

**Ю.Л. Забулонов, В.М. Буртняк, Л.А. Одукалець**

Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»,  
пр-т Палладіна, 34а, Київ–142, 03680, Україна, igns@i.com.ua

## **СИСТЕМА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА РАДІАЦІЙНОЮ ОБСТАНОВКОЮ НА БАЗІ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ**



Обґрунтовано необхідність створення нових технічних засобів для контролю за радіаційною обстановкою на територіях радіаційного впливу джерел іонізуючого випромінювання на базі безпілотного літального апарату (БПЛА). Наведено основні технічні характеристики БПЛА типу октокоптер та розробленого спектрометричного комплексу для системи. Показано, що застосування створених засобів дає змогу в реальних умовах дистанційно виявляти як точкові, так і розподілені джерела радіоактивного забруднення.

*Ключові слова:* ядерно-радіаційна аварія, гамма-випромінювання, БПЛА, спектрометр, радіаційна безпека, радіаційний моніторинг.

Як відомо, в Україні є значна кількість підприємств, які здійснюють видобуток, переробку та зберігання сировини для ядерного палива. Практично на всіх етапах їх функціонування утворюються небезпечні радіоактивні відходи, відвали, захоронення, які є джерелами ризику забруднення навколишнього середовища і опромінення населення. Високу потенційну загрозу також несуть АЕС, джерела іонізуючого випромінювання, які інтенсивно використовуються у промисловості, медицині, сільському господарстві, науково-дослідних установах. На сьогодні в Україні радіоекологічна ситуація є складною, що спричиняє необхідність створення системи швидкого реагування для радіаційного контролю та моніторингу навколишнього природного середовища. Незважаючи на всі вжиті в Україні заходи безпеки та постійне підвищення рівня надійності ядерної техніки і технологій, виникнення аварійних

ситуацій на АЕС з вивільненням радіонуклідів у навколишнє середовище ще залишається імовірною подією. Тому держава, яка має атомну енергетику, повинна бути готовою до реагування на такі аварії. Це дасть змогу суттєво знизити ступінь тяжкості наслідків аварії, а також зменшити витрати на реагування на небезпеку, що є економічно вигіднішим за вартість подолання їхніх наслідків [1].

Сьогодні на території нашої країни не існує сучасного технічного забезпечення, яке б дозволило здійснювати ефективний контроль за радіаційною обстановкою на територіях радіаційного впливу різних природних та техногенних джерел іонізуючого випромінювання. Така ситуація значно збільшує ризик для здоров'я населення та навколишнього природного середовища, а також негативно позначається на міжнародному іміджі нашої держави.

Розвиток безпілотної авіації і мініатюризація електронних компонентів дали поштовх до розміщення гамма-радіометричної і спектрометричної апаратури на компактних безпілот-

них літальних апаратах (БПЛА) [2]. Завдяки своїй дешевизні і широким можливостям адаптації під різні потреби, безпілотні апарати на мультикоптерних платформах знайшли своє застосування у галузі локалізації джерел іонізуючого випромінювання і детального картування забруднених районів. Мультикоптерний БПЛА як платформа для аерогаммаспектрометричної апаратури має ряд переваг: здатність виконувати польоти на висоті від 1 м зі швидкістю від 3,6 км/год, автоматизовані процедури зльоту, зйомки і посадки, можливість деталізації виявлених аномалій методом завищення над ними або приземлення для набору спектрів, здатність здійснювати зйомку вертикальних поверхонь за рахунок використання гіростабілізованого розташування спектрометра. Вибір аерогаммаспектрометричної системи залежить від завдання, яке повинно бути виконано, оскільки різні системи мають свої переваги і обмеження.

В науковому колективі Державної установи «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» було проведено розробку апаратних та програмних засобів для вирішення завдань інвентаризації пунктів тимчасової локалізації радіоактивних відходів для подальшої оцінки необхідності та доцільності їх перепиховання. Було створено автоматизовану систему швидкого реагування для радіаційного контролю та моніторингу навколишнього природного середовища на базі безпілотного літального апарату «АСПЕК-О» [3].

#### Основні функції та компоненти системи

Система «АСПЕК-О» складається з бортової та наземної частин. Бортова частина системи призначена для проведення вимірювань та збору спектрів гамма-випромінювання, ідентифікованих географічними координатами, висотою, тиском та температурою з території земної поверхні, яку обстежують. Наземна частина спектрометричного комплексу — це обчислювальний комплекс, який здійснює обробку, ведення бази даних спектрометричної інформа-

ції, що надходить з повітряного дистанційного комплексу, виявлення зон радіоактивного забруднення місцевості, визначення спектрального складу і потужності експозиційної дози гамма-випромінювання, пошук та визначення координат точкових джерел гамма-випромінювання. Комплекс також виконує візуалізацію, побудову карти-схеми дозової обстановки і документування отриманих даних радіаційного моніторингу.

Носієм вимірювального обладнання було обрано БПЛА типу октокоптер (рис. 1). Це дистанційно керований, автоматичний літальний апарат ближньої дії гелікоптерного типу. Октокоптер має габарити 1040 × 1040 мм, вантажопідйомність до 7,5 кг. Швидкість польоту ненавантаженого пристрою може досягати 10 м/с, час перебування в повітрі — 20–25 хвилин. Висота польоту 1–300 м.

В якості спектрометра — основного елемента вимірювальної системи — було розроблено систему детектування гамма-випромінювання, яка складалася із п'яти стандартних сцинтиляційних блоків БДЕГ-04 [3]. Однак, після проведення ряду випробувальних польотів блоки БДЕГ-04 через їх низьку роздільну здатність було змінено на детектор Amсгус типу 10 S 10/3. Цей детектор побудовано на базі



Рис. 1. БПЛА з гамма-спектрометричним комплексом

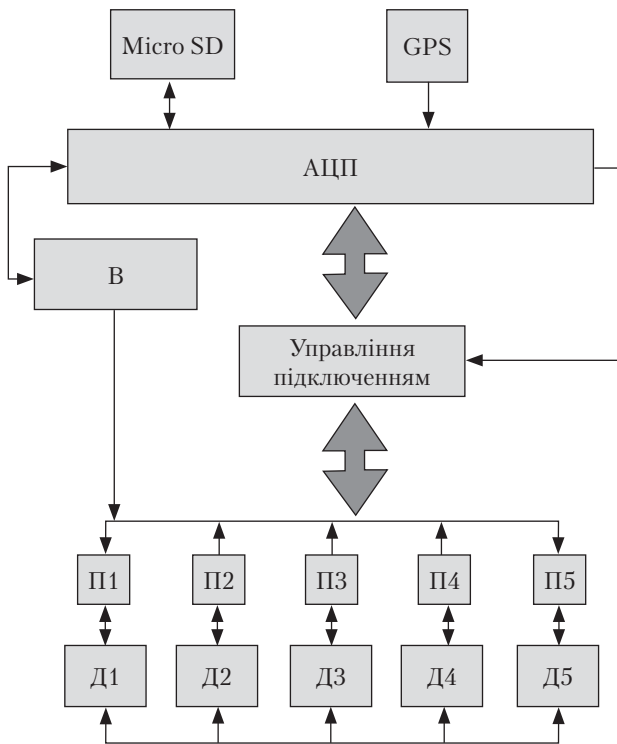


Рис. 2. Структурна схема детектора для БПЛА (Д1–Д5 – детектори; П1–П5 – попередні підсилювачі; В – висковольтне джерело живлення)

кристалу  $\text{NaI(Tl)}$  розміром  $\text{Ø}63 \times 63$  мм та ФЕП фірми Hamamatsu типу R1307, його роздільна здатність становить 6 %. Однією з головних технічних умов спектрометра є його маса, яка не повинна перевищувати 7,5 кг. Основні характеристики спектрометра наступні:

Базовий детектор .....	Амстрс
Розміри базового детектора, мм .....	$\text{Ø}63 \times 63$
Вага базового детектора, г .....	850
Кількість базових детекторів в системі, шт ...	5
Діапазон вимірювання енергій фотонного випромінювання, КеВ .....	0,5–3000
Діапазон вимірювання потужності еквівалентної дози (ПЕД), мкЗв/год .....	0,1–5000
Межа допустимої основної відносної похибки вимірювань ПЕД, % .....	20
Анізотропія чутливості блоку детектування (щодо поздовжньої осі), % .....	15
Габаритні розміри блоку детектування:	
діаметр, мм .....	300
довжина, мм .....	300
маса, кг .....	6,5

Структурна схема системи детектування наведена на рис. 2.

Параметри спектрометра, габарити і вага дозволяють встановити його на літальний апарат «октокоптер». Такий «детектор» дозволяє оператору в режимі реального часу керувати чутливістю блоку шляхом включення/виключення одного із детекторів. На обстежуваних ділянках з високою радіаційною активністю доцільно відключати один або декілька базових детекторів. І навпаки, якщо радіаційна активність майданчика низька, то шляхом підключення додаткових базових детекторів збільшується статистична достовірність проведеного вимірювання.

Система позиціонування (визначення координат) вимірювального комплексу побудована на основі датчика супутникової навігації GPS. Додаткову візуальну інформацію про досліджувану територію надає відеокамера, що входить в комплект обладнання та встановлюється на борту БПЛА. Дані з блоку детектування гамма-випромінювання, GPS-приймача і відеокамери записуються на MicroSD та передаються радіоканалом на наземну базову станцію.

Змонтований БПЛА містить:

- + базову станцію;
- + виносну антену;
- + комплект передавального обладнання;
- + персональний комп'ютер (ноутбук);
- + спектрометричне обладнання;
- + радіокерований БПЛА;
- + транспортний засіб.

#### Особливості радіаційного контролю з використанням БПЛА

Суть методу проведення аерогаммазйомки з БПЛА полягає в наступному: літальний апарат, обладнаний спектрометричною системою, пролітає над територією, яка обстежується галсами по маршрутах, прокладених в системі координат Гаусса-Крюгера (рис. 3). Сітка являє собою практично прямокутник з величиною кроку, достатньою для отримання заданої

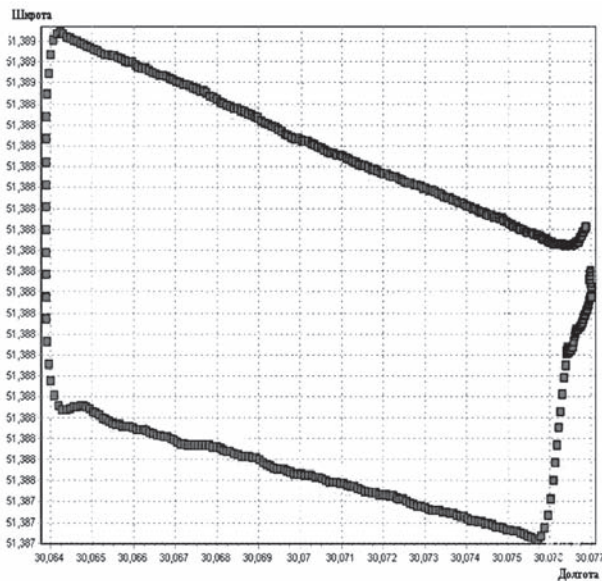


Рис. 3. Маршрут польоту системи

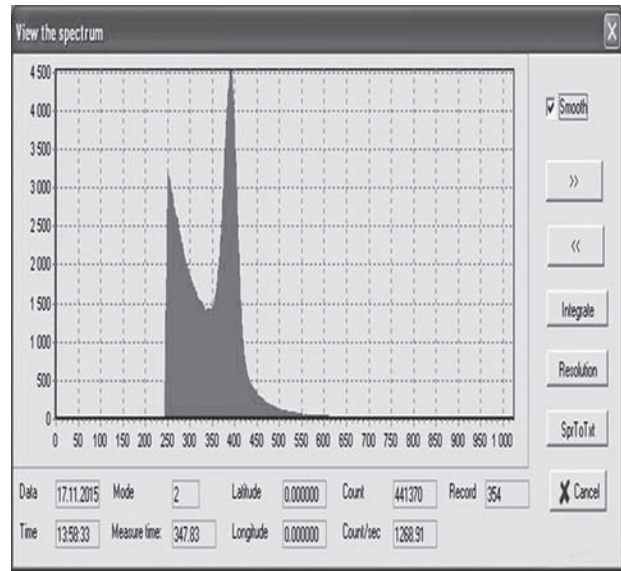


Рис. 4. Інтегральний спектр гамма-випромінювання

точності. Для отримання детальної карти забруднення території сітка в досліджуваному випадку є прямокутником із кроком по горизонталі 100 м. Швидкість БПЛА становить 10 м/с при висоті польоту 30 метрів. Інформація щомиті фіксується в спеціалізованому бортовому комп'ютері і передається на наземну станцію через канал зв'язку WiFi. У процесі польоту на екрані наземної станції в режимі реального часу відображаються наступні дані: координати літального апарату, отримані автоматично з блоку супутникової навігаційної системи GPS; спектральний склад радіоактивного забруднення, віднесений до реальних об'єктів; доза і потужність дози радіоактивного випромінювання.

Принцип дії бортової частини системи базується на виконанні наступних функцій:

- ✦ циклічні виміри (період 1 с) спектрів гамма-випромінювання радіонуклідів природного та техногенного походження, що містяться в ґрунті або на поверхні обстежуваних територій;
- ✦ узгодження в часі одержаних спектрів з визначеними топографічними координатами місця проведення вимірювань;

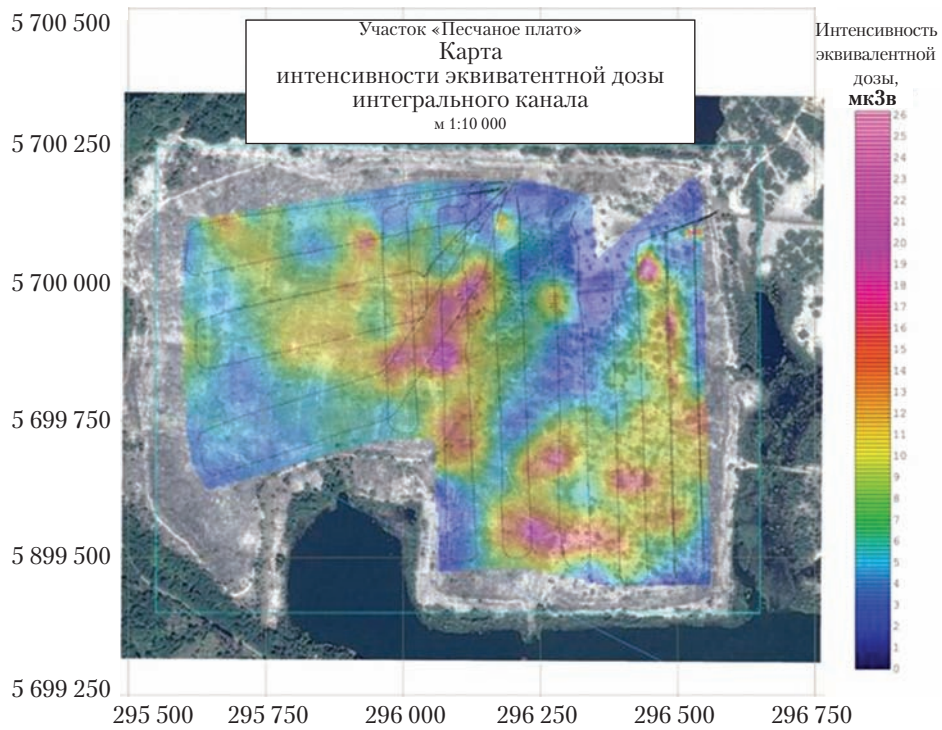
- ✦ узгодження в часі одержаних спектрів з визначеною висотою проведення вимірювань для врахування впливу ослаблення гамма-випромінювання в повітряному шарі при обробці отриманої інформації програмним забезпеченням наземної апаратури комплексу;
- ✦ формування та запис на MicroSD бортового комп'ютера файлу, що містить вимірювані дані;
- ✦ використання галсових файлів при відповідній обробці програмним забезпеченням наземної апаратури комплексу.

Зазначені функції є основними функціями комплексу, що забезпечують здійснення його основного призначення — формування масиву спектрів гамма-випромінювання із їх прив'язкою до місцевості та висоти польоту.

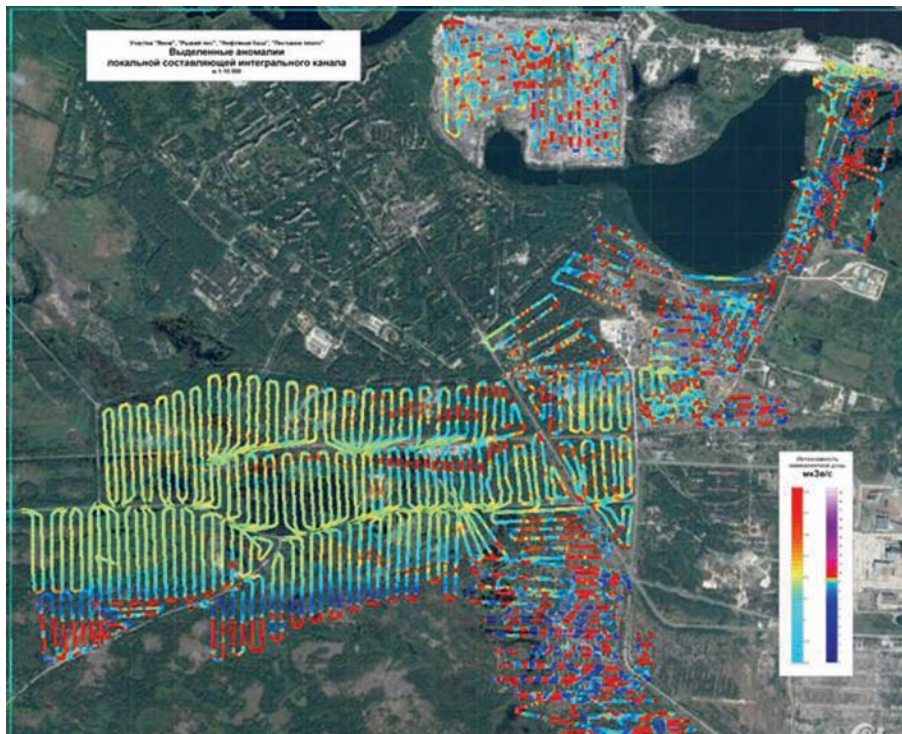
Для забезпечення виконання основних функцій існує низка допоміжних функцій:

- ✦ проведення телевізійної зйомки місцевості із записом відеоінформації на флеш-пам'ять MicroSD;
- ✦ здійснення функціонального самоконтролю апаратури в процесі функціонування.

Таким чином, після проведення дистанційних вимірювань з борту БПЛА на MicroSD



**Рис. 5.** Радиоактивні забруднення (місця захоронення радіоактивних речовин) на ділянці «Піщане плато» в зоні відчуження ЧАЕС



**Рис. 6.** Місця радіоактивного забруднення, виявлені уздовж маршруту прямування БПЛА

буде сформовано масив первинної вимірюваної інформації про активність радіонуклідів, що містяться в ґрунті або на поверхні обстеженої території з врахуванням висоти польоту (ослаблення радіоактивності в повітряному шарі) і топографічною прив'язкою до місцевості.

Первинна вимірювальна інформація являє собою 1024-канальні спектри гамма-випромінювання (рис. 4) в діапазоні енергій від 50 до 3000 КеВ.

Наземна апаратура системи після обробки масиву первинної вимірюваної інформації дозволяє [4]:

- ✦ створити двовимірну картину поля гамма-випромінювання із земної поверхні;
- ✦ виявляти точкові і протяжні неекрановані джерела гамма-випромінювання низької активності;
- ✦ ідентифікувати радіонуклідний склад джерела;
- ✦ проводити вимірювання поверхневої густини активності радіонуклідів (радіаційного післяаварійного сліду);
- ✦ визначати координати джерела випромінювання з точністю 1–10 м (залежно від швидкості і висоти польоту БПЛА).

Таким чином, багатофункціональність вимірювального комплексу на базі БПЛА дозволяє вирішувати широке коло завдань радіаційного контролю території.

Нижче наведено результати обробки аерогаммаспектрометричних даних, отриманих фахівцями відділу ядерно-фізичних технологій ДУ «ІГНС НАН України» (рис. 5–6). На рис. 5 показано двомірні поля радіоактивного забруднення ділянки «Піщане плато» зони відчуження Чорнобильської АЕС. Для обробки даних аерогаммазйомки використано програмне забезпечення ArcGIS компанії ESRI [5]. Для інтерполяції застосовано метод емпіричного байесовського кригінгу (Empirical Bayesian Kriging). На основі показника «число імпульсів в каналі Cs-137» отримано просторовий розподіл гамма випромінювання. На рис. 6 по-

казано виявлені радіоактивні забруднення вздовж маршрутів прямування БПЛА. Показано смугу забруднення шириною 20 м вздовж маршруту БПЛА без проведення інтерполяції.

## ВИСНОВКИ

Розроблена система «АСПЕК-О» дозволяє здійснювати дистанційні вимірювання потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання, визначати радіонуклідний склад радіаційного сліду і поверхневу щільність активності радіонуклідів на основі аналізу спектру гамма-випромінювання. Система аерогаммаспектрометрії на базі БПЛА дозволяє складати карти радіаційного забруднення з високою роздільною здатністю без необхідності наражати на небезпеку здоров'я людини.

Запропонована система є першою в Україні, яка виконує весь цикл робіт з виявлення локальних неоднорідностей на ґрунті, пошуку і виділенню радіоактивних джерел та визначення рівня таких забруднень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. IAEA-TECDOC-1092/R. Руководство по мониторингу при ядерных или радиационных авариях. Международное агентство по атомной энергии МАГАТЭ, Вена, январь 2002, 314 с.
2. Connor D., Martin P. G., Scott T. B. Airborne radiation mapping: overview and application of current and future aerial systems. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 37, Iss. 24. 2016.
3. Забулонов Ю.Л., Буртняк В.М., Золкин И.О. Аэрогаммаспектрометрическое обследование в Чернобыльской зоне отчуждения на базе БПЛА типа октокоптер. *Вопросы атомной науки и техники*. 2015. № 5(99): 163–167.
4. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Макарец Н.В. Результаты модельных и полевых экспериментов по выявлению низкоинтенсивных источников радиоактивного излучения. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці НАН України*. 2005. Вип. 31. 96–100.
5. ArcGIS for Desktop Software. URL: <http://www.esri.com/arcgis/about-arcgis>. (дата звернення: 07.04.17).

Стаття надійшла до редакції 31.01.17

REFERENCES

1. В IAEA-TECDOC-1092. Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency. International Atomic Energy Agency. Vienna. June 1999. 305 p.
2. Connor D., Martin P. G., Scott T. B. Airborne radiation mapping: overview and application of current and future aerial systems. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 37, Iss. 24. 2016.
3. Zabulonov Y.L., Burtnyak V.M., Zolkin I.O. Aerogamma-spectrometric survey in the Chernobyl exclusion zone on the basis of an octo-robot-type UAV. *Questions of Atomic Science and Technology*. 2015. 5(99): 163–167 [in Russian].
4. Lysychnenko G.V., Zabulonov Y.L., Makarets N.V. Results of model and field experiments on the detection of low-intensity sources of radioactive ionization. *Proceedings of the Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of NAS of Ukraine*. Kyiv, 2005. 96–100 [in Russian].
5. ArcGIS for Desktop Software. URL: <http://www.esri.com/arcgis/about-arcgis>. (Last accessed: 07.04.17).

Received 31.01.17

Zabulonov, Y.L., Burtnyak, V.M., and Odukalets, L.A.

Institute of Environmental Geochemistry,  
the NAS of Ukraine, 34a, Palladin Ave.,  
03680, Kyiv, Ukraine; e-mail: [igns@i.com.ua](mailto:igns@i.com.ua)

SYSTEM FOR EFFECTIVE REMOTE CONTROL  
AND MONITORING OF RADIATION SITUATION  
BASED ON UNMANNED AERIAL VEHICLE

The necessity to create a new technology based on the use of unmanned aerial vehicle (UAV) for controlling the

radiation situation in the areas exposed to radiation sources has been justified. The basic specifications of octo-robot and developed spectrometric complex have been given. The use of proposed facilities has been showed to enable detection of both spot and distributed sources of radioactive contamination under real conditions.

*Keywords:* nuclear accident, gamma radiation, UAV, spectrometer, radiation safety, and radiation monitoring.

Ю.Л. Забулонов, В.М. Буртняк, Л.А. Одукалец

ГУ «Институт геохимии окружающей среды  
НАН Украины», пр-т Палладина, 34а, Киев,  
03680, Украина, e-mail: [igns@i.com.ua](mailto:igns@i.com.ua)

СИСТЕМА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО  
ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ  
И НАБЛЮДЕНИЯ ЗА РАДИАЦИОННОЙ  
ОБСТАНОВКОЙ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНОГО  
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Обоснована необходимость создания новых технических средств для контроля за радиационной обстановкой на территориях радиационного влияния источников ионизирующего излучения на базе беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Приведены основные технические характеристики БПЛА типа октокоптера и разработанного спектрометрического комплекса для системы. Показано, что применение созданных средств дает возможность в реальных условиях дистанционно выявлять как точечные, так и распределенные источники радиоактивного загрязнения.

*Ключевые слова:* ядерно-радиационная авария, гамма-излучения, БПЛА, спектрометр, радиационная безопасность, радиационный мониторинг.