

УДК 502.51:504.5

Taras Trysnyuk, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3672-8242> **e-mail:** taras24t@gmail.com

Dmytro Mosiichuk, postgraduate
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-3864-1019> **e-mail:** deusplus@gmail.com

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

INFORMATION SYSTEMS OF OBSERVATION OF MARINE WATERS AND ADJACENT AREAS USING REMOTELY PILOTED AIRCRAFT

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 UAVs to improve the quality, efficiency, complexity and effectiveness of the processes of data collection, processing, transmission, preservation and analysis of information about the state of the territory and its environmental safety.*

It was established that the peculiarities of the research are the combination of the complexity of the methodology of building a dynamic system for monitoring sea water areas and the state of coastal zones, their forecasting and prevention in order to ensure the safety and conditions of sustainable development of the territories and the country in general. The main information base of the study consists of satellite data and data obtained using UAVs regarding emergency situations and the state of marine water areas. A characteristic feature of the proposed methodology is the newly introduced structural elements for determining the composition of on-board equipment, determining the number of UAVs and determining the optimal route of movement of an unmanned aerial vehicle in accordance with the environmental task.

It has been proven that the methods of mathematical and simulation modeling for building functional and informational models; methods of theory and practice of system analysis to establish structural connections between elements of complex systems. The cartographic method of researching objects of the state of marine water areas and coastal zones will include cartographic modeling of the subject of research and allows for regional analysis of the spatial structure of geoeological phenomena and the determination of their ecological criteria.

On the basis of the application of the load-bearing equipment on board the UAV, proposals have been implemented regarding the quality 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.*

Т.В. Триснюк, Д.І. Мосійчук

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

ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ МОРСЬКИХ АКВАТОРІЙ ТА ПРИЛЕГЛИХ ЗОН З ВИКОРИСТАННЯМ ДИСТАНЦІЙНО ПІЛОТОВАНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

***Анотація.** Роботу присвячено розв'язанню науково-практичного завдання, що полягає в розробці методів, технологій та засобів створення систем комплексного моніторингу морських акваторій та стану прибережних зон з використанням ДПЛА для підвищення якості, оперативності, комплексності та ефективності процесів збирання даних спостережень, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан території та її екологічну безпеку.*

Встановлено, що особливостями дослідження є поєднання комплексності методології побудови динамічної системи моніторингу морських акваторій та стану прибережних зон, їх прогнозування та попередження задля забезпечення безпеки та умов сталого розвитку території і країни загалом. Основну інформаційну базу дослідження складають супутникові дані та дані, отримані з використанням БПЛА, щодо надзвичайних ситуацій та стану морських акваторій. Характерною рисою запропонованої методики є нововведені структурні елементи для визначення складу бортового обладнання, визначення кількості ДПЛА та визначення оптимального маршруту руху безпілотного апарата відповідно до виконання поставленого екологічного завдання.

Доведено, що методи математичного й імітаційного моделювання для побудови функціональних і інформаційних моделей; методи теорії та практики системного аналізу для встановлення структурних зв'язків між елементами складних систем. Картографічний метод дослідження об'єктів стану морських акваторій та прибережних зон включатиме картографічне моделювання предмету дослідження та дозволяє проводити регіональний аналіз просторової структури геоекологічних явищ та визначення їх екологічних критеріїв.

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

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

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.2.130-141>

Вступ

Використання високороздільних космічних знімків та сучасних програмних засобів обробки, а також мобільних екологічних комплексів надає можливість отримувати інформацію щодо стану морських акваторій та прибережних зон. Цей підхід дозволяє створювати базу даних цифрових тематичних карт і статистичних даних різного рівня, сприяючи підвищенню рівня екологічної безпеки морських суден та техногенних об'єктів прибережних зон.

Одним з перспективних методів екологічного моніторингу є дистанційний підхід, що ґрунтується на комплексному використанні космічних, повітряних та рухомих наземних систем спостереження. При цьому важливим елементом розглядають дистанційно пілотовані літальні апарати.

З урахуванням антропогенного впливу на природу та постійних змін в навколишньому середовищі, спричинених промисловими об'єктами та параметрами атмосфери Землі, виникає потреба в надійному виконанні завдань екологічного прогнозування та забезпеченні екологічної безпеки за допомогою екологічного моніторингу. Розширення можливостей екологічного моніторингу стає можливим завдяки використанню рухомих екологічних комплексів, дистанційно пілотованих літальних апаратів і космічних систем спостереження. Це здійснюється шляхом застосування дистанційних методів контролю параметрів стану критичної інфраструктури та вдосконалення науково-методичного апарату оцінки стану зон екологічного ризику.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основною проблемою, яку необхідно дослідити, є обробка програм навігаційного забезпечення ДПЛА, які дозволять їм виконувати польоти у складі групи або вибрати альтернативні маршрути і здійснити взаємодію з пунктом управління. Надходження на ДПЛА спеціалізованих даних дозволить виділяти найбільш важливі відомості про об'єкти морських акваторій та прибережних зон, що дасть змогу істотно скоротити обсяг даних при передачі на інші літальні апарати або наземні пункти управління.

В Україні основними науковцями в області космічних досліджень ґрунтів являються: Лялько В.І. – спектральні характеристики рослинного покриву [1, 2], Попов М.О. – прогнозування врожайності зернових культур за багатоспектральними даними ДЗЗ [3], Трофимчук О.М., Красовський Г.Я., Греков Л.Д. – космічний моніторинг забруднення земель [4, 5], Панас Р.М. – космічний моніторинг деградації ґрунтів [6].

Мета роботи. Метою дослідження є підвищення рівня екологічної безпеки стану морських акваторій та прибережних зон за рахунок удосконалення технологічного процесу та устаткування бортового обладнання дистанційно пілотованого літального апарата.

Об'єктом дослідження є процес застосування дистанційно пілотованих літальних апаратів в системі екологічного моніторингу стану морських акваторій та прибережних зон. З огляду на все вищесказане, можна виділити основні завдання досліджень:

– розробка і вдосконалення системи автоматичного розпізнавання різних об'єктів (з урахуванням рішення найпростіших завдань, в тому числі і автоматичне категорювання різних об'єктів морських акваторій та прибережних зон);

– забезпечення надійного радіозв'язку ДПЛА з пунктом управління (наземним або повітряним);

– надання ДПЛА властивостей, що дозволяє враховувати зміни стану морських акваторій та прибережних зон при виконанні завдань в автономному режимі;

– розробка бортової системи обробки інформації, яка могла б з усього потоку надходження на ДПЛА спеціалізованих даних виділяти найбільш важливі відомості про об'єкти, що дозволить істотно скоротити обсяг даних при передачі на інші літальні апарати або наземні пункти управління.

Крім того, необхідно на підготовчому етапі здійснити:

- метрологічне забезпечення систем керування ДПЛА;
- калібрування бортових систем ДПЛА.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для забезпечення якісного та своєчасного екологічного моніторингу стану морських акваторій та прибережних зон за допомогою дистанційно пілотованих літальних апаратів (ДПЛА) розглядається можливість використання комбінованого підходу. Цей підхід включає наступні етапи:

1. Виділення району спостереження та отримання його характерних особливостей: на цьому етапі визначається область, яку слід спостерігати, та отримуються характеристики цього району.

2. Вибір бортового обладнання ДПЛА: на другому етапі здійснюється вибір обладнання для ДПЛА. Це обладнання повинне дозволити просторово виявити та визначити розміри зон ураження з більш детальним врахуванням висотного профілю атмосферної зони.

3. Передача інформації з ДПЛА: на третьому етапі проводиться передача зібраної інформації з ДПЛА для подальшої обробки та аналізу.

Важливо враховувати, що такий підхід має свої обмеження, пов'язані з можливостями бортового обладнання, яке може не завжди надавати достовірну інформацію для екологічного моніторингу. Структура системи моніторингу навколишнього середовища і екологічно небезпечних техногенних об'єктів повинна виконувати ряд функцій, зокрема збір та обробка інформації, моделювання фізико-хімічних процесів, оцінка стану геоекосистем, прогнозування та зворотний зв'язок для оптимізації інформаційних потоків.

Синтез системи мобільного екологічного моніторингу стану морських акваторій та прибережних зон з використанням аерокосмічних технологій передбачає створення таких її підсистем:

1. Підсистема збору та експрес-аналізу даних стану морських акваторій та прибережних зон.

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

3. Підсистема комп'ютерного картографування.

4. Підсистема оцінки стану атмосфери.

5. Підсистема оцінки стану прибережних зон.

6. Підсистема оцінки рівня екологічної безпеки і ризику для здоров'я населення території.

7. Підсистема ідентифікації причин порушення екологічного та санітарного стану.

8. Підсистема інтелектуальної підтримки прийняття рішень.

Характерною рисою запропонованої методики є нововведені структурні елементи для визначення складу бортового обладнання, визначення кількості ДПЛА та визначення оптимального маршруту руху безпілотного апарата відповідно до виконання поставленого екологічного завдання (рис. 1).

На сьогодні до типового комплексу системи управління польотом ДПЛА включають такі підходи:

- комплекс управління польотом, що дозволяє реалізувати як безпосереднє управління ДПЛА, так і автономний рух за маршрутом;
- забезпечення заданої точності прив'язки, а також можливість визначення координат (заражених об'єктів, епіцентрів, периметрів районів тощо) відповідно до заданої погрішності спостереження;
- можливість реалізації проходження по заданому маршруту руху ДПЛА відповідно до польотного завдання;
- змінність бортової апаратури для ефективного застосування і експлуатації ДПЛА по можливості вирішення екологічних завдань та виявлення антропогенного впливу на довкілля;



Рис. 1. Підготовчі роботи для моніторингу морських акваторій та визначення оптимального маршруту руху безпілотного апарата відповідно до виконання поставленого завдання (2024 р.)

- керованість системи управління ДПЛА по дальності дії;
- згладжування перехідних процесів в системі управління, що не повинно призводити до помітних погіршень, а час перехідного процесу має бути мінімальним;
- відповідність заданим перешкодам захищеному управлінню ДПЛА, для забезпечення можливості застосування безпілотних авіаційних комплексів в умовах складної електромагнітної обстановки (рис. 2).



Рис. 2. Обстеження морських акваторій за допомогою дрона (2024 р.)

При використанні ДПЛА в ході проведення екологічного моніторингу стану морських акваторій для ефективної їх експлуатації виникає питання про вибір раціонального варіанта рішення, а також найбільшого ефекту в заданому діапазоні умов використання.

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 варіанта бортового устаткування) в j -х умовах (1, 2). Складемо матрицю стратегій (табл. 1).

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}

Особливістю матриці стратегій є побудова різних варіантів рішень залежно від побудови різних систем та пристроїв бортового обладнання ДПЛА. В цьому випадку W_{ϵ} – 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.

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

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

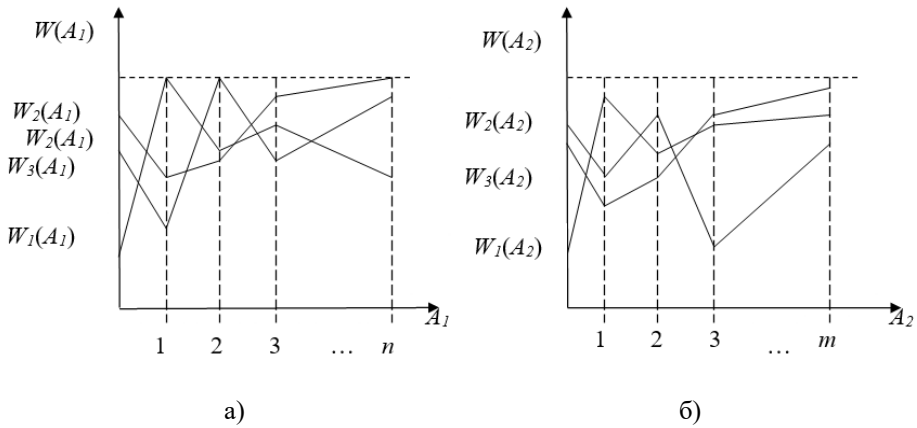


Рис. 3. Графік залежності бортового обладнання ДПЛА для проведення екологічного моніторингу: а – для бортових систем управління ДПЛА, б – для систем спостереження ДПЛА

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.

Отже, краще вибрати таке компромісне рішення, яке може бути, навіть не будучи оптимальним, в окремих діапазонах умов застосування, і задовольнило б нас на всьому діапазоні умов. Найкраще рішення ґрунтується на аналізі всієї матриці ефективності з врахуванням прогнозу зміни умов застосування бортових систем ДПЛА.

Сформулюємо основні характерні завдання бортових систем ДПЛА і визначимо показники ефективності їх виконання. 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.

Показником ефективності (виконання завдання) може бути приріст ймовірності недопущення економічних втрат або математичного очікування збережених ресурсів, що визначається в результаті обробки відповідної інформації. Ймовірність недопущення втрат і математичне очікування збережених ресурсів з врахуванням відповідного інформаційного забезпечення можна записати в такому вигляді:

$$W_{нбс} = W_n W(бс), \tag{2}$$

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

де W_f , 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 отримання і обробки відповідної інформації.

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

Таким чином, ефективний варіант 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;

$W_3(A_3)$ – 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 щодо отримання і обробки відповідної інформації.

Час проведення екологічного моніторингу ДПЛА і передачі даних можна визначити за виразом (6)

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

де T_c – час зйомки бортовими системами ДПЛА;

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

T_{np} – 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 (7)

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

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

m_T – математичні очікування зйомки;

D_T – дисперсії випадкових величин зйомки;

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

Істотною особливістю процесів функціонування бортових систем ДПЛА є їх випадковість, яка викликана неповною визначеністю умов, в яких ці процеси протікають, а також різними випадковими відхиленнями і помилками, що виникають при зборі інформації, виробленні дій, що управляють, та їх виконанні. 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 ($\tau = \frac{T}{N} \rightarrow \min$ при $T = T(N_1, N_2, \dots, N_n) \rightarrow \min$);

P – ймовірність виконання поставленого завдання ДПЛА в ході проведення

ЕМ ($P = \prod_{i=1}^n P(N_i) \rightarrow \max$);

N – кількість ДПЛА, необхідних для виконання поставленого завдання ЕМ

($N = \sum_{i=1}^n N_i \rightarrow \min$);

C – вартість, яка необхідна для застосування ДПЛА при виконанні

поставленого завдання ЕМ ($C = \sum_{i=1}^n C(N_i) \rightarrow \min$).

Доступність урбаністичних ландшафтів для дистанційних спостережень різна і залежить насамперед від виду, якості, часу, масштабу зйомки, тобто від усіх параметрів. Більшість характеристик ландшафту – рельєф, рослинність, ґрунти, поверхневі води, явища антропогенної діяльності й техногенні об'єкти – добре відображаються на аеро- та космічних знімках у різних спектральних діапазонах або на синтезованих зображеннях. Усі вони утворюють зовнішній вигляд ландшафту, його фізіономічні ознаки (рис. 4).



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

На основі отриманих результатів розроблено науково-практичні рекомендації, у яких запропоновано послідовно виконувати дії для виділення техногенного забруднення та визначення стану критичної інфраструктури за допомогою ДПЛА, що дозволяє оперативно приймати управлінські рішення для зменшення негативних впливів та забезпечення екологічної безпеки регіону.

Висновки

Під час проведення дослідження були відпрацьовані науково-методичні підходи, на основі яких удосконалено процедуру проведення екологічного моніторингу з використанням ДПЛА, яка є основою оперативного виявлення забруднювачів в ході проведення спостереження за заданою територією. У роботі при вирішенні поставлених наукових завдань комплексно використовувалися: метод спостереження (польові дослідження), системний підхід та методи структурного та параметричного аналізу, теорія і методи оптимізації, теорія управління та методи статистичної обробки результатів. В якості проведення експерименту разом з аналітичними розрахунками використовувалось імітаційне моделювання, на основі використання спеціального програмного комплексу MatLab 8.1. були сформульовані і розглядалися завдання оптимального польоту ДПЛА за економічними показниками. Також вибір маршруту польоту ДПЛА, формування критерію оптимального польоту ДПЛА, а також автоматичне управління польотом в роботі розкрито. Це спонукає також до низки майбутніх досліджень, таких як:

- визначення схем вимірювальних систем, що дозволяють реалізувати ефективно застосування ДПЛА;
- формування управління ДПЛА як автономної функціонуючої системи з обмеженими ресурсами, яка враховує жорсткі специфічні обмеження;
- ефективно вживання ДПЛА в умовах зміни послідовності польоту.

Встановлено, що можливості використання ДПЛА та ефективність їх застосування можуть оцінюватися наступними узагальненими і частковими показниками (виявлення антропогенної зони, вірогідність виконання поставленого завдання, часовий ресурс виконання поставленого завдання спостереження, оцінювання виконання поставленого завдання спостереження, а також оцінювання функціонування авіаційних систем):

- вірогідність виконання типових завдань моніторингу стану критичної інфраструктури (виявлення);
- вірогідність стійкого управління ДПЛА в розрахункових умовах протягом всього польоту;
- точність навігації;
- точність визначення координат зараженого об'єкта (території);
- дальність дій;
- діапазон висот і швидкостей його застосування;
- час виконання завдання екологічного моніторингу.

Запропоновано аналітичну модель оцінювання якості виконання екологічних завдань моніторингу засобами ДПЛА, особливістю якої є пошук структури за оптимальними параметрами бортового обладнання літального апарата з урахуванням особливостей визначення характеру антропогенного впливу на стан критичної інфраструктури.

СПИСОК 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.: ПНБ, 2005. – №12. – С. 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. 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. // ISBN 978-617-7468-53-9.
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. <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/162108/03-Mashkov.pdf?sequence=1>
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. P. 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.

Стаття надійшла до редакції 21.02.2024 і прийнята до друку після рецензування 14.05.2024

REFERENCES

1. Krasovsky, G.Ya., Trofymchuk, O.M., Kreta, D.L., Klymenko, V.I., Ponomarenko, I.G., & Sukhodubov, O.O. (2005). Synthesis of cartographic models of land pollution by man-made dust using space images. *Ecology and resources*, 12, 37-55 [in Ukrainian].
2. Trofymchuk, O., Kalyukh, Y., Hlebchuk, H. (2013). Mathematical and GIS-modeling of landslides in Kharkiv region of Ukraine. In *Landslide Science and Practice: Spatial Analysis and Modelling* (pp. 347-352). Springer, Berlin, Heidelberg.
3. Trofymchuk, O.M., Adamenko, O.M., & Trysnyuk, V.M. (2021). Geoinformation technologies for environmental protection 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. ISBN 978-617-7468-53-9 [in Ukrainian].
4. Mashkov, O.A., Trysnyuk, V.M., Mamchur, Y.V., Zhukauskas, S.V., Nigorodova, S.A., & Kurylo, A.V. (2019). 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*, 1(19), 69-77 [in Ukrainian].
5. Trysnyuk, V.M. (2016). Environmental safety management system of natural and anthropogenically modified geosystems. *Information processing systems*, 12, 185-188 [in Ukrainian].
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. In *18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, Extended Abstracts.
7. Trysnyuk, V., Trysnyuk, T., Okhariev, V., Shumeiko, V., & Nikitin, A. (2018). Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding. *Centrul Universitar Nord Din Bala Mare*, 1, 61–67.
8. Zaitsev, S.V. (2015). Method of estimating reliability of information transmission in wireless networks channels increase in noise and interference. *International Journal «Information Models and Analyses»*, 4 (1), 87–99.

The article was received 21.02.2024 and was accepted after revision 14.05.2024

Триснюк Тарас Васильович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу прикладної інформатики Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України

Адреса робоча: Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3672-8242> **e-mail:** taras24t@gmail.com

Мосійчук Дмитро Іванович

аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України

Адреса робоча: Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-3864-1019> **e-mail:** deusplus@gmail.com