

---

# ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

---

УДК 629.7.01: 354: 321.01: 574.08

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.5>

## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ЩОДО СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ЕКОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ

Бондар О.І.<sup>1</sup>, Машков О.А.<sup>1</sup>, Міхеєв В.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ  
mashkov\_oleg\_52@ukr.net;

<sup>2</sup>Державне космічне агентство України  
вул. Московська, 8, 01010, м. Київ  
yd@nkau.gov.ua

Обґрунтовано значущість системного підходу щодо наукової підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави. Зазначається, що він передбачає створення та застосування нових науково-практичних інструментів, зокрема й таких методологій: оцінювання екологічних загроз і ризиків регіону з використанням системи підтримки екологічних рішень та експертних оцінок; удосконалення систем управління екологічною безпекою шляхом створення системи підтримки екологічних рішень із застосуванням безпілотних літальних апаратів та аерокосмічних технологій; провадження безпілотних апаратів екологічного спостереження та застосування космічних засобів.

Формалізовано важливе науково-практичне завдання – створення системи контролю екологічного середовища за допомогою космічних, повітряних і наземних комплексів. Розв'язання поставленої наукової задачі дозволить підвищити вірогідність та інформаційні можливості систем екологічного моніторингу для визначення зон екологічних загроз і ризиків шляхом оцінки екологічного стану регіону із застосуванням геоінформаційних та аерокосмічних технологій. На основі узагальнення питань підвищення ефективності функціонування екологічного моніторингу шляхом застосування екологічних комплексів космічного, повітряного, наземного базування запропоновано нові розв'язання наукової задачі, які базуються на системному підході щодо формування системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави. Отримані результати контролю екологічного середовища з використанням аерокосмічних технологій уже впроваджені й мають практичний характер. Це дозволяє не лише поповнити знання теоретичного характеру, але й реалізувати їх на практиці. Удосконаленість методики синтезу системи екологічного моніторингу, а також правдивість отриманих результатів дослідження забезпечені коректною постановкою наукового завдання, використанням апробованих методів аналізу й синтезу складних систем, теорії екологічного моніторингу, обґрунтованим вибором обмежень і допущень, а також збігом висновків дослідження з результатами під час апробації отриманих результатів та обговорення їх на науково-практичних конференціях. Результати проведених досліджень можуть бути використані в державній системі екологічного моніторингу, а також для визначення зон екологічних ризиків і рівнів екологічної безпеки екосистем. *Ключові слова:* аерокосмічні технології, екологічна безпека, екологічна оцінка, екологічний моніторинг, екологічні загрози, екологічні ризики, система контролю екологічного середовища, система підтримки екологічних рішень, системний підхід.

**Systemic approach to creating a system of supporting environmental solutions to ensure the environmental safety of the state.**  
**Bondar O., Mashkov O., Mikheev V.**

The paper proposes a systematic approach to creating a system of support for environmental solutions to ensure the environmental safety of the state. It is determined that the system approach involves the creation and application of new scientific and practical approaches: methodology for assessing environmental threats and risks in the region using a system of support for environmental decisions and expert assessments; methodology for improving environmental safety management systems by creating a system to support environmental solutions using unmanned aerial vehicles and aerospace technologies; methodology for conducting unmanned aerial vehicles and the use of spacecraft. The paper formalizes an important scientific and practical task – the creation of a system of environmental control based on the integration of space, air and ground systems. The solution of this scientific problem allows to increase the reliability and information capabilities of environmental monitoring systems to identify areas of environmental threats and risks based on the assessment of the ecological status of the region using geographic information and aerospace technologies. Based on the generalization of issues of improving the efficiency of environmental monitoring through the use of ecological complexes of space, air, ground, a new solution to the scientific problem is proposed, which is to apply a systematic approach to creating a system of environmental solutions to ensure environmental security. The results obtained on the creation of a system of environmental control using aerospace technologies are implemented and have a practical nature. This makes it possible not only to supplement the knowledge of a theoretical nature, but also to implement them in practice. The adequacy of the improved method of synthesis of environmental monitoring system and the reliability of the results of the study is ensured by the correct formulation of the scientific task, the use

of proven methods of analysis and synthesis of complex systems, the theory of environmental monitoring, the reasonable choice of at scientific and practical conferences. The results of the research can be used in the state system of ecological monitoring, as well as the study of ecological risk zones in the assessment of ecological safety of ecosystems. *Key words:* aerospace technologies, ecological safety, ecological assessment, ecological monitoring, ecological threats, ecological risks, system of control of ecological situation, system of support of ecological decisions, system approach.

**Постановка проблеми.** Натепер екологічні проблеми – новий виклик безпеці людської цивілізації. Нині очевидно, що одним із найактуальніших завдань сучасності є насамперед пошук шляхів і засобів нейтралізації та подолання негативних тенденцій, що мають реальну загрозу для безпечного існування суспільства, національної безпеки держави, – війни на сході України, масштабних лісових пожеж, глобальної пандемії COVID-19, «екологічного тероризму» (біологічного, хімічного, радіаційного, техногенного, природного, сільськогосподарського й інших) [1–5].

Ефективні прогнозування глобальних екологічних проблем та їх розв'язання можуть здійснюватися завдяки розробці й дослідженням комп'ютерних сценаріїв світового розвитку. Адже будь-які дії, спрямовані на руйнування навколишнього природного середовища, можуть спричинити катастрофічні екологічні наслідки [4; 6; 7].

Зважаючи на те, що екологічна безпека в Україні – важлива складова частина національної безпеки держави, натепер є необхідністю вжиття комплексу цілеспрямованих заходів науково-освітніми закладами й іншими установами з метою надання відповідних екологічних знань і навичок широким верствам населення, держслужбовцям, у тому числі й для представників силових структур України.

За оцінками зарубіжних спеціалістів, у найближчі 50 років населення земної кулі досягне 10 млрд, а обсяг виробництва світової економіки може зрости (за висновками окремих економістів) у п'ять разів. Як наслідок, швидко виснажаться необхідні для життєдіяльності людини природні ресурси; зменшиться загальна площа родючих земель; зникне значна частина лісів; продовжиться надмірна експлуатація та забруднення водних ресурсів; триватимуть глобальні зміни клімату й зменшення озонового шару земної кулі [16; 17].

Екологічна криза загрожуватиме національній безпеці багатьох держав світу. Тому саме з такого боку варто розглядати задачі державної системи управління в напрямку розв'язання проблем екологічної безпеки країни [1–5].

Однією з форм сучасних небезпек для світової спільноти є «екологічний тероризм». Розвиток сучасного багатополісного світу здійснюється не просто й суперечливо. Це пояснюється, зокрема, існуванням низки політичних, економічних, ідеологічних конфронтацій, що істотно впливають на міжнародну безпеку. Надмірний антропогенний вплив і високий рівень техногенного навантаження на територію України зумовлений наявністю гірничодобувних,

хімічних, енергетичних та інших потенційно-небезпечних промислових комплексів, зосереджених на виробничо-міських територіях. Це підвищує ризики виникнення техногенних катастроф під час руйнування таких об'єктів, у тому числі й внаслідок воєнних дій. Серед інфраструктурних об'єктів, що значно впливають на стан навколишнього природного середовища, – просторово розподілені залізничні колії, нафто й газопроводи, мости, магістральні електромережі, безпечна експлуатація яких має першочергове значення для соціально-економічного розвитку держави.

Доступність для терористів різноманітних видів зброї та вибухових систем становить потенційну загрозу заподіяння шкоди навколишньому природному середовищу. Використання великомасштабних, вдосконалених вибухових пристроїв проти найрізноманітніших об'єктів – місць поховання небезпечних відходів, атомних станцій, електричних засобів керування насосними станціями на нафто-, газо-, водопроводах – можуть перевищити наслідки, спричинені безпосереднім застосуванням вдосконалених вибухових пристроїв.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням забезпечення екологічної безпеки держави з позицій системного підходу присвячені публікації таких науковців, як В.М. Боголюбов, М.О. Клименко, О.І. Бондар, О.А. Машков, С.Т. Абідов, В.В. Крутов, В.М. Ісаєнко, Г.В. Лисиченко, Ю.В. Мамчур [8; 9; 13; 16; 18]. Питання екологічного моніторингу й екологічної безпеки регіонів і техногенно небезпечних об'єктів розглянуто в роботах таких дослідників, як В.С. Міхеєв, В.Е. Васильєв, В.Ф. Фролов, Н.Р. Нижник [6; 10; 13; 14; 19]. Інформаційні особливості систем підтримки прийняття управлінських рішень визначені в публікаціях таких вчених, як С.П. Іванюта, І.Г. Качалін, Р.Н. Синицький [11; 15; 17]. Особливості використання аерокосмічних технологій у системах екологічного спостереження розглянуто в роботах таких авторів, як М.Ф. Пічугін, І.М. Сашук, В.А. Кирилюк, М.О. Попов, І.С. Романченко [20; 21; 22].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Проте натепер немає єдиного розуміння щодо технологій отримання інформаційних екологічних рішень у системі підтримки їх прийняття, що перешкоджає адекватнішому визначенню (з системних позицій) управлінських рішень і породжує різні варіанти її трактування як теоретиками, так і практиками. Зазвичай під час розгляду питань створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави як

системного забезпечення екологічної безпеки держави фахівці роблять наголос переважно на окремих технічних аспектах створення апаратної частини автоматизованих систем підтримки прийняття рішень. Однак питання створення наукових основ розробки системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави потребують удосконалення. Тому актуальним варто вважати питання створення системи підтримки інформаційних екологічних рішень з позиції системного підходу. Отже, «інформаційні екологічні рішення» потребують детального опрацювання саме з позицій системного підходу.

**Мета статті** – формалізація наукових основ створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави.

**Результати дослідження.** Впровадження системного підходу щодо створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави пропонується здійснювати шляхом послідовного розв'язання таких наукових завдань: обґрунтувати системні заходи боротьби й запобігання «екологічному тероризму» й техногенних катастроф; розробити наукові основи створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави; синтезувати систему контролю та аналізу екологічної обстановки з використанням аерокосмічних технологій.

### **1. Системні заходи боротьби й запобігання «екологічному тероризму» й техногенних катастроф**

Проведений аналіз свідчить, що засоби, форми й способи здійснення терору еволюціонували разом із розвитком засобів фізичного знищення. Йдеться не тільки про збільшення кількісних показників (від погроз і розправ з окремими особистостями до знищення тисяч осіб). З'являються дедалі нові засоби реалізації політики залякування та придушення супротивника із застосуванням фізичних, хімічних, радіаційних, біологічних засобів впливу, розробляються пучкова, лазерна й інші види зброї.

Дії терористів можливі в різноманітних середовищах (море, суходіл, повітря, космос). Водночас необхідно зважати й на те, що географія терористичної діяльності може бути досить масштабною та стати загрозою екологічній безпеці не лише будь-якої окремої держави, а також і всесвіту.

Екологічний тероризм – новий вид високотехнологічного тероризму, спрямований на навколишнє природне середовище й техногенно небезпечні об'єкти (критичної інфраструктури), посягання на життя та здоров'я громадян та об'єкти державного й міжнародного господарства. Мета екологічного тероризму – дестабілізація обстановки в країні, регіоні, світі; знищення людей, забруднення довкілля [12; 17].

Натепер немає чіткого визначення «екологічного тероризму». Також відсутнє в науковій літературі розмежування понять «екологічний тероризм»

і «екологічний активізм (радикалізм)» («ecological terrorism» і «environmental terrorism»). Отже, «екологічний тероризм» – це злочин, спрямований на забруднення або знищення довкілля, а екологічний активізм (радикалізм) – діяльність активістів екологічних організацій і рухів, спрямована на захист довкілля. «Екологічний тероризм» – незаконне або умисне заподіяння значної шкоди навколишньому природному середовищу з метою залякування населення або примусу уряду або міжнародної організації до здійснення будь-яких дій або утримання від їх вчинення; скоєння терористичних дій за допомогою впливу на довкілля.

Слід враховувати, що «екологічний тероризм» має дві основні форми: він є одночасно посяганням на життя та здоров'я громадян, а також на об'єкти державного й міжнародного господарства.

Сучасний рівень науково-технічного прогресу зумовлює акцентувати увагу на таких формах (системних чинниках) екологічного тероризму: «біологічний тероризм», «хімічний тероризм», «радіаційний тероризм», «техногенний тероризм», «природний тероризм», «сільськогосподарський тероризм».

«Біологічний тероризм» проявляється в залякуванні незаконним використанням бактеріологічної зброї або її компонентів, патогенних мікроорганізмів. Використання біологічних засобів ведення війни (бактерій, вірусів, грибків, токсинів або речовин, вироблених цими організмами) проти населення з метою загрози життю або знищення максимальної кількості людей. Десятки різних біологічних агентів можна використовувати для виробництва біологічної зброї.

«Хімічний тероризм» – залякуванні незаконним використанням хімічної зброї або її компонентів, високотоксичних хімічних речовин для створення загрози життю населення. «Хімічний тероризм» – нова загроза безпеці людства, масштаби якої можуть значно перевищити наслідки від застосування найсучаснішої вогнепальної зброї.

«Радіаційний тероризм» – залякуванням незаконним використанням ядерної зброї або її компонентів, ядерних, радіоактивних речовин. До одного із чинників, що викликають найбільше занепокоєння, належить таке негативне явище, як незаконний обіг ядерно-радіаційних-матеріалів і джерел іонізуючого випромінювання.

«Технологічний тероризм» – це різновид тероризму, спрямований на залякування руйнування або погіршення умов функціонування та працездатності техногенно-небезпечних об'єктів, об'єктів критичної інфраструктури. Під «техногенним тероризмом» розуміють дві групи злочинів терористичного характеру: по-перше, це дії, скоєні із застосуванням нових технічних засобів; по-друге, це дії, спрямовані проти особливо небезпечних об'єктів та об'єктів життєзабезпечення, руйнування яких призводить до тяжких

наслідків, які супроводжуються масовою загибеллю населення та забрудненням територій. У широкому розумінні «техногенний тероризм» можна визначити як сукупність інноваційних способів здійснення терористичних дій шляхом виведення з ладу, руйнування або захоплення ядерних, хімічних чи інших об'єктів, систем життєзабезпечення міст і промислових центрів гідротехнічних споруд.

«Природний тероризм» спрямований на досягнення політичних, економічних та інших цілей шляхом залякування руйнування об'єктів природно-заповідного фонду, забруднення водного середовища, ґрунтів та атмосферного повітря, знищення ландшафтів і біорізноманіття.

«Сільськогосподарський тероризм» може також розглядатися як форма екологічного тероризму. Забезпечення держави продовольством – це життєзабезпечення нації. Безперервне виробництво харчових продуктів — це забезпечення стабільності для сучасних суспільств. З огляду на те, що більшість країн світу імпортують харчові продукти, будь-яке зменшення сільськогосподарського виробництва й тваринництва може призвести до погіршення харчування, недоїдання та голоду. Ці фактори своєю чергою можуть створити передумови для суспільного невдоволення та заворушень. Отже, «сільськогосподарський тероризм» спрямований на порушення стабільності забезпечення виробництва продуктів харчування, зниження сільськогосподарського виробництва й тваринництва з метою погіршення харчування людей, недоїдання та голоду.

Пропонуються такі системні заходи щодо попередження екологічних ризиків і боротьби з «екологічним тероризмом»: удосконалення законодавчої бази; інформаційне забезпечення; співпраця з міжнародними організаціями; розробка й застосування системних технологій у боротьбі з екологічним тероризмом; державне управління ризиками екологічних загроз, «екологічного тероризму»; профілактика (системне прогнозування) «екологічного тероризму»; взаємодія органів влади й громадськості.

Системні технології боротьби з екологічним тероризмом передбачають:

- попередження; блокування «екологічного тероризму» на початковій стадії та недопущення його становлення та розвитку структур;

- недопущення ідеологічного виправдання екологічного тероризму під гаслами: «захист природи», «захист нації» та тому подібне; розкриття сутності тероризму всіма можливими інструментами, і особливо засобами масової інформації;

- залучення до антитерористичної діяльності досвідчених спеціалістів спецслужб.

Державне управління ризиками екологічних загроз, «екологічного тероризму» ґрунтується на застосуванні системного підходу.

Перехід на систему аналізу й управління ризиками «екологічного тероризму», на наш погляд, має

стати пріоритетним завданням у діяльності громадських організацій, основою забезпечення гарантованого рівня безпеки громадянина, суспільства, держави. Основними напрямками діяльності громадських організацій у протидії «екологічному тероризму» є:

- участь у формуванні нормативно-правової бази з техногенної, природної та екологічної безпеки на основі єдиних принципів управління ризиками й гармонізація її з вимогами Європейського Союзу;

- участь у запровадженні нормування техногенних, природних та екологічних ризиків, розробка рекомендацій щодо застосування відповідних норм у механізмах державного регулювання техногенної та природної безпеки;

- розширення сфери досліджень і розробок методів, моделей, методик аналізу й оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного й природного характеру, прогнозування їхнього розвитку;

- розвиток загальної технології управління техногенною, природною та екологічною безпекою на основі ризикоорієнтованого підходу;

- формування рекомендацій щодо вдосконалення системи моніторингу небезпечних техногенних об'єктів і природних процесів у напрямку забезпечення інформаційної бази для оцінювання ризиків екологічного тероризму й надзвичайних ситуацій;

- розвиток наукових засад розроблення державних програм соціально-економічного розвитку з урахуванням показників ризику екологічного тероризму, екологічних аварій і катастроф;

- участь у впровадженні нових дієвих форм аналізу, оцінки, експертизи й контролю безпеки небезпечних техногенних об'єктів на всіх етапах життєвого циклу;

- співробітництво з міжнародними громадськими організаціями з питань регулювання техногенної та природної безпеки;

- формування рекомендацій щодо вдосконалення системи освіти, забезпечення підготовки фахівців у галузі управління ризиками надзвичайних ситуацій техногенного й природного характеру.

Профілактика (системне прогнозування) «екологічного тероризму» – єдиний засіб попередження злочинності. Тож і пріоритетність у боротьбі з «екологічним тероризмом» належить саме профілактичній діяльності. Необхідно консолідувати різні громадські течії для підтримки глобальної стратегії з протидії «екологічному тероризму» й екстремізму, створити багатофункціональну систему антитерористичних дій. Така система повинна передбачати оптимальне використання інтелектуального потенціалу нації, людського фактору країни і його мобілізацію для розв'язання проблем боротьби з екологічним тероризмом.

Взаємодія органів влади й громадськості передбачає, що цивілізоване співвідношення державної

та недержавної систем має бути основою для розвитку й функціонування всієї системи національної безпеки, тобто забезпечувати можливості повнішої реалізації національних інтересів країни. Саме така збалансована архітектура дає змогу для гармонійного розвитку, інтеграції та широкомасштабної реалізації інтересів особистості, суспільства й держави.

Отже, боротьба з «екологічним тероризмом» – це діяльність щодо запобігання, виявлення, припинення, мінімізації наслідків терористичної діяльності.

## **2. Наукові основи створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави**

Наукові основи створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави ґрунтуються на застосуванні таких методологічно-теоретичних складових частин:

- оцінювання екологічних загроз і ризиків регіону з використанням системи підтримки екологічних рішень та експертних оцінок;
- удосконалення систем управління екологічною безпекою шляхом створення системи підтримки екологічних рішень із застосуванням безпілотних літальних апаратів та аерокосмічних технологій;
- провадження безпілотних апаратів екологічного спостереження та застосування космічних засобів.

### **2.1. Методологія оцінювання екологічних загроз і ризиків регіону з використанням системи підтримки екологічних рішень та експертних оцінок**

Методологія оцінювання екологічних загроз і ризиків регіону з використанням системи підтримки екологічних рішень та експертних оцінок має такі наукові складові частини:

- обґрунтування необхідності оцінювання екологічного ризику регіону з використанням аерокосмічних технологій та експертних оцінок (аналіз концепцій побудови систем екологічного моніторингу; аналіз використання космічних комплексів у системі екологічного моніторингу; аналітичний огляд основних етапів обробки космічних знімків і принципи побудови рубрикатора завдань екологічного моніторингу);
- системний аналіз сучасних інформаційних технологій оцінки стану довкілля з використанням аерокосмічних комплексів (аналіз особливостей побудови систем екологічного моніторингу довкілля з використанням аерокосмічних технологій; оцінка наявних інформаційних технологій обробки даних космічних зйомок під час здійснення екологічного моніторингу; специфіка завдань екологічного моніторингу, що розв'язуються з використанням аерокосмічних технологій; обґрунтування експертної екологічної системи для діагностики й оцінки стану довкілля; ідентифікація загроз техногенній і природній безпеці регіонів; визначення комплексного

показника потенційної небезпеки регіонів щодо техногенних і природних надзвичайних ситуацій);

- розробка методики екологічного оцінювання довкілля для прогнозування екологічних загроз і ризиків із використанням системного підходу (технологія здійснювання екологічного оцінювання процесів на основі системного підходу; технологія оцінювання екологічних ризиків системи; методика здійснення екологічного оцінювання вегетаційної ділянки; методика вибору розташування місця будівництва екологічно небезпечного об'єкту на основі системного підходу; методика системного прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних речовин під час аварій на промислових об'єктах і транспорті; методика оцінювання ризику ураження населення небезпечними речовинами через аварії на об'єктах підвищеної небезпеки);

- розробка методики управління екологічною безпекою за допомогою системи екологічного моніторингу (розробка структури системи управління безпекою та ризиками; обґрунтування принципів управління та нормування екологічних ризиків; формування механізмів регулювання екологічної безпеки техногенних об'єктів і навколишнього природного середовища; оптимізація управлінських рішень щодо запобігання екологічним аваріям і надзвичайним екологічним ситуаціям; розв'язання задач оптимальних витрат на управління екологічним ризиком надзвичайних ситуацій; планування заходів забезпечення екологічної безпеки в системі екологічного моніторингу);

- оцінка ефективності застосування систем екологічного управління природними й техногенно небезпечними об'єктами (оцінка ефективності застосування наявної системи екологічного моніторингу з використанням методів дистанційного зондування Землі для контролю екологічного й технічного стану водних технооекосистем; оцінка ефективності застосування регіональної системи комплексного моніторингу довкілля регіонів; оцінка ефективності основних проектних рішень по системам комплексного моніторингу довкілля локального (міського) рівня; аналіз досвіду створення об'єктових систем комплексного моніторингу довкілля регіонів; оцінка ефективності застосування геоінформаційної системи державного моніторингу довкілля регіонів; аналіз ефективності застосування регіональних підсистем збереження, оброблення та контролю даних водообліку на основі мережевих технологій).

### **2.2. Методологія удосконалення систем управління екологічною безпекою шляхом створення системи підтримки екологічних рішень із застосуванням безпілотних літальних апаратів та аерокосмічних технологій**

Методологія удосконалення систем управління екологічною безпекою шляхом створення системи підтримки екологічних рішень із застосуванням без-

пілотних літальних апаратів та аерокосмічних технологій має такі наукові складові частини:

– аналіз сучасного стану управління екологічною безпекою під час поведження з небезпечними речовинами (аналіз сучасних систем спостереження за станом територій із небезпечними речовинами; визначення можливостей застосування системного підходу до синтезу управлінських рішень із метою модернізації системи природокористування України; аналіз підходів до комплексної екологічної оцінки територій з урахуванням постійного й аварійного екологічних ризиків; аналітична оцінка можливості безпілотних літальних апаратів під час екологічного моніторингу за станом поведження з небезпечними речовинами);

– розробка моделей використання аерокосмічних технологій для екологічного моніторингу за станом поведження з небезпечними речовинами (синтез моделей використання аерокосмічних технологій для моніторингу за станом поведження з небезпечними речовинами; розробка моделі з обліку ергатичних процесів під час управління польотом групи дистанційно пілотованих літальних апаратів в Державній системі екологічного моніторингу; синтез методики розрахунку радіозв'язку з безпілотними літальними апаратами під час екологічного моніторингу);

– удосконалення науково-методичного апарату для синтезу системи управління екологічною безпекою під час поведження з небезпечними речовинами з використанням моніторингової інформації дистанційно пілотованих літальних апаратів (формалізація задачі статистичного оцінювання надзвичайних екологічних ситуацій техногенного характеру під час поведження з небезпечними речовинами; розробки методики оцінки екологічного ризику під час поведження з небезпечними речовинами; розробка методики експертного оцінювання характеристик аварійного ризику під час поведження з небезпечними речовинами з використанням моніторингової інформації; синтез управлінського інформаційного рішення в системі управління екологічною безпекою);

– прогнозування надзвичайних ситуацій щодо зменшення екологічних загроз та оцінювання ризиків з застосуванням безпілотних літальних апаратів (розробка методики прогнозування надзвичайних ситуацій, викликаних техногенними аваріями й катастрофами з використанням безпілотних літальних апаратів; оцінка ефективності виявлення екологічної небезпеки й зменшення екологічних загроз; побудова інформаційно-аналітичної системи оцінювання ризиків життєдіяльності й екологічної та природно-техногенної безпеки).

### **2.3. Методологія провадження безпілотних апаратів екологічного спостереження та застосування космічних засобів**

Методологія провадження безпілотних апаратів екологічного спостереження та застосування космічних засобів має такі наукові складові частини:

– аналіз наявних тренажерних комплексів для підвищення ефективності підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів (аналіз структури тренажерного комплексу та його алгоритмічного забезпечення під час управління польотом дистанційно пілотованого літального апарата (далі – ДПЛА) екологічного спостереження; врахування особливостей вимог до тренажерного комплексу управління польотом ДПЛА екологічного спостереження; обґрунтування критеріїв ефективності навчання на тренажері ДПЛА екологічного спостереження; визначення шляхів і напрямків підвищення якості підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження);

– розробка науково-методичного апарату синтезу тренажерного контуру навчання для керування безпілотного апарату на основі розв'язання зворотних задач динаміки (врахування особливостей ДПЛА під час синтезу тренажерного комплексу екологічного спостереження; синтез математичних моделей дистанційно пілотованих літальних апаратів та особливості визначення їх параметрів; синтез системи стабілізації руху ДПЛА на програмних траєкторіях; оцінка якості процесу керування з алгоритмом на основі розв'язання зворотних задач динаміки; синтез програмного комплексу тренажера ДПЛА із заданими динамічними властивостями; оцінка ефективності алгоритму стабілізації ДПЛА на програмній траєкторії з алгоритмом на основі розв'язання зворотних задач динаміки);

– розробка методики проведення екологічного спостереження об'єктів критичної інфраструктури на тренажері ДПЛА екологічного спостереження (розробка технології інтелектуального розвантаження оператора тренажера ДПЛА під час проведення екологічного спостереження об'єктів критичної інфраструктури; формалізація задачі побудови оператором оптимальних маршрутів руху ДПЛА для проведення екологічного спостереження декількох об'єктів в одному польоті; синтез алгоритмів системи директорного керування для оператора ДПЛА екологічного спостереження; реалізація алгоритму системи директорного керування на тренажері ДПЛА екологічного спостереження);

– імітаційне моделювання та оцінка ефективності підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження (розробка моделі тренажерного комплексу для професійної підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження; визначення складу тренажерного комплексу для професійної підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження; проведення імітаційного моделювання та оцінювання якості підготовки оператора ДПЛА на тренажерному комплексі екологічного спостереження; розробка науково-методичного апарату підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження до дій у нештатних ситуаціях; оцінка

ефективності прийнятого рішення та часу реакції оператора дистанційно пілотованого літального апарату під час виникнення нештатної ситуації).

### 3. Система контролю та аналізу екологічної обстановки з використанням аерокосмічних технологій

Зважаючи на постійну зміну довкілля під дією антропогенного впливу, промислових об'єктів, а також зміною параметрів атмосфери Землі, є необхідність достовірного виконання завдань екологічного прогнозування та екологічної безпеки на основі застосування екологічного моніторингу з використанням дистанційно пілотованих літальних апаратів і космічних систем спостереження.

Світовий досвід засвідчив, що для підвищення якості, достовірності, оперативності, комплексності й ефективності системи моніторингу довкілля необхідно поєднувати сучасні інноваційні засоби й технології:

- автоматизовані й автоматичні вимірювальні системи;
- аерокосмічні дослідження з використанням як супутників, так і літаків і безпілотних літальних апаратів;
- системи автоматизованої обробки даних дистанційного зондування Землі;
- геоінформаційні аналітичні системи для обробки інформації з урахуванням закономірностей її зміни й у часі, й у просторі;
- комплексні багаторівневі системи моніторингу й контролю стану довкілля, які забезпечуватимуть інтегрування та комплексний аналіз даних про стан усіх складових частин довкілля як окремих регіонів, так і усієї країни в цілому з можливістю обміну даними з аналогічними міжнародними системами моніторингу;
- методи й технології аналізу даних моніторингу довкілля та визначення рівня техногенної та екологічної безпеки й інше.

Розширення можливостей екологічного моніторингу можна здійснювати завдяки вдосконаленню науково-методичного апарату оцінки стану зон екологічного ризику на основі методів ранжирування екологічних показників і багатокритерійної оцінки екологічної безпеки екосистеми.

Досвід останніх десятиліть засвідчує, що для забезпечення екологічної безпеки держави важливим є наявність оперативних і достовірних даних із загального інформаційного середовища про стан довкілля, використання яких після спеціальної обробки дозволяє прийняти виважені рішення на рівні керівництва держави й керівництва державних структур для ефективного розв'язання завдань в інтересах національної безпеки держави. Однією із складових частин загального інформаційного простору є інформація, що отримується за підсумками ведення моніторингу (спостереження) навколишнього природного середовища. Згідно з Концепцією

загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2018–2022 рр., підвищення рівня інформатизації в державних органах, що здійснюють повноваження у сфері національної безпеки й оборони, особливо під час виконання оперативних завдань, передбачається досягти й завдяки контролю та аналізу космічної обстановки.

Система контролю та аналізу екологічної обстановки (далі – СКАЕО) є джерелом стратегічної екологічної інформації та одним з елементів забезпечення екологічної безпеки як складової частини національної безпеки. Оперативна й точна об'єктивна інформація про стан і зміну екологічної обстановки необхідна для розв'язання низки відповідних екологічних завдань.

Якість розв'язання екологічних завдань як складова частина системи підтримки прийняття екологічних рішень керівництвом держави, що забезпечує моніторингову інформацію стратегічного рівня про райони можливих екологічних катаклізмів і техногенних аварій і катастроф, їхній стан і прогноз динаміки розвитку, безпосередньо впливає на рівень екологічної безпеки держави в галузі захисту довкілля та природних ресурсів.

Результати аналізу моніторингу довкілля дозволяють зробити оцінку екологічного стану й пріоритетів екологічної діяльності. Усі визначені екологічні завдання потребують каталогізації (рубрикації), а також точного знання та прогнозування екологічних параметрів довкілля, а саме здійснення екологічного моніторингу довкілля та техногенно небезпечних об'єктів.

Таким чином, протиріччя, що з'явилося внаслідок сучасних екологічних загроз, міститься в невідповідності між наявними методами, процесами й програмно-математичними засобами, інтегрованими з метою збирання, опрацювання, зберігання та використання екологічної інформації про стан довкілля та об'єктів критичної інфраструктури, й сучасними вимогами до розв'язання завдань в екологічному секторі національної безпеки України. Тому є перспективним підвищення рівня екологічного інформаційного забезпечення структур, що відповідають за стан екологічної безпеки держави, в галузі екології та природних ресурсів шляхом створення Системи контролю та аналізу екологічної обстановки в Україні.

На часі – розробка науково-теоретичних і методологічних засад, конструктивних і технологічних рішень, що базуються на багаторічному досвіді вітчизняних вчених, конструкторів і фахівців у галузі аерокосмічних технологій, результатах співпраці з провідними закладами в екологічній галузі України й сучасному досвіді зарубіжних країн. СКАЕО може стати стратегічною інформаційно-екологічною системою, завдання якої – забезпечення керівництва держави, центральних органів виконавчої влади й силових структур України оперативною екологічною інформацією про стан екологічної обстановки в регіонах України та її зміни в інтересах національної

безпеки й оборони України. Впровадження запропонованого підходу дозволить підвищити ефективність розв'язання завдань сектору безпеки й оборони України керівництвом держави й органами виконавчої влади в галузі екології та природних ресурсів.

Зважаючи на наявність загроз критичним об'єктам інфраструктури держави (греблі гідроелектростанцій, хімічні заводи, атомні електростанції, сховища ядерних відходів тощо), важливо подбати про вчасне попередження про ймовірні екологічні катастрофічні наслідки. Складовими частинами СКАЕО можуть бути: Центр контролю екологічної обстановки; спеціалізовані засоби екологічного спостереження; система зв'язку й передачі екологічних даних; комплекс захисту інформації, що містить інформацію з обмеженим доступом. Загальний контроль щодо функціонування та розвитку СКАЕО покладатиметься на системного еколога СКАЕО.

Загальну структуру СКАЕО з використанням космічних систем наведено на рис. 1.

Результати наукових досліджень засвідчують, що рівень їх впровадження під час створення СКАЕО відповідає світовим аналогам, якими є Система контролю космічного простору США (СККП, US SSN – Space Surveillance Network).

**Висновки й перспективи подальших досліджень.** У роботі запропоновано системний підхід щодо створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави. Системний підхід передбачає створення та застосування нових науково-практичних підходів: методологія оцінювання екологічних загроз і ризиків регіону з використанням системи підтримки екологічних рішень та експертних оцінок; методологія удосконалення систем управління екологічною безпекою шляхом створення системи підтримки екологічних рішень із застосуванням безпілотних літальних апаратів та аерокосмічних технологій; методологія провадження безпілотних апаратів екологічного спостереження та застосування космічних засобів.

За підсумками проведених теоретичних і прикладних досліджень формалізовано важливе науково-практичне завдання – створення системи екологічного моніторингу на основі комплектування космічних, повітряних і таких, що рухаються, наземних комплексів. Розв'язання поставленої наукової задачі дозволяє підвищити вірогідність та інформаційні можливості систем екологічного моніторингу для визначення зон еко-

логічних загроз і ризиків на основі використання комплексів оцінки екологічного стану регіону із застосуванням геоінформаційних та аерокосмічних технологій. Аналіз наявного науково-методичного апарату оцінки параметрів екологічного моніторингу показав його недосконалість без системного використання екологічної інформації космічних, повітряних, наземних комплексів, які дозволяють підвищити якість проведення екологічного моніторингу, визначити зони екологічних ризиків. Наявні системи моніторингу довкілля та техногенних екологічно небезпечних об'єктів не дозволяють визначити зміну зон екологічного ризику для оцінки екологічної безпеки екосистем. На основі узагальнення питань підвищення ефективності функціонування екологічного моніторингу шляхом застосування системи контролю екологічної обстановки запропоновано нове розв'язання наукової задачі, яке полягає в удосконаленні методики, пов'язаної з побудовою зон екологічного ризику під час багатокритерійної оцінки екологічної безпеки екосистем. Отримані результати інноваційних впроваджень по створенню системи екологічного моніторингу з використанням аерокосмічних технологій впроваджені й мають практичний характер, що дає змогу не лише поповнити



Рис. 1. Загальна структура СКАЕО



знання теоретичного характеру, але й реалізувати їх на практиці. Адекватність вдосконаленої методики синтезу системи мобільного екологічного моніторингу й правдивість отриманих результатів забезпечена коректною постановкою наукового завдання, використанням апробованих методів аналізу й синтезу складних систем, теорії екологічного моніторингу, обґрунтованим вибором обмежень

і допущень, а також збігом результатів дослідження з результатами під час апробації під час обговорення отриманих результатів на науково-практичних конференціях.

Результати досліджень можуть бути використані в державній системі екологічного моніторингу, а також для визначення зон екологічного ризику під час проведення оцінок екологічної безпеки екосистем.

### Література

1. Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики на період до 2020 року : Закон України 21 грудня 2010 р. № 2818-VI / Верховна Рада України. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>.
2. Про боротьбу з тероризмом : Закон України від 20 березня 2003 р. № 638 – IV / Верховна Рада України. *Відомості Верховної Ради України*. 2019. 2003. Випуск 3–4 (23–24). № 25. Ст. 180. URL: [zakon.rada.gov.ua/laws/show/638-15](http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/638-15).
3. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28.02.2019 р. № 2697-VIII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.
4. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році. Київ : Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОР Грінв Д.С., 2017. 308 с.
5. Про національну безпеку України : Закон України від 15 березня 2020 р. № 2469-VIII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text>.
6. Про національну безпеку України : Закон України від 15 березня 2020 р. № 2469-VIII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text>.
7. Білявський Г.О., Фурдуй Р.С., Костіков І.Ю. Основи екології. Київ : Либідь, 2005. 408 с.
8. Боголюбов В.М., Клименко М.О. Моніторинг довкілля : підручник / за ред. В.М. Боголюбова і Т.А. Сафранова. Херсон : Грінв Д.С., 2016. 530 с.
9. Бондар О.І., Машков О.А., Абідов С.Т. Системний аналіз небезпеки у зоні проведення антитерористичної операції на сході України: біосферні конфлікти та транскордонне забруднення. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. Київ : ДЕА, 2015. № 9. С. 5–26.
10. Бондар О.І., Машков О.А., Міхеев В.С. Системний підхід щодо оцінювання екологічного впливу авіаційної техніки на стан довкілля. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. 2020. № 1 (28). С. 191–200.
11. Іванюта С.П. Екологічна безпека регіонів України. *Стратегічні пріоритети*. 2013. № 3 (28). С. 157–164.
12. Каменева І.П., Артемчук В.А., Яцишин А.В. Модели представления и преобразования данных в задачах экологического мониторинга урбанизированных территорий. *Электронное моделирование*. 2016. № 2. С. 49–66.
13. Крутов В.В. Концептуальні аспекти проблеми протидії тероризмові в Україні. *Розбудова держави*. 2002. № 1–8. С. 17–27.
14. Машков О.А., Васильев В.Э., Фролов В.Ф. Методы и технические средства экологического мониторинга. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. 2014. № 1 (5). Київ : ДЕА, 2014. С. 57–67.
15. Машков О.А., Качалин И.Г., Сеницкий Р.Н. Проектирование и разработка автоматизированной системы сбора и обработки геофизической информации. *Збірник наукових праць*. Інститут проблем моделювання в енергетиці. Вип. 29. Київ, 2005. С. 57–64.
16. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища : навчальний посібник / В.М. Ісаєнко, Г.В. Лисиченко. Київ : Вид-во Нац. авіа. ун-ту «НАУ-друку», 2016. 312 с.
17. Настасенко О.Г., Бондар О.І., Машков О.А. Системний підхід щодо ліквідації екологічної катастрофи у зоні антитерористичної операції. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. Київ : ДЕА, 2014. № 6. С. 5–20.
18. Машков О.А., Мамчур Ю.В. Загроза національній безпеці: екологічний тероризм, як сучасний виклик суспільству. *Науковий часопис: Академія національної безпеки*. 2018. № 1 (17). С. 8–21.
19. Нижник Н.Р., Машков О.А. Системний підхід в організації державного управління. Київ : УАДУ при Президентіві України, 1998, 160 с.
20. Пічугін М.Ф., Машков О.А., Сашук І.М., Кирилук В.А. Обробка геофізичних сигналів у сучасних автоматизованих комплексах. Житомир : вид. ЖВІРЕ, 2006. 176 с.
21. Попов М.О. Інтеграція геоінформаційних, космічних та Інтернет-технологій – основа об'єктивної, оперативної та вірогідної інформації про Землю. *Геоінформатика*. 2004. № 4. С. 63–69.
22. Романченко І.С. Інформатизація системи екологічного моніторингу в Збройних Силах України / І.С. Романченко, А.І. Сбітнев, С.М. Чумаченко. *Наука і оборона*. 2005. № 4. С. 36–44.
23. Тероризм: теоретико-прикладні аспекти : навчальний посібник / кол. авт.; за заг. ред. проф. В. К. Грищука. Львів : ЛьвДУВС, 2011. 328 с.
24. Яцишин А.В., Попов О.О., Артемчук В.О., Ковач В.О., Зінов'єва І.С., Автоматизовані інформаційні системи підтримки прийняття управлінських рішень у галузі екологічної безпеки. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2019. Том 72. № 4. С. 286–305.