотного апарата відповідно до виконання поставленого завдання (2024 р.).

На сьогодні типовий комплекс системи управління польотом безпілотних літальних апаратів (БПЛА) включає такі підходи:

- система управління польотом, що забезпечує як пряме управління БПЛА, так і автономне виконання маршруту;

- забезпечення необхідної точності геоприв'язки та можливість визначення координат (заражених об'єктів, епіцентрів, меж зон тощо) з урахуванням заданої допустимої похибки спостереження;

- можливість дотримання визначеного маршруту польоту БПЛА відповідно до плану польоту;

- адаптація бортового обладнання для підвищення ефективності роботи БПЛА в екологічних дослідженнях та для виявлення антропогенного впливу на навколишнє середовище.

- можливість керування системою управління БПЛА на великій відстані;

- згладжування перехідних процесів в системі управління, щоб уникнути значних погіршень у роботі, при цьому час перехідного процесу має бути максимально скороченим;

- відповідність захищеним вимогам до управління БПЛА для забезпечення надійної роботи в умовах складної електромагнітної обстановки (рис. 2).

При використанні БПЛА для екологічного моніторингу морських акваторій важливо вибрати оптимальний варіант їх застосування, що дозволить досягти максимальної ефективності в рамках заданих умов експлуатації. Це включає аналіз різних рішень, які забезпечують найбільший моніторинговий ефект, враховуючи специфічні умови та обмеження, в яких буде працювати апарат.

Допустимо, що є різні варіанти рішень задачі (наприклад, різні системи моніторингу земної поверхні) B_1, B_2, \dots, B_m та сукупність умов їх впровадження (відповідно до заданого маршруту польоту ДПЛА): A_1, A_2, \dots, A_n .

Нехай W_{ij} – показник ефективності (ймовірність здобуття необхідної інформації про земну поверхню) при використанні i -го рішення (i -го варіанту бортового устаткування) в j -х умовах (1, 2). Складемо матрицю стратегій (табл. 1).

Особливістю матриці стратегій є побудова різних варіантів рішень залежно від побудови різних систем та пристроїв бортового обладнання ДПЛА. В цьому випадку W_{ij} значення ефективного варіанта використання бортового обладнання (ймовірність здобуття необхідної інформації про приземну поверхню) при застосуванні варіантів рішень залежно від умов.

Для наочності можна побудувати для кожного з гіпотетичних варіантів рішень діаграму залежності між значеннями показників ефективності і варіантами умов. По осі ординат визначаємо значення показника ефективності W , а по осі абсцис – варіанти умов у вигляді крапок, розташованих в певному порядку. З'єднаємо точки W_{ij} , відповідні цьому рішенню, лініями (рис. 3). Отримаємо типовий для практики випадок, коли одне рішення ефективніше в одних умовах, а інше – в інших. Однак з економічних міркувань не можна дозволити собі мати багаточисельні технічні рішення і використовувати кожне у відповідних випадках. Потрібно вибрати якийсь одне рішення (інколи декілька), яке було б кращим, в якомусь сенсі, для всього діапазону умов використання.

Таблиця 1

Матриця стратегій виконання завдання екологічного моніторингу морських акваторій та прилеглих зон

Варіанти рішень	Варіанти умов								
	A_1			A_2			A_3		
	1	...	n	1	...	m	1	...	L
B_1	W_{11}	...	W_{1n}	W_{11}	...	W_{1m}	W_{11}	...	W_{1l}
B_2	W_{21}	...	W_{2n}	W_{21}	...	W_{2m}	W_{21}	...	W_{2l}
....
B_k	W_{k1}	...	W_{kn}	W_{k1}	...	W_{km}	W_{k1}	...	W_{kl}

У ряді випадків виникає завдання визначення вірогідності або частоти появи тих або інших умов p_1, p_2, \dots, p_n і вибрати те рішення, для якого усереднений і показник W_i буде кращим

$$W_i = p_1 W_{1i} + p_2 W_{2i} + \dots + p_n W_{ni} \tag{1}$$

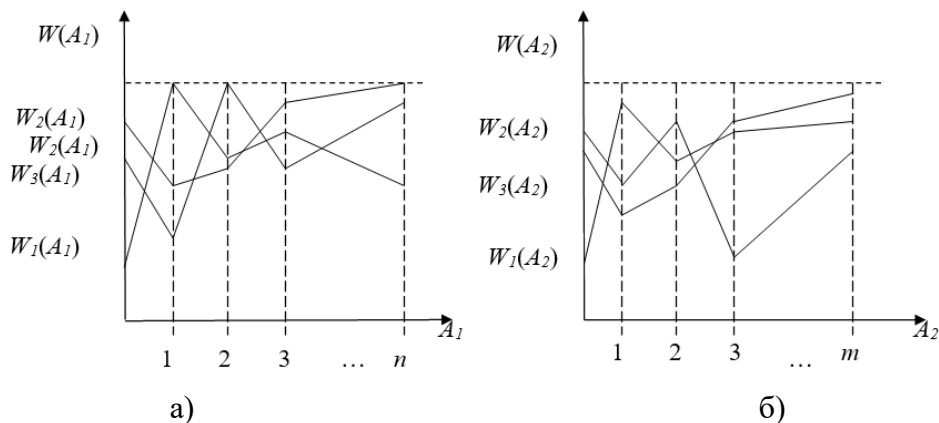


Рис. 3. Графік залежності бортового обладнання ДПЛА для проведення екологічного моніторингу:

а - для бортових систем управління ДПЛА, б - для систем спостереження ДПЛА.

Якщо вірогідність $p_j (j = 1, \dots, n)$ відома і не змінюється в часі, то саме так і слід робити. Проте набути значень p_j з дослідів у низці випадків неможливо. Крім того, якщо в середньому кращим виявиться один з варіантів рішення і ми його приймемо, то може виявитися, що цей

варіант технічного рішення ефективний лише в певних умовах функціонування ДПЛА. В результаті ж рішення виявиться ефективним на дуже короткий час.

Важливо обрати компромісне рішення, яке, хоча й не є оптимальним у всіх аспектах, проте буде прийнятним у різних умовах експлуатації. Найкраще рішення базується на аналізі матриці ефективності з урахуванням прогнозу змін у середовищі, де функціонують бортові системи БПЛА.

Сформулюємо основні завдання бортових систем БПЛА та визначимо показники їхньої ефективності. Одним із ключових завдань є визначення координат об'єктів спостереження, що раптово з'являються, причому положення цих об'єктів може бути охарактеризоване відповідними статистичними характеристиками невизначеності.

Показником ефективності виконання завдання може бути приріст ймовірності недопущення економічних втрат або математичного очікування збережених ресурсів, які отримуються в результаті обробки інформації [7]. Ймовірність недопущення втрат і математичне очікування збережених ресурсів з урахуванням відповідного інформаційного забезпечення можна представити у такому вигляді:

$$W_i^{(a\bar{n})} = W_i W^{(a\bar{n})} \quad (2)$$

$$m_c^{(a\bar{n})} = m_c W^{(a\bar{n})} \quad (3)$$

де W_i , m_c – ймовірність недопущення втрат і математичне очікування збережених ресурсів, що надходять з бортових систем, до складу якого входить ДПЛА;

$W^{(a\bar{n})}$ – ймовірність виконання завдання моніторингу бортовими системами ДПЛА щодо здобуття і обробки відповідної інформації.

При цьому, ймовірність виконання завдання бортовими системами ДПЛА можна визначити за формулою повної ймовірності (3).

Таким чином, для визначення ефективного варіанта щодо рішення виконання завдання екологічного моніторингу буде розраховуватися за виразом:

$$W = \sum_{i=1}^3 W_i(A_i)p_i = W_1(A_1)p_1 + W_2(A_2)p_2 + W_3(A_3)p_3 \quad (4)$$

де $W_1(A_1)$ – показник ефективності застосування необхідного бортового обладнання в системі управління ДПЛА (залежно від необхідного);

$W_2(A_2)$ – показник ефективності застосування необхідного бортового обладнання для виконання завдання спостереження ДПЛА (залежно від кількості та якості завдання спостереження);

$W_3(A_3)$ – показник ефективності застосування алгоритму руху ДПЛА по заданому маршруту;

p_i – ймовірність виконання поставленого завдання.

Одним з основних завдань є визначення координат об'єктів спостереження, що раптово з'являються. При цьому положення цих об'єктів може характеризуватися відповідними статистичними характеристиками невизначеності (4).

У такому випадку ймовірність виконання завдання бортовими системами ДПЛА можна визначити за виразом

$$W_2 = \sum_{i=1}^m W_i P_{em} \quad (5)$$

де W_i – ймовірність виконання завдання моніторингу бортовими системами ДПЛА по здобуттю і обробці відповідної інформації.

Час проведення екологічного моніторингу ДПЛА і передачі даних можна визначити за виразом (5)

$$T = T_c + T_{об} + T_{пр} \quad (6)$$

де T_c – час зйомки бортовими системами ДПЛА;

$T_{об}$ – час первинної обробки інформації на борту;

$T_{пр}$ – час передачі даних з ДПЛА на НПУ.

При цьому, ймовірність виконання проведення ЕМ із застосуванням ДПЛА буде залежати від ймовірності виявлення (визначення) антропогенного впливу під час зйомки (6)

$$P_{ем} = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \frac{1}{\langle t_{об} \rangle} e^{-\frac{t}{\langle t_{об} \rangle}} \left[\Phi \left(\frac{t - m_T}{\sqrt{2D_T}} \right) + \Phi \left(\frac{m_T}{\sqrt{2D_T}} \right) \right] dt \quad (7)$$

де $\Phi(\dots)$ – функція Крампа (інтеграл ймовірності);

m_T – математичні очікування зйомки;

D_T – дисперсії випадкових величин зйомки;

$t_{об}$ – середній час поширення отруйної речовини в середовищі.

Істотною особливістю процесів функціонування бортових систем ДПЛА є їх випадковість, яка викликана не повною визначеністю умов, в яких ці процеси протікають, а також різними випадковими відхиленнями і помилками, що виникають при зборі інформації, виробленню дій, що управляють, та їх виконання[8]. Отже, результат функціонування бортових систем ДПЛА є стохастичним і з кількісного боку характеризується законами розподілу параметрів, що визначають цей результат.

Тому на початку досліджень необхідно визначитися з можливістю виконання екологічних завдань ДПЛА, що будуть застосовуватися для проведення екологічного моніторингу. Для виконання поставленого завдання в ході проведення екологічного моніторингу за допомогою ДПЛА потрібно врахувати умови функціоналу

$$f = \{\tau, P, N, C\} \quad (8)$$

де τ – час виконання ДПЛА поставленого завдання для виконання екологічного

моніторингу ($\tau = \frac{T}{N} \rightarrow \min_N$ при $T = T(N_1, N_2, \dots, N_n) \rightarrow \min$);

P – ймовірність виконання поставленого завдання ДПЛА в ході проведення досліджень;

N – кількість ДПЛА необхідних для виконання поставленого завдання

C – вартість, яка необхідна для застосування ДПЛА при виконанні поставленого завдання

Доступність урбаністичних ландшафтів для дистанційних спостережень варіюється та залежить насамперед від типу, якості, часу та масштабу зйомки, а також від інших параметрів. Більшість характеристик ландшафту – таких як рельєф, рослинність, ґрунти, поверхневі води, антропогенні явища та техногенні об'єкти – добре представлені на аерокосмічних знімках у різних спектральних діапазонах або на синтезованих зображеннях. Усі ці елементи формують загальний вигляд ландшафту та його фізіономічні ознаки (рис. 4)

На основі отриманих результатів були розроблені науково-практичні рекомендації, які містять послідовні дії для виявлення техногенного забруднення та оцінки стану критичної інфраструктури за допомогою БПЛА. Це дозволяє оперативно приймати управлінські рішення з метою зменшення негативних впливів та забезпечення екологічної безпеки в регіоні



Рис. 4. Чергування різних структур і типів стану морських акваторій та прилеглих зон за даними ДПЛА

Висновки

Під час проведення дослідження були розроблені науково-методичні підходи, на основі яких удосконалено процедуру екологічного моніторингу з використанням БПЛА. Ця процедура є основою для оперативного виявлення забруднювачів під час спостереження за певною територією. У роботі для вирішення поставлених наукових завдань комплексно використовувалися методи спостереження (польові дослідження), системний підхід, структурний та параметричний аналіз, теорія та методи оптимізації, а також теорія управління та методи статистичної обробки результатів.

У процесі експерименту поряд з аналітичними розрахунками застосовувалося імітаційне моделювання, засноване на використанні спеціального програмного комплексу MATLAB 8.1. Було сформульовано і розглянуто завдання оптимізації польоту БПЛА з урахуванням економічних показників. Також були проаналізовані вибір маршруту польоту БПЛА, критерії оптимального польоту та автоматичне управління польотом.

Це дослідження відкриває можливості для подальших наукових розробок, таких як:

- визначення схем вимірювальних систем для ефективного застосування БПЛА;
- формування управління БПЛА як автономної функціонуючої системи з обмеженими ресурсами, що враховує специфічні обмеження;
- ефективне використання БПЛА в умовах зміни послідовності польоту.

Запропоновано аналітичну модель оцінювання якості виконання екологічних завдань моніторингу за допомогою БПЛА, яка полягає у пошуку структури оптимальних параметрів бортового обладнання літального апарата з урахуванням специфіки визначення характеру антропогенного впливу на стан критичної інфраструктури.

Список використаної літератури

1. Красовський Г.Я., Трофимчук О.М., Крета Д.Л., Клименко В.І. Пономаренко І.Г., Суходубов О.О. Синтез картографічних моделей забруднення земель техногенним пилом з використанням космічних знімків // Екологія і ресурси. - К.: ІПНБ, 2005. - №12. - С. 37 - 55. 2. Trofymchuk, O., Kalyukh, Y., Hlebchuk, H. [2013] Mathematical and GIS-modeling of landslides in kharkiv region of Ukraine. *LandslideScienceandPractice: Spatial Analysis and Modelling*. – Springer, Berlin, Heidelberg. 347-352.

3. Трофимчук О.М., Адаменко О.М., Триснюк В.М. Геоінформаційні технології захисту довкілля природно-заповідного фонду / Інститут телекомунікацій і глобального

інформаційного простору НАН України; Івано-Франківський нац. тех. ун-т нафти і газу. - Івано-Франківськ : Супрун В.П., 2021. – 343 с.//

4. Машков О.А.; Триснюк В.М.; Мамчур Ю.В.; Жукаускас С.В.; Нігородова С.А.; Курило А.В. Новий підхід до синтезу відновлюючого керування для дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: наук.- техн. журн. - Івано-Франківськ : Симфонія форте. - 2019. № 1. (19) 2019. с. – 69-77.

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

6. Trysnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trysnyuk, T.V., Zorina, O.V., Kurylo, A.V., Golovan, Y.V., Smetanin, K.V., Radlowska, K.O. [2019] Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation. 18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts.

7.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.

8. Zaitsev S. V. Method of estimating reliability of information transmission in wireless networks channels increase in noise and interference / S. V. Zaitsev // International Journal «Information Models and Analyses». – Sofia : ITHEA, 2015. – Vol. 4 (1). – P. 87 – 99.

References

1. Krasovsky G.Ya., Trofymchuk O.M., Kreta D.L., Klymenko V.I. Ponomarenko I.G., Sukhodubov O.O. Synthesis of cartographic models of land pollution by man-made dust using space images // Ecology and resources. - K.: IPNB, 2005. - No. 12. - P. 37 - 55. 2. Trofymchuk, O., Kalyukh, Y., Hlebchuk, H. [2013] Mathematical and GIS-modeling of landslides in kharkiv region of Ukraine. Landslide Science and Practice: Spatial Analysis and Modelling. – Springer, Berlin, Heidelberg. 347-352.

3. Trofymchuk O.M., Adamenko O.M., Trysnyuk V.M. Geoinformation protection technologies the environment of the nature reserve fund / Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine; Ivano-Frankivsk national. technical University of Oil and Gas. - Ivano-Frankivsk: Suprun V.P., 2021. – 343 pp.// ISBN 978-617-7468-53-9

4. Mashkov O.A., Trysnyuk V.M.; Mamchur Y.V., Zhukauskas S.V., Nigorodova S.A., Kurylo A.V. A new approach to the synthesis of restorative control for remotely piloted aerial vehicles for environmental monitoring. Environmental safety and balanced resource use: science and technology. journal - Ivano-Frankivsk: Symphony forte. - 2019. No. 1. (19) 2019. p. - 69-77.

5. Trysnyuk V.M. Environmental safety management system of natural and anthropogenically modified geosystems. Information processing systems. -2016. - No. 12. - P.185-188. Index Copernicus.

6. Trysnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trysnyuk, T.V., Zorina, O.V., Kurylo, A.V., Golovan, Y.V., Smetanin, K.V., Radlowska, K.O. [2019] Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation. 18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts.

7.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.

8. Zaitsev S. V. Method of estimating reliability of information transmission in wireless networks channels increase in noise and interference / S. V. Zaitsev // International Journal «Information Models and Analyses». – Sofia : ITHEA, 2015. – Vol. 4 (1). – P. 87 – 99.