
ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО

УДК 504:3703;502;541;553

НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ДИСТАНЦІЙНО ПІЛОТОВАНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Машков О.А., Мамчур Ю.В., Жукаускас С.В.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ
dei2005@ukr.net

Розглядаються питання застосування дистанційно пілотованих літальних апаратів у системі екологічного моніторингу. Пропонується здійснювати моніторинг навколишнього середовища за допомогою створення аналітично-інформаційної системи, яка виконує такі системні функції: спостереження за станом навколишнього середовища та за факторами, які впливають на окремі елементи навколишнього середовища з використанням аерокосмічних технологій; оцінку й аналіз фактичного стану всіх складників навколишнього середовища; прогнозування стану навколишнього середовища та оцінку цього стану, оцінку екологічних загроз і ризиків; забезпечення науково-інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень. *Ключові слова:* аерокосмічні технології, дистанційно пілотовані літальні апарати, екологічна безпека, екологічні загрози, моніторинг навколишнього природного середовища, небезпечні відходи, система мобільного екологічного моніторингу.

Направления совершенствования системы экологического мониторинга с использованием дистанционно пилотируемых летательных аппаратов. Машков О.А., Мамчур Ю.В., Жукаускас С.В. Рассматриваются вопросы применения дистанционно пилотируемых летательных аппаратов в системе экологического мониторинга. Предлагается осуществлять мониторинг окружающей среды посредством создания аналитически-информационной системы, которая выполняет следующие системные функции: наблюдение за состоянием окружающей среды и за факторами, влияющими на отдельные элементы окружающей среды с использованием аэрокосмических технологий; оценку и анализ фактического состояния всех элементов окружающей среды; прогнозирование состояния окружающей среды и оценку этого состояния, оценку экологических угроз и рисков; обеспечение научно-информационной поддержки принятия управленческих решений. *Ключевые слова:* аэрокосмические технологии, дистанционно пилотируемые летательные аппараты, экологическая безопасность, экологические угрозы, мониторинг окружающей среды, опасные отходы, система мобильного экологического мониторинга.

Directions for improving the system of environmental monitoring using remotely piloted aircraft. Mashkov O., Mamchur Yu., Zhukauskas S. The problems of using remotely piloted aircraft in the system of environmental monitoring are considered. It is proposed to monitor the environment by creating an analytical information system that performs the following systemic functions: monitoring the state of the environment and factors that affect individual elements of the environment using aerospace technologies; assessment and analysis of the actual state of all elements of the environment; forecasting the state of the environment and assessing this state, assessing environmental threats and risks; providing scientific and information support for the adoption of managerial decisions. *Key words:* aerospace technologies, remotely piloted aircraft, environmental safety, environmental threats, environmental monitoring, hazardous wastes, mobile environmental monitoring system.

Постановка проблеми. Сьогодні порядок здійснення державного моніторингу навколишнього природного середовища визначається Кабінетом Міністрів України (Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля» від 30 березня 1998 р. № 391). Відповідно до п. 4 цієї постанови моніторинг довкілля здійснюється відповідними центральними органами виконавчої влади, їх територіальними органами, а також підприємствами, установами та організаціями, що належать до сфери їх управління, які є суб'єктами системи моніторингу за загальнодержавною й

регіональними програмами реалізації відповідних природоохоронних заходів [1; 2].

Саме наявність великої кількості суб'єктів моніторингу верхнього рівня за недостатності координації взаємодії між ними утворює основну проблему функціонування державної системи моніторингу довкілля.

Однією з ключових проблем ефективності функціонування системи моніторингу під час взаємодії із суб'єктами є незадовільний стан інформаційного обміну. Інформація моніторингу довкілля не систематизована, організація спостережень не має чіткого регламенту, який відповідав би потребам системи моніторингу за низкою позицій, таким як частота

відбору проб і виконання аналітичних досліджень, якість виконання процедури відбору та достовірність отриманих результатів, можливість зіставлення результатів спостережень різних відомств і регіонів, інформаційна сумісність задокументованих результатів, дублювання місць спостережень, відсутність геопросторової інформації тощо.

Відсутні стандартизовані формати й системи збереження, а отже, зберігання первинних моніторингових даних, отриманих у мережі спостережень, проводиться суб'єктами моніторингу безсистемно.

Як результат, на основі отриманої моніторингової інформації в такому вигляді, як є, неможливо визначити пріоритетність фінансування природоохоронних заходів в умовах обмежених ресурсів, за винятком аварійних ситуацій, коли цілі більш-менш очевидні та необхідне термінове реагування.

Ситуацію обтяжує те, що проведення моніторингу окремих середовищ та/або факторів проводиться за допомогою наявних у суб'єктів приладів та устаткування, що морально застарілі, і повною мірою не відповідає сучасним вимогам до якості інформації й оперативності її одержання. Відсутні уніфіковані методики забезпечення відбору проб, їх лабораторного аналізу та статистичної обробки отриманих даних.

Окрім того, майже відсутні спостереження на територіях, віддалених від промислових центрів, що не дає можливості провести якісне зіставлення результатів та оцінити реальний техногенний вплив на навколишнє середовище через відсутність належних фонових показників.

Створення й підтримка систем моніторингу локального рівня у сфері діяльності, пов'язаної з об'єктами підвищеної небезпеки, в умовах обмежених ресурсів у минулому була перешкодою належного та сталого фінансового забезпечення моніторингової діяльності.

Указом Президента України «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 25 квітня 2013 року «Про комплекс заходів щодо вдосконалення проведення моніторингу довкілля та державного регулювання у сфері поводження з відходами» від 18 жовтня 2013 р. № 572 підсумований аналіз стану Державної системи моніторингу довкілля. Зокрема, зазначеним рішенням Ради національної безпеки і оборони України визнано не досить ефективними діяльність Кабінету Міністрів України із забезпечення проведення державної політики у сфері поводження з відходами та впровадження дієвих механізмів державного регулювання в цій сфері, а також роботу Міністерства екології та природних ресурсів України щодо організаційної інтеграції суб'єктів державної системи моніторингу довкілля, методологічного й метрологічного забезпечення об'єднання її складових частин і компонентів.

У програмі, зазначеній в Указі Президента України від 18 жовтня 2013 р. № 572, передбачені, зокрема, такі завдання:

– удосконалення та забезпечення уніфікації науково-методичного й технічного забезпечення єдиної державної системи моніторингу довкілля;

– удосконалення проведення спостережень за станом довкілля шляхом упровадження новітніх геоінформаційних технологій, методик та обладнання відповідно до стандартів Європейського Союзу;

– запровадження єдиних підходів до формування суб'єктами єдиної державної системи моніторингу довкілля інформаційних ресурсів про стан навколишнього природного середовища;

– забезпечення створення та ведення єдиної електронної бази даних про стан природних і природно-антропогенних об'єктів, яка передбачала б автоматизований обмін даними між суб'єктами єдиної державної системи моніторингу довкілля на основі уніфікованого програмно-методичного забезпечення;

– удосконалення методики комплексної оцінки та прогнозування змін стану навколишнього природного середовища, у тому числі із застосуванням геоінформаційних технологій, технологій дистанційного зондування Землі, геопросторового аналізу даних, тематичного картографування й прогнозування.

Моніторинг навколишнього середовища в сучасному розумінні можна розглядати як аналітично-інформаційну систему, яка охоплює такі основні напрями:

1) спостереження за станом навколишнього середовища та за факторами, які впливають на окремі елементи навколишнього середовища;

2) оцінка й аналіз фактичного стану всіх складників навколишнього середовища;

3) прогнозування стану навколишнього середовища та оцінка цього стану;

4) забезпечення науково-інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень.

Універсальним підходом до визначення структури системи моніторингу антропогенних змін навколишнього природного середовища є його поділ на основні блоки, такі як спостереження, оцінка фактичного стану, прогноз стану навколишнього середовища, оцінка прогнозованого стану та підтримка прийняття управлінських рішень.

Особливість системи екологічного моніторингу полягає в тому, що виконання вимог порядку проведення моніторингу є обов'язковим для суб'єктів господарювання, які володіють і користуються об'єктами або здійснюють види діяльності, передбачені Переліком видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку, затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України від 27 липня 1995 р. № 554. Першим пунктом цього переліку встановлено атомну енергетику та атомну промисловість (у тому числі видобування й збагачення руди, виготовлення тепловиділяючих елементів для атомних електростанцій, регенерацію відпрацьованого ядерного палива, зберігання чи утилізацію радіоактивних відходів).

Як зазначено в «Національній доповіді про стан навколишнього природного середовища у 2015 році», сьогодишню екологічну ситуацію на території України загалом можна охарактеризувати як напружену. Найвищий рівень екологічної безпеки зумовлений переважно надзвичайно високим техногенним навантаженням на території України [1].

Низьким сьогодні залишається рівень застосування інноваційних, ресурсозберігаючих і природоохоронних технологій, у тому числі технологій переробки, утилізації та знищення відходів. Накопичення відходів стало одним із найвагоміших чинників забруднення навколишнього середовища, негативного впливу на всі його компоненти. Тому обмеження обсягів утворення відходів, розширення сфери, пов'язаної з їх утилізацією, знешкодженням та екологічно безпечним видаленням і послідовним зменшенням їх накопичень, повинні стати одними з найважливіших завдань [1; 2].

Атомні електростанції є одним із найбільших виробників радіоактивних відходів. На майданчиках атомних електростанцій здійснюється їх первинна переробка та тимчасове зберігання.

Основне навантаження на навколишнє середовище в промисловому секторі створюють підприємства хімічної, металургійної, гірничодобувної галузей та електроенергетики.

Потенційно екологічно небезпечні об'єкти, раптове виникнення надзвичайних ситуацій, які можуть завдати істотної екологічної шкоди, складають питому вагу в структурі промисловості держави. Основними джерелами їх забруднення є сільське господарство, промисловість і транспорт.

Окрему проблему становить великомасштабне нафтохімічне забруднення підземних вод і ґрунтів [2].

Аварії на промислових підприємствах та пов'язана з ними проблема попередження погіршення екологічної обстановки зумовлені здебільшого низьким рівнем безпеки виробництва, недостатньою підготовкою кадрового ресурсу, застарілими технологіями або недостатнім забезпеченням виконання технологічних регламентів тощо. У результаті промислових аварій виникають антропогенні зміни екосистем, які довгостроково впливають на здоров'я й добробут людей, а також на стан природного середовища.

Удосконалення системи забезпечення екологічної безпеки, яка існує в Україні, має стати сьогодні одним із пріоритетних напрямів державної політики на основі системного аналізу та з урахуванням процесів трансформації в економіці й державному управлінні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з концепцією Наукового комітету з проблем навколишнього середовища (англ. SCOPE) систему повторних спостережень одного й більше компонентів доквілля в просторі та в часі з певними цілями

й відповідно до попередньо підготовленої програми було запропоновано називати моніторингом.

Термін «моніторинг» (від лат. *monitor* – той, хто спостерігає) виник перед проведенням Стокгольмської конференції ООН з навколишнього середовища (Стокгольм, 5–16 червня 1972 р.). Основні елементи моніторингу як системи вперше описані в роботі Р. Манна (R. Mann) у 1973 р.

Формуванню наукових основ сучасного моніторингу навколишнього середовища присвячені роботи академіка І.П. Герасимова (1975 р. та 1976 р.) і професора Ю.А. Израеля (1984 р.), у яких розроблені основні принципи формування системи екологічного моніторингу, а також частково відображені міжнародні аспекти глобальної системи моніторингу.

Професор Ю.А. Израель вважав, що термін «моніторинг» з'явився на протигагу терміну «контроль», який включав не тільки спостереження та отримання інформації, а й елементи активних дій, тобто елементи управління (англ. *control* означає як контроль, так і управління). У нашій науково-технічній літературі термін «контроль» передбачає тільки отримання й аналіз інформації та не передбачає активні дії.

Аналіз літератури показав, що на сьогодні напрацьовано різні методи, механізми, принципи й методики визначення стану навколишнього середовища під час проведення екологічного моніторингу з використанням аерокосмічних технологій. Це підтверджується проведеними дослідженнями в галузі застосування аерокосмічних технологій для завдань екології й природокористування таких учених, як С.І. Азаров, Г.В. Аверін, Г.О. Белявський, В.І. Богом, О.І. Бондар, А.Н. Бугор, Б.С. Бусигін, В.М. Ващенко, В.І. Волошин, А.Б. Востоков, Л.Д. Вульфсон, С.В. Гарбук, В.Є. Гершензон, Г.Б. Гонін, В.П. Горбулін, В.А. Горелов, С.К. Гош, А.В. Гречища, Ю.І. Гришин, В.Й. Драновський, Н.А. Ємець, А.П. Завалишин, Л.Г. Зубова, Я.Г. Кац, Н.П. Козлов, І.М. Копачевський, Ю.В. Костюченко, О.Л. Котляр, С.С. Кохан, Г.Я. Красовський, А.А. Лебедев, Ю.А. Лихачов, В.І. Лялько, О.А. Машков, В.Б. Мокін, С.П. Мосов, О.П. Нестеренко, Д.П. Пашков, В.Г. Петрук, В.А. Петросов, М.О. Попов, В.І. Присяжний, Ю.К. Ребрин, Г.І. Рудько, А.І. Сахацький, Ю.М. Соколов, С.А. Станкевич, В.А. Стрільців, О.Г. Тараріко, О.Д. Федоровський, А.Я. Ходоровський, А.М. Чандра, С.М. Чумаченко, А.Г. Шапар, В.М. Шмандій, Г.Г. Шматков, Я.С. Яцків та інші.

Метою статті є дослідження особливостей побудови систем мобільного екологічного моніторингу навколишнього середовища з використанням аерокосмічних технологій, а також аналіз сучасних інформаційних технологій, які можуть використовуватися при цьому для оцінки стану навколишнього середовища.

Виклад основного матеріалу дослідження. Головним завданням на найближчу перспективу є мінімізація рівня антропогенного впливу на навко-

лишне середовище. При цьому заміна технологій і технічне переоснащення підприємств вимагає значних капіталовкладень.

Основними загрозами в екологічній сфері сьогодні є такі явища:

– значне антропогенне порушення й техногенна переважаність території України, зростання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру;

– нераціональне, виснажливе використання мінерально-сировинних природних ресурсів (як відновлюваних, так і невідновлюваних);

– негативні соціально-екологічні наслідки Чорнобильської катастрофи;

– погіршення екологічного стану водних басейнів, загострення проблеми транскордонних забруднень та якості води;

– загострення техногенного стану гідротехнічних споруд каскаду водосховищ на р. Дніпрі;

– неефективність заходів щодо подолання негативних наслідків та іншої екологічно небезпечної діяльності;

– посилення впливу шкідливих генетичних ефектів у популяціях живих організмів, у тому числі генетично змінених організмів, та біотехнологій;

– застарілість і недостатня ефективність комплексів з утилізації токсичних та екологічно небезпечних відходів [1–5].

Згідно зі світовою та європейською практикою передбачається розвиток уже існуючих і впровадження нових механізмів регулювання екологічної безпеки, зокрема таких:

а) ідентифікації небезпечних видів діяльності як основного критерію під час оцінки стану екологічної безпеки;

б) ліцензування небезпечних видів діяльності як інструменту регулювання рівня безпеки під час роботи з небезпечними речовинами й процесами;

в) страхування екологічних ризиків;

г) здійснення екологічного аудиту як одного з можливих інструментів оцінки рівня безпеки;

г) застосування поняття «ризик» як інтегрального показника можливих екологічних загроз.

У 2014 р. в промисловому комплексі України функціонувало близько 1 тис. об'єктів, на яких зберігалися або використовувалися у виробництві небезпечні хімічні речовини в кількості понад 219 тис. т (зокрема, близько 4 тис. т хлору, 117 тис. т аміаку та близько 99 тис. т інших небезпечних хімічних речовин) [1]. Серед цих об'єктів найбільш небезпечними є об'єкти з виробництва вибухових речовин та утилізації непридатних боєприпасів, підприємства хімічної й нафтопереробної промисловості, об'єкти, що використовують хлор та аміак (холодильні установки, установки з очищення води тощо), склади пестицидів та агрохімікатів, аміакопроводи.

Усього в зонах можливого хімічного зараження потенційно небезпечних об'єктів проживає зна-

чна частина населення України. Найбільша кількість хімічно небезпечних об'єктів зосереджені в Донецькій, Дніпропетровській, Луганській і Харківській областях [1].

Забезпечення екологічної безпеки на потенційно небезпечних об'єктах вимагає технічного переоснащення виробництва з упровадженням новітніх ресурсо- й енергозберігаючих технологій, посилення нагляду за неухильним виконанням вимог промислової безпеки на потенційно небезпечних об'єктах, забезпечення комплексної переробки, утилізації, вивезення й захоронення відходів виробництва.

Як показує практика, для правильної організації управління якістю навколишнього природного середовища необхідною умовою є формування повноцінної системи моніторингу [5–13].

Система моніторингу передбачає чітку технічну вимогу автоматизованого обміну інформацією між суб'єктом господарювання та оператором регіональної автоматизованої системи моніторингу. При цьому об'єктами спостереження визначаються не тільки складові елементи навколишнього середовища, а й промислові відходи та транспортні засоби (а отже, і вантажі).

Суб'єкти автоматизованої системи моніторингу визначаються на загальнодержавному (оператор загальнодержавної автоматизованої системи моніторингу), регіональному (оператори регіональної автоматизованої системи моніторингу) та локальному (суб'єкти господарювання) рівнях.

Можливі два системні варіанти вдосконалення системи екологічного моніторингу.

Перший варіант передбачає наявність великої кількості суб'єктів моніторингу верхнього рівня та координацію їх взаємодії через підсистему (відновлену) моніторингу довкілля (міжвідомча комісія).

Другий варіант – це визначення єдиного оператора верхнього рівня системи моніторингу (інформаційно-аналітичного центру), підпорядкованого Міністерству екології та природних ресурсів України. Перевагами такого структурного рішення є можливість ефективного вирішення завдань, що визначені в меті програми відповідно до Указу Президента України від 18 жовтня 2013 р. № 572, насамперед щодо уніфікації, стандартизації та об'єднання інформаційних ресурсів Державної системи моніторингу довкілля.

Система моніторингу має бути структурованою за державним, регіональним та об'єктовим рівнями з відповідним розподілом повноважень, відповідальності й фінансування. Інші суб'єкти системи моніторингу повинні виконувати функції моніторингу забруднення об'єктів навколишнього середовища, що належать до сфери їх діяльності, мати власні інструментальні засоби екологічного моніторингу, інформаційно-аналітичні системи та бази даних стану (об'єктів) навколишнього середовища. Водночас усі результати моніторингу також мають

передаватися у визначеному порядку до загальної бази даних моніторингу навколишнього середовища, а організація – оператор верхнього рівня здійснюватиме повний моніторинг навколишнього середовища з використанням доступу до даних як власної, так і відомчих мереж моніторингу.

У системі екологічного моніторингу можна виділити три основні функціональні блоки отримання необхідної інформації:

– моніторинг джерел та рівнів антропогенних навантажень (викидів і скидів шкідливих речовин, утворення відходів тощо);

– моніторинг стану навколишнього середовища (якості повітря, води й ґрунту);

– моніторинг впливів змін у стані навколишнього середовища на біоту (здоров'я людей, біорізноманіття тощо).

З огляду на вимоги щодо збору даних і звітності, встановлені в національних законах та нормативних актах, планах дій і програмах із довкілля, а також вимоги, що постають із міжнародних зобов'язань, варто розробити пріоритети з моніторингу навколишнього середовища. Необхідно регулярно проводити огляд систем моніторингу навколишнього середовища на основі оцінки їх внеску в підтримку прийняття рішень, пріоритетних потреб у новій інформації та економічної оцінки їх витрат.

Удосконалення системи екологічного моніторингу передбачає отримання таких результатів:

1) функціонування оновленої структури системи моніторингу на основі інтеграції елементів відомчих мереж у єдиній системі;

2) ведення стандартизованих інформаційних ресурсів системи моніторингу як для збирання й накопичення, так і для надання доступу та використання отриманої інформації;

3) використання для цілей моніторингу уніфікованої нормативно-правової та методичної бази функціонування системи моніторингу з урахуванням міжнародних зобов'язань України щодо гармонізації зі стандартами Європейського Союзу;

4) пріоритетне запровадження автоматизованих систем збору й передачі інформації щодо стану природного та виробничого середовища з метою підвищення оперативності і якості отриманої інформації;

5) удосконалення приладово-технічного оснащення та метрологічного забезпечення робіт у мережах спостережень системи моніторингу;

6) розроблення й запровадження стандартизованих рекомендацій щодо прийняття управлінських рішень на основі даних моніторингу стосовно дотримання вимог екологічної безпеки, збереження природного середовища та раціонального природокористування.

Особливість пропонованої системи екологічного моніторингу полягає в тому, що контактні методи спостережень і контролю за станом природного середовища доповнюються неконтактними (дис-

танційними), заснованими на використанні двох властивостей полів зондування (електромагнітних, акустичних, гравітаційних) – здійснювати взаємодію з контрольованим об'єктом та передавати отриману інформацію до датчика.

Об'єкти спостереження мають широкий набір інформативних ознак і володіють різноманітністю ефектів взаємодії з речовиною об'єкта контролю. Принципи функціонування засобів неконтактного контролю умовно поділяють на пасивні та активні. У першому випадку здійснюється прийом зондувального поля, що виходить від самого об'єкта контролю, а в другому проводиться прийом відбитих, минулих або таких, що зазнали перевипромінювання, зондувальних полів, створених джерелом.

Неконтактні методи спостереження й контролю представлені двома основними групами методів – аерокосмічними та геофізичними. Основними видами аерокосмічних методів дослідження є оптична фотозйомка, телевізійна, інфрачервона, радіотеплова, радіолокаційна, радарна та багатозональна зйомка. Неконтактний контроль атмосфери здійснюється за допомогою радіоакустичного й лазерних методів.

Спочатку радіохвилі були використані для аналізу стану іоносфери (за відображенням і заломленням хвиль), потім сантиметрові хвилі застосували для дослідження опадів, хмар, турбулентності атмосфери. Сфера використання радіоакустичних методів обмежена порівняно локальними обсягами повітряного середовища (близько 1–2 км у радіусі) і допускає їх функціонування в наземних умовах та на борту повітряних суден.

Однією з причин появи відбитого акустичного сигналу є дрібномасштабні температурні неоднорідності, що дає змогу контролювати температурні зміни, профілі швидкості вітру, верхню межу туману.

Принцип лазерного зондування полягає в тому, що лазерний промінь розсіюється молекулами, частками, неоднорідностями повітря, поглинається, змінює свою частоту, форму імпульсу, у результаті чого виникає флуоресценція, яка дає змогу якісно або кількісно судити про такі параметри повітряного середовища, як тиск, щільність, температура, вологість, концентрація газів, аерозолів, параметри вітру. Перевага лазерного зондування полягає в монохроматичності, когерентності та можливості змінювати спектр, що дає змогу вибірково контролювати окремі параметри повітряного середовища. Головний недолік – обмеженість межі зондування атмосфери із Землі впливом хмар.

Основними методами неконтактного контролю природних вод є радіояркостний, радіолокаційний, флуоресцентний.

Радіояркостний метод використовує діапазон хвиль зондування від видимого до метрового для одночасного контролю хвилювання, температури й солоності.

Радіолокаційний (активний) метод полягає в прийомі та обробці (амплітудній, енергетичній, частотній, фазовій, поляризаційній, просторово-часовій) сигналу, відбитого від схвильованої поверхні. Для дистанційного контролю параметрів нафтового забруднення водного середовища (таких як площа покриття, товщина, приблизний хімічний склад) використовується лазерний відбивний, лазерний флуоресцентний методи й фотографування в поляризованому світлі.

Флуоресцентний метод заснований на поглинанні оптичних хвиль нафтою та відмінності спектрів світіння легких і важких фракцій нафти. Оптимальний вибір довжини збудливої хвилі дає змогу за амплітудою та формою спектрів флуоресценції ідентифікувати типи нафтопродуктів.

Геофізичні методи досліджень застосовуються для вивчення складу, будови й стану масивів гірських порід, у межах яких можуть розвиватися ті чи інші небезпечні геологічні процеси. До них належать магніторозвідка, електророзвідка, терморозвідка, візуальна зйомка (фото-, теле-), ядерна геофізика, сейсмічні та геоакустичні методи тощо.

У програму інструментальних спостережень у системі моніторингу включаються такі території:

- райони розміщення техногенно небезпечних об'єктів промислового й цивільного будівництва;
- промислові зони, у яких ведеться видобуток корисних копалин, відкачування (закачування) підземних вод, розсолів (промислових стоків), місця складування відходів тощо;
- території, зайняті паливно-енергетичними комплексами;
- території осідання земної поверхні;
- території, зайняті промисловими підприємствами, на яких виконуються прецизійні роботи в різних сферах виробничої діяльності;
- території з несприятливою та напруженою екологічною обстановкою.

Основним видом безпосереднього вивчення небезпечних екологічних процесів і явищ за допомогою аерокосмічних систем (дистанційно пілотованих літальних апаратів) є комплексна інженерно-геологічна зйомка. Методика комплексної інженерно-геологічної зйомки на сьогодні досить добре відпрацьована. Методи отримання моніторингової інформації в ході зйомки добре розроблені та включають у себе комплекс підготовчих, польових, лабораторних досліджень. Екологічний моніторинг передбачає використання аерокосмічних засобів, а також формування інфраструктури регіональних центрів збору й прийому аерокосмічної інформації. Існують декілька космічних систем дистанційного зондування, які можна застосувати для спостережень за розвитком небезпечних природних процесів і явищ. Зображення із супутників передаються на Землю в реальному часі. Можливість вільного прийому супутникової інформації наземними стан-

ціями забезпечується Всесвітньою метеорологічною організацією згідно з концепцією «Відкритого неба». На наземних станціях прийому супутникової інформації проводяться прийом, демодуляція, первинна обробка й підготовка супутникових даних до введення в персональний комп'ютер станції. Супутникові дані дистанційного зондування дають змогу вирішувати такі завдання контролю стану навколишнього середовища:

- 1) визначення метеорологічних параметрів, таких як вертикальні профілі температури, інтегральні характеристики вологості, характер хмарності;
- 2) контроль динаміки атмосферних фронтів, ураганів, отримання карт великих стихійних лих;
- 3) визначення температури підстильної поверхні, оперативний контроль і класифікація забруднень ґрунту та водної поверхні;
- 4) виявлення великих або постійних викидів промислових підприємств;
- 5) контроль техногенного впливу на стан лісопаркових зон;
- 6) виявлення великих пожеж і виділення пожежо-небезпечних зон у лісах;
- 7) виявлення теплових аномалій і теплових викидів великих виробництв та теплоелектроцентралей у мегаполісах;
- 8) реєстрацію димних шлейфів від труб;
- 9) моніторинг і прогноз сезонних паводків та розливів річок;
- 10) виявлення й оцінку масштабів зон великих повеней;
- 11) контроль динаміки снігових покривів і забруднень снігового покриву в зонах впливу промислових підприємств.

Система моніторингу навколишнього середовища розглядається як система спостережень, збору, обробки, передачі, збереження та аналізу інформації про стан навколишнього середовища, прогнозування його змін і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки.

За допомогою системи моніторингу виявляються критичні ситуації, виділяються критичні фактори впливу та найбільш чутливі до дії елементи біосфери [2].

Безпілотний літальний апарат (далі – БПЛА) – це літальний апарат, який призначений для польоту без екіпажу на борту. Раніше ці апарати об'єднували поняттям безпілотної авіації (літаки, управління (пілотування) яких здійснюється без пілота, за допомогою приладів різних систем, що засобами радіо (радіолокації, телебачення) подають команди на автопілот; елементи системи управління містяться поза літаком та можуть бути на землі, на воді й у повітрі, на місці старту, на маршруті польоту).

Залежно від принципу управління БПЛА поділяють на безпілотні некеровані, безпілотні автоматичні,

безпілотні дистанційно пілотовані літальні апарати (далі – ДПЛА) [7–11].

БПЛА прийнято ділити за такими взаємопов'язаними параметрами, як маса, час, дальність і висота польоту. Виділяють такі класи апаратів:

1) «мікро» (умовна назва) – масою до 10 кг, час польоту близько 1 години та висотою до 1 км;

2) «міні» – масою до 50 кг, часом польоту декілька годин та висотою 3–5 км;

3) середні («міді») – до 1 т, часом польоту 10–12 годин і висотою до 9–10 км;

4) важкі – з висотами польоту до 20 км і часом польоту 24 години й більше.

Для визначення координат і земної швидкості сучасні БПЛА, як правило, використовують супутникові навігаційні приймачі (GPS або ГЛОНАСС). Кути орієнтації та перевантаження визначаються з використанням гіроскопів та акселерометрів.

Як керуюча апаратура використовуються, як правило, спеціалізовані обчислювачі на базі цифрових сигнальних процесорів або комп'ютери формату PC/104, MicroPC під управлінням операційних систем реального часу (QNX, VME, VxWorks, XOberon). Програмне забезпечення пишеться зазвичай мовами високого рівня, такими як C, C++, Модуль-2, Oberon SA або Ada95.

Для передачі на пункт управління відеоданих, отриманих із бортових сенсорів БПЛА, використовується радіопередавач, що забезпечує радіозв'язок із прийомним устаткуванням. Залежно від формату зображень і ступеня їх стиснення пропускна здатність цифрових радіоліній передачі даних може становити одиниці чи сотні Мбіт/с. До складу бортових радіозасобів БПЛА повинні входити радіопередавач, приймач команд управління, передавач службової (телеметричної) інформації.

БПЛА зазвичай застосовують для вирішення широкого кола завдань, виконання яких пілотованими літальними апаратами з різних причин недоцільне. Такими завданнями є моніторинг повітряного простору, земної й водної поверхні, екологічний моніторинг, управління повітряним рухом, контроль морського та річкового судноплавства, розвиток систем зв'язку.

Ведуться розробки декількох типів БПЛА злітною вагою від 5 до 150 кг різного призначення.

Активний розвиток «безпілотників» для вирішення завдань екології й природокористування зумовлений низкою їх важливих переваг. Це насамперед відносно невелика вартість БПЛА, малі витрати на їх експлуатацію, великі тривалість та економічність польоту, а також інші переваги порівняно з пілотованою авіацією [2–13].

Станом на початок XXI ст. понад 50 фірм у різних країнах розробляли й випускали БПЛА понад 150 типів. Підсумки широкомасштабного використання безпілотних літальних апаратів дають змогу виявити тенденції подальшого застосування БПЛА

в різних умовах. Однією з таких тенденцій є групове застосування дистанційно пілотованих літальних апаратів для завдань екологічного моніторингу.

При цьому виникає низка наукових завдань, зокрема синтез структури групового комплексу та алгоритмів його функціонування, вибір бортової апаратури для спостережень тощо [6].

Під час синтезу ефективного ситуаційного управління польотом групи ДПЛА доцільно врахувати такий фактор, як динамічні синергетичні процеси в атмосфері (турбулентність повітряного середовища). Як показує аналіз досвіду застосування ДПЛА, турбулентність повітряного середовища викликає зміна їх аеродинамічних сил і моментів. Це істотно впливає на ефективність управління безпілотними літаками, особливо у випадках одночасного використання груп ДПЛА [6; 7].

Як відомо, динамічні процеси, що відбуваються в атмосфері, мають синергетичний характер і залежать від величезної кількості чинників. Основні із цих факторів – географічне розташування місцевості польоту, тип підстильної поверхні, висота польоту, пора року та навіть час доби [8; 10; 11]. Облік впливу турбулентності повітряного середовища необхідно здійснювати з використанням моделей ДПЛА, що являють собою рівняння, які описують динаміку руху кожного апарата, роботу силових установок і сервоприводів. Це дасть змогу синтезувати алгоритми синергетичного ситуаційного управління польотом групи ДПЛА.

Провідна роль під час аерокосмічного моніторингу повинна відводитися знімкам, отриманим в оптичному діапазоні спектра з огляду на їх максимум корисної інформації.

Дистанційне зондування Землі забезпечує можливість оперативного збору даних у глобальному масштабі з високим просторовим і часовим дозволом, що й визначає значні інформаційні можливості аерокосмічних систем, можливість їх господарського, природно-екологічного, наукового й військового застосування та потенційну економічну ефективність. Аерокосмічні знімки надають точну й реальну інформацію про об'єкт моніторингу. При цьому ставляться такі завдання: а) оцінка еколого-санітарного стану об'єктів (виявлення джерел забруднення, контроль динаміки поширення); б) інвентаризація змін, визначення інтенсивності та масштабів процесів, реєстрація змін; в) визначення динаміки (як сезонної, так і літньої) і контроль коливань змін.

Об'єднані класифіковані зображення за різні періоди дають змогу створити карти, які містять зміни за цей період часу, а також карти екологічного забруднення, зон небезпеки, карти прогнозованого стану навколишнього середовища. Тому аерокосмічний моніторинг для оцінки й прогнозування майбутнього стану довкілля є складовою частиною масштабної багатofункціональної програми екологічного управління. Використання передових

засобів автоматизованого збору, обробки й подання інформації забезпечує більш високий рівень наукових досліджень унаслідок можливості зіставлення різноманітної інформації та комплексного підходу до вивчення природних явищ. Інформаційне забезпечення наукових досліджень є визначальним фактором їх ефективності, актуальності результатів, узгодження зусиль різних наукових груп.

Висновки і пропозиції. Таким чином, аналіз існуючого науково-методичного апарату оцінки параметрів екологічного моніторингу показав його недосконалість без системного використання екологічної інформації космічних, повітряних, наземних комплексів, які дають змогу підвищити якість проведення екологічного моніторингу, визначити зони екологічних ризиків.

Існуючі системи моніторингу навколишнього середовища й техногенних екологічно небезпечних об'єктів не дають змогу визначити зміну зон екологічного ризику для оцінки екологічної безпеки екосистем. Використання аерокосмічних технологій, а також комплексна обробка інформації з різних джерел дає можливість підвищити достовірність та інформаційні можливості моніторингу із застосуванням геоінформаційних та аерокосмічних технологій.

Одним із перспективних методів проведення екологічного моніторингу є дистанційний, який базується на основі комплексного використання косміч-

них, повітряних і рухливих наземних комплексів спостереження систем спостереження. Як повітряні комплекси розглядаються безпілотні літальні апарати та дистанційно пілотовані літальні апарати.

Підвищення ефективності функціонування екологічного моніторингу доцільно здійснювати на основі застосування екологічних комплексів космічного, повітряного, наземного базування. Запропоновано нове вирішення наукового завдання, яке полягає в удосконаленні методики, пов'язаної з побудовою зон екологічного ризику під час проведення багатокритеріальної оцінки екологічної безпеки екосистем.

Система моніторингу повинна в інформаційному плані забезпечити організацію необхідних інформаційних потоків і поліпшити спостереження за основними процесами та явищами в біосфері. Для прийняття раціональних управлінських рішень щодо екологічних ризиків і загроз необхідною умовою є наявність якісного інформаційного забезпечення за динамікою різних показників, що характеризують стан навколишнього середовища.

Перспективи подальших досліджень. Актуальним науковим завданням є обґрунтування теоретико-методологічних засад розвитку державної системи моніторингу навколишнього природного середовища й техногенно небезпечних об'єктів та поведінки з небезпечними відходами з використанням аерокосмічних і геоінформаційних технологій.

Література

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році / Міністерство екології та природних ресурсів України. Херсон: ФОП Гринь Д.С., 2017. 308 с.
2. Моніторинг навколишнього середовища / О.І. Бондар, І.В. Корінько, В.М. Ткач, О.І. Федоренко; за ред. О.І. Федоренко. К.: ДЕІ-ГТІ, 2005. 126 с.
3. Машков О.А., Аль-Тамімі Р.К.Н., Ламі Д.Д.Х. Застосування інформаційних аерокосмічних технологій для оцінки трансграничних екологічних конфліктів. Науково-технічний журнал «Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті». К.: НТУ, 2015. № 2. С. 136–147.
4. Машков О.А., Аль-Тамімі Р.К.Н., Ламі Д.Д.Х. Використання даних аерокосмічного моніторингу для оцінки трансграничних екологічних конфліктів. Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту: матеріали Міжнародної наукової конференції (25–28 травня 2015 р.). Залізний порт: ХНТУ, 2015. С. 96–106.
5. Машков О.А., Аль-Тамімі Р.К.Н., Ламі Д.Д.Х., Косенко В.Р. Науково-технічне супроводження аерокосмічних технологій для екологічного моніторингу та прогнозування стану природного середовища. Сучасні інформаційно-телекомунікаційні технології: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції (17–20 листопада 2015 р.). К.: ДУТ, 2015. Т. III. С. 27–29.
6. Машков О.А., Коробчинский М.В., Щукін А.Н., Ярема О.Р. Теоретические основы создания функционально-устойчивого комплекса управления групповым полетом беспилотных летательных аппаратов экологического мониторинга. Моделирование та інформаційні технології: збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці. 2012. Вип. 66. С. 215–223.
7. Машков О.А., Васильев В.Э., Фролов В.Ф. Методы и технические средства экологического мониторинга. Науково-практичний журнал «Екологічні науки». К.: ДЕА, 2014. № 1(5). С. 57–67.
8. Машков О.А., Коробчинский М.В., Щукін А.Н., Ярема О.Р. Исследование свойств функционально-устойчивого комплекса управления групповым полетом БПЛА экологического мониторинга. Моделирование та інформаційні технології: збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці. 2012. Вип. 65. С. 202–214.
9. Mashkov O., Vasilyev V., Frolov V. Geoinformation and aerospace technologies for information from satellite processing: environmental monitoring. Науково-практичний журнал «Екологічні науки». К.: ДЕА, 2013. № 2(4). С. 107–113.
10. Беспилотный летательный аппарат «Беркут». URL: <http://eizvestia.com/armiya/full/285-bespilotnyj-letatelnyj-apparat-berkut>.
11. Беспилотный летательный аппарат «А-12 Ураган». URL: <http://eizvestia.com/armiya/full/456-bespilotnyj-letatelnyj-apparat-a-12-uragan>.
12. Бондар О.І., Машков О.А., Щукін О.М. Системний підхід до синтезу управлінських рішень з метою модернізації системи природокористування України. Науково-практичний журнал «Екологічні науки». К.: ДЕА, 2013. № 3. С. 5–26.
13. Щукін О.М., Бондар О.І., Машков О.А. Інноваційний розвиток та модернізація системи природокористування України (реперні точки розвитку галузі і шляхи її реалізації). Трансфер технологій та інновації: інноваційний розвиток та модернізація економіки: матеріали VI Міжнародного форуму (Київ, 20–21 грудня 2012 р.). К., 2013. С. 236–252.