



ПОПОВ

Михайло Олексійович – доктор технічних наук, професор, директор Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України

ПРО СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ПРИ ВИРІШЕННІ АКТУАЛЬНИХ ПРОБЛЕМ РЕАЛЬНОГО СЕКТОРУ ЕКОНОМІКИ ТА ОБОРОНИ

За матеріалами наукової доповіді на засіданні
Президії НАН України 9 листопада 2016 року

У доповіді розглянуто проблему трансферу методів і технологій дистанційного зондування Землі в реальний сектор економіки і оборони. Наведено приклади ефективного використання методів і технологій дистанційного зондування Землі для виконання таких актуальних завдань, як збереження екосистем, стійкість у надзвичайних ситуаціях, розвиток урбанізованих територій та ін. Обговорено деякі аспекти, пов'язані із застосуванням дистанційних аерокосмічних систем і технологій подвійного призначення. Окреслено шляхи подальшого розвитку дистанційних аерокосмічних досліджень в Україні.

Ключові слова: дистанційне зондування, багатоспектральне зображення, сталий розвиток, біорізноманіття, екосистема, стійкість до надзвичайних ситуацій.

Рушійною силою прогресу в промисловості і техніці є принципово нові ідеї та наукові відкриття, проте, як свідчить загальносвітова практика, цей процес зазвичай супроводжується негативним впливом на довкілля і збільшенням обсягів природоресурсних витрат. Споживання природних ресурсів досягло дуже високого рівня; достатньо сказати, що за останні 20–30 років навантаження на природне середовище збільшилося вдвічі [1]. Така тенденція створює серйозні проблеми в забезпеченні продовольчої та енергетичної безпеки, підтриманні кліматичних умов, необхідних для беззагрозливого існування високоорганізованої живої матерії, збереження біологічного різноманіття тощо. Зазначені проблеми мають глобальний характер і під-

вищену динаміку росту, тому для адекватного реагування на них потрібні дедалі більш ефективні засоби контролю за станом природного середовища, спостереження за небезпечними процесами та явищами, прогнозування надзвичайних ситуацій і оцінювання негативних наслідків їх проявів.

У цьому контексті дуже перспективним є підхід, оснований на дистанційному зондуванні Землі (ДЗЗ) за допомогою видових технічних засобів, які розміщуються на борту повітряного або космічного літального апарата [2, 3]. Методи і засоби аерокосмічного ДЗЗ дозволяють здійснювати моніторинг стану довкілля в масштабах усієї земної кулі (у тому числі на важкодоступних територіях), забезпечувати оперативний аналіз ситуації і надавати об'єктивну і досить повну інформацію користувачам — фізичним особам, державним структурам, приватним компаніям [4].

Реальні і потенційні можливості аерокосмічних засобів ДЗЗ, теоретико-прикладні аспекти застосування дистанційних методів при вирішенні актуальних тематичних завдань є предметом досліджень наукових колективів у різних країнах світу, в тому числі в Україні. Так, у Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України (ЦАКДЗ) упродовж 25 останніх років виконуються роботи, спрямовані:

- на удосконалення теоретико-методичних основ аерокосмічного моніторингу, створення і дослідження фізико-математичних моделей генерування, відбиття та розсіювання електромагнітного випромінювання земними утвореннями та антропогенними об'єктами;

- розроблення методів і технологій аерокосмічного моніторингу екологічного стану довкілля, дистанційного вирішення природо-ресурсних завдань, спостереження за глобальними змінами у геосфері;

- розроблення методів і технологій аерокосмічного агромоніторингу з оцінюванням стану сільськогосподарських культур та прогнозуванням врожайності, дистанційного спостереження за поновлюваними природними ресурсами;

- обґрунтування вимог до технічних засобів ДЗЗ, розроблення методів калібрування бортових сенсорів та валідації супутникових даних і технологій;

- створення вітчизняної нормативно-понятійної бази ДЗЗ з гармонізацією її до відповідних міжнародних норм і стандартів.

Крім того, дослідження з окремих напрямів ДЗЗ тривалий час проводяться в Інституті космічних досліджень НАН України і ДКА України (ІКД) (створення інформаційних сервісів та розподілених систем для оброблення супутникових даних); у Державному науково-виробничому центрі «Природа» (оброблення, архівування та розповсюдження матеріалів космічної зйомки; впровадження дистанційних методів у природокористування та моніторинг навколишнього середовища; створення цифрових тематичних карт на основі ГІС/ДЗЗ-технологій тощо); в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (охорона навколишнього природного середовища та раціональне природокористування), а також у деяких вищих навчальних закладах України.

У минулі роки зусиллями вітчизняних фахівців успішно вирішено багато важливих проблем у галузі ДЗЗ, розроблено нові ефективні дистанційні технології, які успішно використовуються в промисловості, сільському і лісовому господарстві, житлово-комунальному секторі, при пошуках корисних копалин, причому не лише в Україні, а й в інших державах. Проте кількість глобальних, регіональних та локальних проблем (посухи, забруднення водойм, зміни клімату, повені, нестача питної води і продовольства тощо) у світі не зменшується, і ці проблеми потребують нових технологічних ДЗЗ-рішень.

У цій доповіді я ставив собі за мету стисло висвітлити можливості ДЗЗ як міждисциплінарного прикладного науково-технічного напрямку і на конкретних розробках показати роль ДЗЗ-технологій як перспективного інструменту ефективного вирішення наукових завдань, актуальних проблем реального сектору економіки та оборони.

Дистанційне зондування Землі як технологія

Дистанційне зондування Землі визначається як наука і технологія отримання, оброблення та аналізу зображень, одержуваних за допомогою різноманітних сенсорів з борту повітряного або космічного літального апарата із залученням необхідних додаткових даних про Землю та інші планети [3].

Проте слід зазначити, що формування ДЗЗ як самостійного наукового напрямку далеко ще не завершено. І хоча монографій з ДЗЗ написано доволі багато, є ще ціла низка теоретико-методичних питань, які потребують розв'язання. Як фундамент при створенні науково-теоретичних засад ДЗЗ використовують фактографічний матеріал природничих наук (про Землю, атмосферу, космічний простір), досягнення фізико-математичних і технічних наук в оптиці, радіолокації, фотограмметрії, теорії сигналів, геоінформатиці тощо (рис. 1).



Рис. 1. Фундаментальні основи та складові ДЗЗ

Застосування експериментальних даних і методів природничих наук сприяє кращому розумінню процесів взаємодії електромагнітного випромінювання і геопросторових об'єктів, поглибленому вивченню властивостей атмосфери, що дозволяє будувати все більш адекватні кількісні моделі процесів, виділяти чинники, які є індикаторами — провісниками небезпечних явищ і процесів у геосфері, виявляти ознаки залягання покладів корисних копалин, вивчати вплив змін клімату на фенологію рослин тощо.

За допомогою інструментарію фізико-математичних і технічних наук у ДЗЗ розробляються методи аналізу і синтезу аерокосмічних систем, побудови моделей і зразків бортових сенсорів, що формують зображення, оцінювання якості корисного сигналу, створення способів і алгоритмів оброблення даних тощо. Завдяки успішному вирішенню зазначених питань провідні країни світу і компанії-розробники пропонують сьогодні на міжнародному ринку космічних продуктів та послуг системи ДЗЗ з параметрами, близькими до теоретичних границь просторового і спектрального розрізнення, масо-габаритних параметрів, точності позиціонування та визначення координат. Активно впроваджуються нові методи автоматизації оброблення великих обсягів супутникових даних, виявлення змін у сценах за їх зображеннями, візуалізації багатовимірних даних.

Починаючи з 2005 р. роботи і дослідження з ДЗЗ у провідних країнах координуються в рамках програми Global Earth Observation System of Systems (GEOSS), прийнятої за ініціативою Єврокомісії. Метою програми GEOSS проголошено суттєве поповнення і уточнення на кількісному рівні знання про нашу планету, погоду, клімат, океани, атмосферу, природні ресурси, екосистеми та ін. [5].

Стратегічний план GEOSS на 2016–2025 роки (GEO Strategic Plan 2016-2025) [6] націлює країни — учасниці програми на розроблення систем і технологій ДЗЗ, імплементація яких сприятиме вирішенню найважливіших глобальних проблем, з якими сьогодні стикається людство, а саме:

- біорізноманіття і збереження екосистем;
- стійкість у надзвичайних ситуаціях;
- енергоресурси та корисні копалини;
- продовольча безпека та розвиток сільсько-го господарства;
- управління інфраструктурою та транспортом;
- моніторинг здоров'я населення;
- розвиток урбанізованих територій;
- водні ресурси [6].

Стратегія GEOSS полягає у вільному, відкритому, максимально оперативному розповсюдженні даних, продуктів, сервісів і знань, одержуваних у результаті супутникових спостережень Землі. За допомогою інформаційного об'єднання систем аерокосмічного спостереження Землі, створених у країнах-учасниках, передбачено побудувати загальносвітову інфраструктуру GEOSS, яка функціонуватиме на основі узгоджених стандартів і принципів інтегрованості [6].

Дослідження в галузі ДЗЗ, які здійснюються в Україні в інтересах різних вітчизняних користувачів, відповідають цілям і завданням програми GEOSS, а тому свого часу Державне космічне агентство України (ДКАУ) і НАН України прийняли спільне рішення про створення інформаційної системи «GEO-Ukraine», яка в перспективі могла б увійти до глобальної системи GEOSS. Головне призначення «GEO-Ukraine» — забезпечення користувачів (органів державного управління, міністерств та відомств, установ НАН України, приватних компаній) інформаційними продуктами, необхідними для прийняття рішень, що стосуються національної безпеки і оборони, економіки, бізнесу.

Важливу організаційну роль у започаткуванні системи «GEO-Ukraine» відіграв ІКД; методичне і технологічне наповнення здійснюють спеціалізовані академічні і відомчі установи, серед яких ЦАКДЗ, ІКД, Державний центр «Природа», Державне підприємство «Дніпрокосмос» та ін. Кожна установа має свої досягнення в галузі ДЗЗ, однак через обмеженість обсягу статті при висвітленні можливостей ДЗЗ я зупинюся переважно на роботах, виконаних у ЦАКДЗ.

Застосування ДЗЗ-технологій при вирішенні актуальних проблем реального сектору економіки

Біорізноманіття і збереження екосистем.

Біологічне різноманіття є однією з основних характеристик, що визначають стан надорганізмівих біосистем та зумовлюють функціонування екосистем і біосфери в цілому. Об'єктами досліджень є ландшафти, рослинні угруповання, різні таксономічні групи тварин та ін.

Традиційно дослідження біологічного різноманіття територій проводилося методом *in situ*, однак в останні два десятиліття все більше стали застосовувати дистанційні методи. Зокрема, це пов'язано з тим, що в дослідженнях все частіше використовують моделі, які враховують взаємозв'язки як між окремими компонентами біорізноманіття, так і з навколишнім природним середовищем. Методи ДЗЗ для оцінювання біорізноманіття мають перевагу у випадках, коли потрібно дослідити великі за площею або важкодоступні території, забезпечити оперативність і постійне оновлення інформації, впорядковувати й обробити величезні масиви накопиченої інформації.

З огляду на це, актуальним є розроблення методик і технологій кількісного оцінювання та картування біорізноманіття з використанням даних ДЗЗ. У ЦАКДЗ на основі екосистемного підходу розроблено таку методику [7]. Загальна схема залучення багатоспектральних даних ДЗЗ до оцінювання біорізноманіття поєднує встановлення та оцінювання відповідних факторів середовища шляхом прямого та опосередкованого визначення за матеріалами космічної зйомки їх кількісних показників, а також створення за багатоспектральними зображеннями просторової основи для оцінювання видового багатства (рис. 2).

До чинників середовища, які впливають на біорізноманіття і які можна визначити за матеріалами ДЗЗ, належать абіотичні фактори (температура, світло, вологість, рельєф), а також рослинний покрив. Ці фактори кількісно оцінюються за такими показниками, як

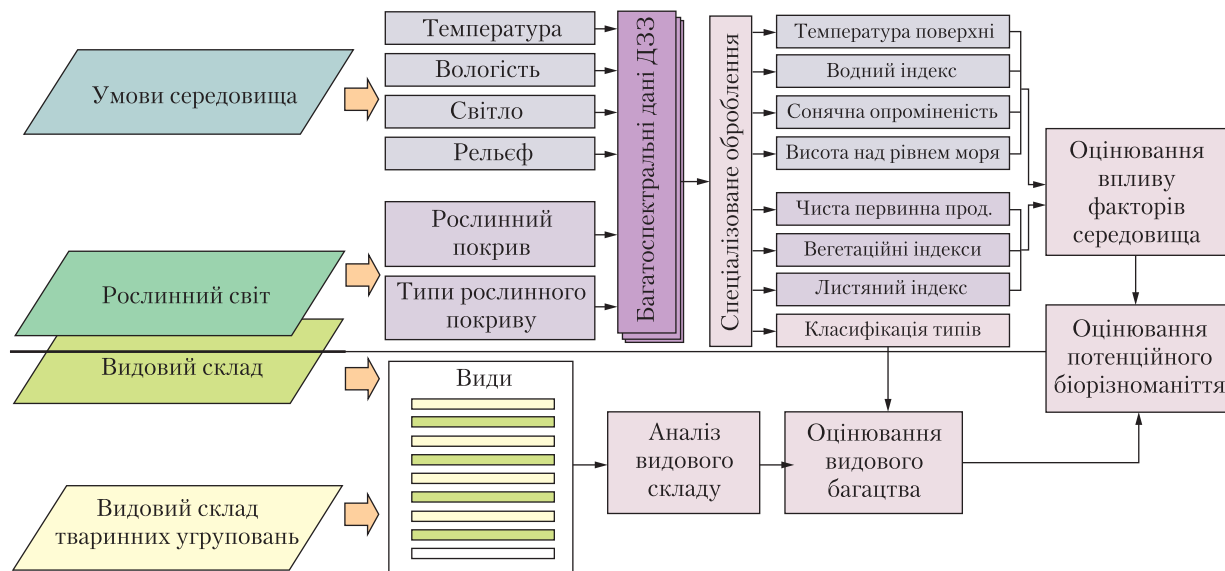


Рис. 2. Схема залучення даних ДЗЗ до оцінювання біорізноманіття на основі екосистемного підходу

Таблиця 1. Коефіцієнти кореляції між варіаціями температури земної поверхні і параметрами, що характеризують природні процеси

	T_{VAR}	N_T	NDVI	EVI	A	d_E	N_{aF}
T_{VAR}	1,0	0,72	0,66	0,82	0,89	0,0067	0,0511
N_T	0,72	1,0	0,9	0,91	0,82	0,0005	0,0115
NDVI	0,66	0,9	1,0	0,84	0,75	0,0009	0,0135
EVI	0,82	0,91	0,84	1,0	0,91	0,0025	0,026
A	0,89	0,82	0,75	0,91	1,0	0,005	0,031
d_E	0,0067	0,0005	0,0009	0,0025	0,005	1,0	0,51
N_{aF}	0,0511	0,0115	0,0135	0,026	0,031	0,51	1,0

середньодобова температура, середньодобова опромінюваність, середньодобова вологість ґрунту (або нормалізований водний індекс NWI), висота над рівнем моря, вегетаційні індекси NDVI, SAVI (або EVI), листяний індекс LAI, первинна продуктивність NPP.

Розроблену методику реалізовано у вигляді web-сервіса, який створено спільно вченими ЦАКДЗ і ІКД на основі принципів GEOSS з використанням відкритого програмного забезпечення, зокрема UMN MapServer та Cartoweb [8]. Для моніторингу біорізноманіття викорис-

тують стандарт OpenGIS Web Map Service 1.1.1 та WebCoverageService 1.0 interface. Web-сервіс доступний за адресою <http://biodiv.ikd.kiev.ua> і зареєстрований на порталі GEOSS Registry Publication Portal.

Стійкість у надзвичайних ситуаціях.

Кількість надзвичайних ситуацій природного характеру різних типів, як у середньому у світі, так і в окремих регіонах, давно і постійно зростає. Як зазначено в [1], середня ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру будь-якого типу за рік у перерахун-

ку на одиницю площі зросла за останні 60 років удвічі, а за останні 20 років — приблизно на 60%. Унаслідок цього вдвічі збільшилися середні світові збитки, при цьому на 70% — за останні 20 років. В Україні за останні два десятиліття збитки зросли приблизно на 68%, а загалом за період спостережень у 2,1 рази [9].

Отже, інтенсивність і вплив надзвичайних ситуацій зростають, і ця загальносвітова тенденція відображується також і на території України. Зафіксовані тенденції збільшення частоти та інтенсивності надзвичайних ситуацій пов'язані з впливом кліматичних та екологічних змін на глобальному і регіональному рівнях [1].

В. Лялько і Ю. Костюченко експериментально і в модельних дослідженнях визначили зв'язки між імовірностями, інтенсивністю і масштабами природних лих з одного боку і параметрами земної поверхні — з іншого [4].

За допомогою аналізу великих масивів супутникових зображень і статистичних даних про природні лиха було складено табл. 1, яка відображує кореляційні зв'язки між варіаціями температури земної поверхні (T_{VAR}), кількістю лих (N_T), вегетаційними індексами EVI та NDVI, альбедо (A), сумарними щорічними втратами (d_E) і кількістю постраждалих за рік (N_{aF}).

Зазначені параметри можуть бути індикаторами при оцінюванні ймовірностей виникнення та параметрів природних лих і катастроф. Крім того, аналіз даних табл. 1 свідчить, що ймовірності виникнення і масштаби природних лих залежать і навіть можуть керуватися через інтенсивність процесів газообміну в природі.

У роботі [9] було розраховано, як можуть найбільш очікувано змінюватися в Україні кліматичні показники — температура і кількість опадів, за умов середніх значень викидів парникових газів на період до 2050 р. (рис. 3). Результати розрахунків дали змогу оцінити ризики виникнення на території України природних лих, як короткострокових, так і довгострокових [10]. Зокрема, на рис. 4 наведено розподіли прогнозних показників ризиків займання і пожеж.

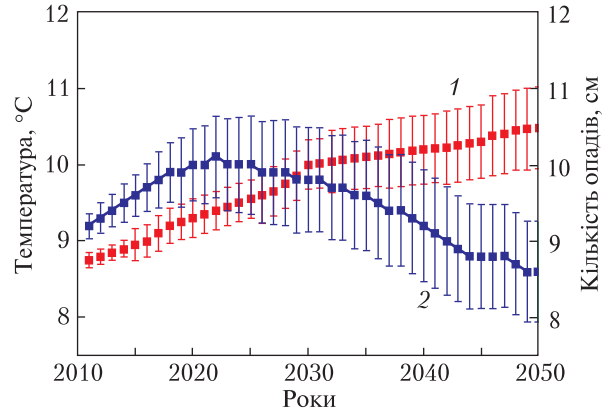


Рис. 3. Очікувана динаміка змін температури (1) і кількості опадів (2) в Україні на період до 2050 р.

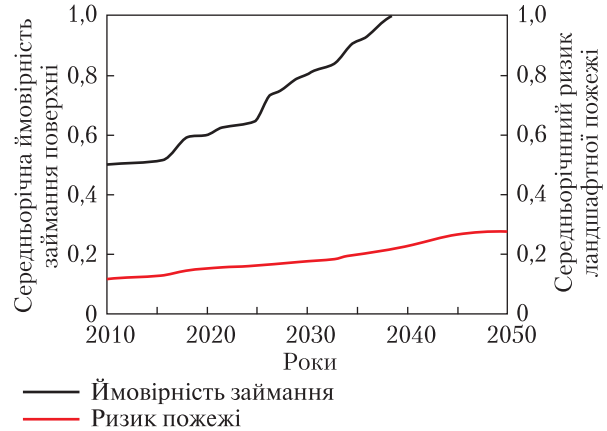


Рис. 4. Розподіл прогнозних показників ризиків займання і пожеж (1000 км²/рік)

Результати проведених досліджень свідчать про ефективність застосування ДЗЗ-технологій для кількісного оцінювання і прогнозування просторово-часових розподілів показників ризиків виникнення різних природних лих, у тому числі з урахуванням впливу кліматичних процесів.

Енергоресурси та корисні копалини. Співвідношення між сумарним рівнем споживання нафти і газу у світі і загальним обсягом їх видобутку зумовлює актуальність пошуку нових покладів вуглеводнів. Однак час відкриття «простих» з геологічного погляду родовищ минає. Сьогодні пошук і розвідку нових покладів

найчастіше доводиться вести у важкодоступних і маловивчених географічних районах, на досить великих глибинах. Це спричинює істотне здорожчання і суттєве збільшення термінів проведення робіт.

Одним із перспективних напрямів є пошук нафтогазоперспективних територій із застосуванням ДЗЗ-технологій. У ЦАКДЗ запропоновано підхід [11], при якому рішення про можливість наявності вуглеводнів на досліджуваній ділянці приймається на основі комплексного аналізу інформації, одержаної геологічними, геофізичними, аерокосмічними та іншими методами. В основу цього підходу покладено такі принципи:

- передбачається існування генетичного зв'язку покладів вуглеводнів з елементами ландшафту;
- вихідною для аналізу і пріоритетною при прийнятті рішення вважається геотектонічна (розломно-блокова) інформація;
- ретроспективний аналіз досліджуваної території на основі аерокосмічних багатоспектральних зображень різного просторового розрізнення;
- регіональна адаптація технології.

Модель формування аномалій оптичного поля над покладами вуглеводнів, що враховує генетичний зв'язок покладу з елементами ландшафту, наведено на рис. 5. Тут жирні стрілки відображують безпосередній вплив покладів вуглеводнів та інших компонентів середовища на фізико-хімічні властивості ґрунтів і рослинності. Тонкі і штрихові стрілки позначають опосередкований вплив, який приводить до певної трансформації властивостей середовища над покладами вуглеводнів. Аналіз закономірностей, які проявляються в наявності нафтидогенних процесів над покладами вуглеводнів, представлено в [4].

Пропонованою ДЗЗ-технологією передбачено такі основні етапи робіт:

- фотометрування матеріалів аерокосмічної зйомки у видимому і ближньому інфрачервоному діапазонах електромагнітного спектра, з подальшим логіко-статистичним обробленням їх результатів;

- польові роботи на об'єкті дослідження (фотометрування зразків рослинності і ґрунтів, магнітометричні, педометричні і літогеохімічні дослідження);

- прийняття рішення про виявлення / відсутність покладу.

Як кінцевий інформаційний продукт видаються картосхеми з виділеними аномальними ділянками над покладами вуглеводнів.

Запропоновану технологію пошуку покладів вуглеводнів захищено патентами України, вона пройшла апробацію в різних геологічних і ландшафтних умовах. За її допомогою було вирішено такі нафтогазоперспективні завдання:

- ранжування за критерієм продуктивності нафтогазоперспективних об'єктів, підготовлених раніше з використанням різних геологічних і геофізичних методів;
- уточнення зовнішнього контуру нафтогазоносності, особливо для покладів вуглеводнів, що характеризуються гетерогенною будовою природних резервуарів: тектонічні блоки, літофаціальні зміни та ін.;

- оперативне оцінювання нафтогазоперспективних маловивчених площ на етапі, що передує їх введенню в пошукове буріння.

ДЗЗ-технологію від моменту її створення на початку 90-х років і дотепер було використано на 146 нафтогазоперспективних об'єктах, 76 з яких перевірено бурінням. У різних геологічних і ландшафтних умовах підтверджувалась прогнозована станова від 76 до 82%. Пошукові об'єкти — поклади вуглеводнів — розташовувалися на глибинах від 1500 до 5000 м.

Продовольча безпека та розвиток сільськогосподарства. З ростом чисельності населення у світі зростає глобальний попит на продовольство, воду і енергію. Наприклад, за прогнозами Міжнародної організації з продовольства ФАО, до 2050 р. попит на продовольство збільшиться на 60% порівняно з 2005 р. Тому питання продовольчої безпеки, впровадження нових ефективних технологій управління сільським господарством є дуже актуальними. ДЗЗ-технології дозволяють оперативно і з мінімальними витратами вирішувати такі проблеми, як визначення площ посівів,

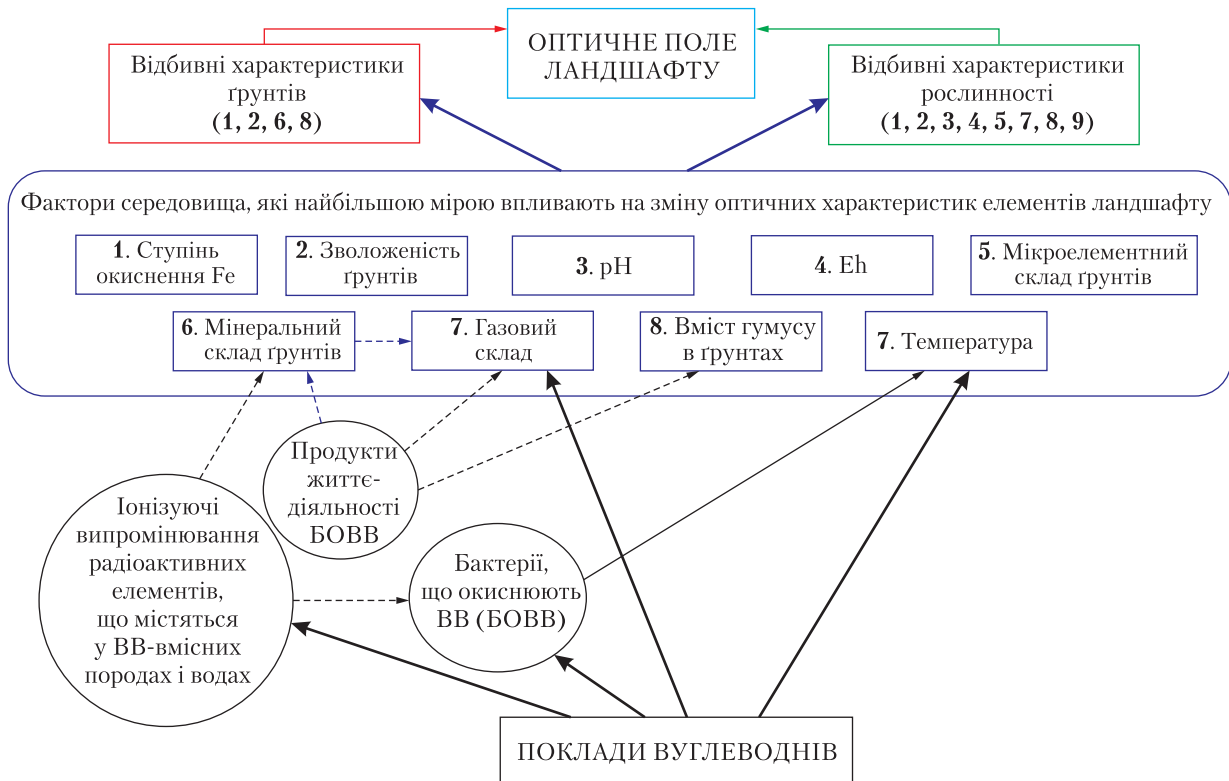


Рис. 5. Модель формування аномалій оптичного поля над покладами вуглеводнів

оцінка поточного стану сільськогосподарських культур, прогнозування врожайності.

У ЦАКДЗ за 25 років напрацьовано основні напрями і підходи до застосування дистанційних аерокосмічних методів при вирішенні зазначених проблем [12, 13]. Так, було розроблено методіку прогнозування врожайності озимих зернових культур, яка ґрунтується на аналізі динаміки змін спектральних характеристик рослин протягом вегетаційного періоду за допомогою багатоспектральних космічних знімків різного просторового розрізнення (Landsat, SPOT, MODIS, RapidEye). Методику використовують господарства Київської та кількох інших областей України.

Одними з ефективних індикаторів агровиробництва та екологічного стану територій для безпечного використання продовольчих і водних ресурсів є показники валової первинної продуктивності (GPP) та чистої первинної продуктивності (NPP) рослинного покриву.

З метою опрацювання цього питання у ЦАКДЗ проводяться дистанційні дослідження динаміки та загальної суми поглинання вуглецю в межах різних класів рослинного покриву, зокрема посівів основних сільськогосподарських культур в областях України [14]. Джерело супутникових даних — знімки продукту MOD17 (проект MODIS). За результатами досліджень обчислено середньорічні показники валової первинної продуктивності для всіх адміністративних областей території України та Криму, які свідчать, що впродовж 11 років значення GPP на території України коливаються в діапазоні від 0,487 кг С/м² у Запоріжжі (2007) до 1,25 кг С/м² на Закарпатті (2001).

Управління інфраструктурою. ДЗЗ-технології дозволяють отримувати дані, необхідні для управління містом або регіоном. Зокрема, дистанційний моніторинг інфраструктури міста допомагає виявити ряд екологічних проблем, що виникають унаслідок зміни ландшафтно-

функціональної структури міста. Об'єднаний аналіз даних ДДЗ і наземних спостережень сприяє визначенню екологічно напружених чи відносно комфортних для проживання населення районів міської агломерації.

Таблиця 2. Абсолютний приріст середньої денної температури ΔT на територіях різних районів Києва в липні-серпні 1985–2014 рр. за матеріалами багаторічних зйомок супутниками серії Landsat

Адміністративні одиниці	1985	2014	ΔT °C, 1985–2014
Приміська зона	28,3	29,3	+1,0
м. Київ (в межах міста)	27,3	30,3	+3,0
Райони:			
Дарницький	27,3	30,3	+3,0
Деснянський	26,9	29,2	+2,3
Дніпровський	28,0	30,9	+2,9
Голосіївський	27,1	29,4	+2,3
Оболонський	26,6	29,5	+2,9
Печерський	28,3	32,2	+3,9
Подільський	28,1	32,2	+4,1
Святошинський	26,7	30,0	+3,3
Солом'янський	29,6	34,3	+4,7
Шевченківський	29,1	34,0	+4,9

Таблиця 3. Зміна ландшафтно-функціональних територій окремих районів м. Києва за період 1985–2012 рр. (S_0 – загальна площа району, км²; $S_{пр}$ – площа території природно-рекреаційного значення, км²; $S_{заб}$ – площі під забудовою та об'єктами інфраструктури, км²)

Території	1985	2012	Зміна території	
			ΔS	%
<i>Шевченківський ($S_0 = 26,50$)</i>				
$S_{пр}$	19,46	16,38	-3,08	-11,64
$S_{заб}$	7,01	10,10	+3,09	+11,66
<i>Солом'янський ($S_0 = 43,23$)</i>				
$S_{пр}$	31,55	29,46	-2,09	-4,83
$S_{заб}$	11,64	13,73	+2,09	+4,83
<i>Голосіївський ($S_0 = 156,67$)</i>				
$S_{пр}$	30,64	26,70	-3,94	-2,51
$S_{заб}$	125,89	129,18	+3,29	+2,10

За результатами моніторингових досліджень, виконаних ЦАКДЗ у 1985–2016 рр., встановлено значне зменшення кількості зелених насаджень та ущільнення забудови центральних частин міста Києва, що призвело до погіршення еколого-мікрокліматичних характеристик природного середовища. За матеріалами багаторічних зйомок супутниками серії Landsat було виявлено негативні зміни середньої денної температури у різних районах Києва в липні-серпні 1985–2014 рр.

Дані, наведені в табл. 2, свідчать, що найбільший приріст поверхневої температури (+3,9–+4,9 °C) спостерігається в центральних (Шевченківський, Солом'янський, Подільський, Печерський) районах, де в останні 20 років бурхливо розвивалося офісно-житлове будівництво та скорочувалися й «ущільнювалися» зелені зони.

Найменший приріст температур (+2,3 °C) зафіксовано в Голосіївському та Деснянському районах, де на значних площах розташовуються лісопаркові і рекреаційні масиви. Однак навіть у цих районах спостерігається приріст середньорічних літніх температур на рівні 0,015 °C/рік. Детальне вивчення супутникових даних показало, що це пов'язано з активною вирубкою лісів у північно-західній частині лісопаркової зони (Оболонський район), що спричинює підвищення температури поверхні з оголеним ґрунтом або трав'янистим покривом порівняно з температурою крон дерев.

Для аналізу впливу містобудівної діяльності на розподіл прогріву поверхні міста досліджено щільність забудови в окремих «гарячих» районах міста порівняно з відносно «прохолодними» територіями. Кількісні характеристики було отримано в результаті статистичного аналізу класифікованих космічних даних від супутників «Ресурс-Ф1» (1985) та «Січ-2» (2012) з просторовою розрізненістю 8 м.

Так, за цей період у Шевченківському районі території природно-рекреаційного значення скоротилися на 11,6% (відносно площі району), у Солом'янському – на 4,8%, а в найменш прогрітому Голосіївському районі – лише на 2,5% (табл. 3).

Ущільнення міської забудови і скорочення зелених зон в історичній частині Києва призводить до зростання поверхневої температури антропогенних об'єктів, що, своєю чергою, зумовлює їх фізичне вивітрювання і поступове руйнування. З інтенсивним будівництвом пов'язане і так зване «запечаткування» ґрунтів бетонним і асфальтовим покриттям, що порушує природну циркуляцію ґрунтових і поверхневих вод, випаровування і вологообмін.

Забруднення довкілля і здоров'я населення. Забруднення довкілля має багато джерел, серед яких — виробнича діяльність промислових об'єктів, техногенні аварії і катастрофи, природні лиха.

Поява гіперспектральних аерокосмічних сенсорів уможливила кількісне дистанційне оцінювання рівня забрудненості територій, і в ЦАКДЗ було створено методику оцінювання техногенного забруднення міських територій, основу на комплексному спільному аналізі матеріалів гіперспектральної аерокосмічної зйомки і наземних геохімічних вимірювань [15]. З використанням цієї методики і гіперспектральних зображень, отриманих сенсором Nuregion, складено карту техногенного навантаження центральної частини Києва.

У березні 2011 р. Японія пережила жахливу аварію на АЕС «Фукусіма-1», радіаційного зараження зазнали населення, вода, повітря, ґрунти, рослинність. Влада Японії зробила запит у МАГАТЕ щодо підтримки у сфері екологічного моніторингу та дослідження впливу радіації на флору, фауну і здоров'я людей. Україна стала однією з тих країн, що змогли надати таку допомогу. Методи, напрацьовані в ЦАКДЗ раніше, при вивченні наслідків катастрофи на ЧАЕС, використали тепер для досліджень на «Фукусіма-1». Було побудовано адекватні моделі гідрологічних процесів, розроблено необхідні алгоритми і програмне забезпечення [16]. Спільно з ученими Токійського університету аналітичний інструментарій було адаптовано для базових типів біомів, побудовано оцінки ймовірності виникнення та поширення пожеж, складено карту ризику

вторинної емісії радіонуклідів внаслідок природної пожежі в районі АЕС.

Розвиток урбанізованих територій — це процес, який зазвичай супроводжується порушенням стійкості природних ландшафтів і посиленням техногенного навантаження на геологічне середовище. У свою чергу, техногенне навантаження породжує зміни теплового поля міста, що негативно впливає на соціально-економічні аспекти, насамперед здоров'я населення.

Тому в ЦАКДЗ в останні роки було проведено низку досліджень з метою визначення реакції теплового поля міста на техногенне навантаження. Результатами досліджень багаторічних рядів космічних даних у видимому і тепловому діапазонах, отриманих з космічних апаратів серії Landsat, стало зонування території міста Києва за ступенем теплового навантаження, а також формування рекомендацій щодо зменшення впливу теплового навантаження на довкілля та населення завдяки оптимізації містобудування.

Було складено карту зонування території Києва за ступенем теплового навантаження. До першої зони увійшли об'єкти з максимальними значеннями теплового випромінювання (великі промислові об'єкти, райони з щільною міською забудовою, території, на яких практично немає зелених насаджень). Екологічний стан цієї зони за тепловим навантаженням є вкрай незадовільним. У цій зоні необхідно приділяти пильну увагу розвитку зелених насаджень, припинити будівництво нових житлових масивів, великих торгових та промислових споруд тощо. До другої зони потрапили масиви житлової забудови із середнім рівнем зелених насаджень, екологічний стан їх незадовільний, а рекомендації аналогічні першій зоні. До третьої зони належать переважно житлові масиви з високим рівнем озеленення території, їх екологічний стан задовільний, і головним завданням є його збереження та розвиток зелених зон. Четверта зона, по суті, «легені» Києва, охоплює паркові та лісопаркові території, їх екологічний стан добрий, і ці території потрібно захищати від щонаймен-

шого антропогенного втручання та розвивати як рекреаційну зону. До п'ятої зони увійшли основні водні об'єкти Києва, русла Дніпра та його приток. Важливість цієї території важко переоцінити. Вона є не лише джерелом питної води, а й своєрідним кондиціонером, що влітку охолоджує, а в холодну пору року підігриває прилеглі райони.

Проведене зонування міської території надає додаткову інформацію муніципальній владі при прийнятті управлінських рішень щодо сталого розвитку міста.

Водні ресурси. Оцінювання стану водних екосистем в умовах техногенезу є основною проблемою раціонального використання водних ресурсів, охорони і відновлення їх природного стану. Так, екологічне оздоровлення басейну р. Дніпро стало одним із пріоритетних напрямів природоохоронної діяльності уряду, адже водні ресурси Дніпра становлять 80% водних ресурсів України, забезпечуючи водою понад 32 млн людей та 2/3 господарського потенціалу країни.

Головним завданням міжнародної програми спостереження за кліматом Global Climate Observing System (GCOS) є забезпечення необхідними методиками і комп'ютерними програмами для виявлення ресурсів води високої якості; змін у гідробіологічному різноманітті; аналізу ступеня загрози водним екосистемам тощо. Отже, комплексне застосування аерокосмічних і наземних досліджень у поєднанні з інтерпретацією результатів на основі методів системного аналізу становить значний інтерес, оскільки дозволяє вирішувати численні питання щодо моніторингу водних екосистем [17].

У ЦАКДЗ в останні роки значна увага приділяється розвитку мультидисциплінарного підходу при оцінюванні стану водних екосистем на основі методів системного аналізу, результатів ДЗЗ та наземних досліджень з використанням знань із суміжних наукових дисциплін: екології, гідробіології, гідрології, гідрохімії, геології та гідромеліорації [18]. Розроблено й обґрунтовано основи інтеграції теоретичних положень, методів і моделей, інформаційних матеріалів та експериментальних даних з різ-

них наукових дисциплін на основі методів системного аналізу.

Уже накопичено певний досвід реалізації такого підходу в дослідженнях Київського водосховища, понизових ділянок Дніпра, озера Світязь, території дослідного господарства «Асканійське» Асканійської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту зрощуваного землеробства. Цей досвід зараз поширюється на деякі інші водогосподарські об'єкти України.

ДЗЗ-технології подвійного призначення

Крім проблем суто цивільного характеру, системи і технології ДЗЗ широко використовуються у світі для вирішення завдань національної безпеки і оборони. Так, щороку значну частину матеріалів зйомки земної поверхні, яку здійснюють комерційні космічні апарати американських компаній-операторів, закупав Національне агентство геопросторової розвідки США. З 2011 р. на орбіті функціонує міжнародне угруповання супутників COSMO-SkyMed, які за своїм бортовим навантаженням є засобами подвійного призначення і забезпечують високоякісною видовою радіолокаційною інформацією низку європейських країн. Як свідчить світовий досвід, дані ДЗЗ можуть слугувати важливим джерелом високоякісної інформації про військово-об'єктову ситуацію, істотно доповнюючи відомості, які одержують командири від штатних розвідувальних органів, зокрема від підрозділів космічної розвідки [19, 20].

В Україні, особливо в останні роки, також приділяється значна увага створенню систем і технологій ДЗЗ подвійного призначення. Роботи координує Міністерство оборони України і ДКАУ, при цьому значну частину завдань виконують інститути НАН України. Я зупинюся лише на окремих вирішуваних завданнях.

1. *Підготовка Концепції розвитку та реалізації напрямку ДЗЗ у рамках Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2018–2022 роки.* На сьогодні про-

ект Концепції розроблено ЦАКДЗ за участю багатьох зацікавлених установ та відомств і передано до керівництва ДКАУ для подальшого опрацювання.

2. *Створення системи моніторингу морсько-го середовища з метою виявлення надводних та підводних об'єктів.* Ця система створюється на виконання Розпорядження Кабінету Міністрів України від 13.10.2015 № 1068-р «Про затвердження плану першочергових заходів з облаштування державного кордону вздовж берегової лінії та забезпечення охорони територіального моря України в межах Донецької, Запорізької, Херсонської та Миколаївської областей» та в рамках цільової науково-технічної програми НАН України «Дослідження і розробки з проблем підвищення обороноздатності і безпеки держави» [21].

3. *Розроблення нових ефективних методів підвищення якості багатоспектральних і гіперспектральних космічних зображень.* Необхідність цих робіт зумовлена планами розміщення на орбіті комплексу засобів ДЗЗ, які містять сенсори різного просторового розрізнення, а також сканер дальнього інфрачервоного діапазону. Вчені ЦАКДЗ розробили математичні основи, модель та алгоритм відновлення зображення підвищеної просторової розрізненості шляхом спільного оброблення вхідних зображень низької розрізненості, субпіксельно зміщених одне відносно одного. Алгоритм дозволяє досягати підвищення просторової розрізненості до величини, близької до теоретичної границі [22]. На основі такого підходу на Казенному підприємстві спеціального приладобудування «Арсенал» створено пілотний зразок кадрового спектрорадіометра дальнього інфрачервоного діапазону і спільно з ЦАКДЗ здійснюються роботи з його удосконалення і калібрування. Метою цієї розробки є підвищення інформативності знімання в дальньому інфрачервоному діапазоні за рахунок визначення кількісних фізичних характеристик земної поверхні — температури і коефіцієнта теплового випромінювання [23].

4. *Автоматизація методів дешифрування об'єктів на зображеннях, отриманих за до-*

помогою космічних та безпілотних літальних апаратів. Дешифрування об'єктів на таких зображеннях часто ускладнюється обмеженнями на ресурс часу, а також елементами невизначеності, зумовленої, зокрема, застосуванням засобів маскування об'єктів. Щоб подолати ці обмеження, в ЦАКДЗ розробляють нові ефективні підходи до класифікування, основані на математичному апараті Демпстера—Шейфера [24].

5. *Створення баз даних з ознаками типових природних та штучних об'єктів.* Це є важливим завданням, оскільки наявність оптико-спектральних характеристик об'єктів значно сприяє підвищенню вірогідності виявлення та розпізнавання об'єктів (у тому числі замаскованих) на багатоспектральних і гіперспектральних зображеннях. Зараз уже розроблено структуру такої бази [25] і триває її наповнення спектрограмами типових природних та штучних об'єктів.

Шляхи подальшого розвитку ДЗЗ-досліджень в Україні

Слід зазначити, що через низку об'єктивних і суб'єктивних причин потенціал України як космічної держави в останнє десятиліття не реалізується належною мірою. Цілі, проголошені національними космічними програмами, не завжди достатньо обґрунтовані, передбачені цими програмами важливі заходи і плани виконуються не в повному обсязі, хронічно не вистачає фінансово-економічного забезпечення галузі.

Усе це повною мірою стосується і систем ДЗЗ, які входять до трійки найперспективніших напрямів освоєння космосу (поряд із системами зв'язку і навігаційними системами). Середньорічне зростання світової ДЗЗ-галузі вже багато років поспіль перебуває на рівні 8–11%, ринок комерційних даних ДЗЗ у 2015 р. становив \$1,6 млрд, а за прогнозами відомої аналітичної компанії Euroconsult, у 2024 р. він досягне \$3,5 млрд.

Отже, для розвитку галузі ДЗЗ в Україні стратегічними завданнями є суттєве підвищення ефективності вітчизняних систем ДЗЗ

і обґрунтування найперспективніших шляхів їх розвитку. Обмеженість технологічних і фінансових ресурсів України змушує при розробленні національної концепції розвитку ДЗЗ зосередитися на найактуальніших проблемах, до яких належать такі:

- пошук корисних копалин та енергоносіїв;
- аналіз урбанізованих і промислових територій;
- інвентаризація угідь;
- прогнозування врожаю;
- оцінювання запасів і класифікація лісів;
- вивчення екологічного стану та виявлення забруднень;
- аналіз і прогнозування кліматичних змін;
- протидія природним і техногенним аваріям та катастрофам.

З огляду на реалії сучасної військово-політичної ситуації і враховуючи потреби Збройних Сил України, до цього переліку доцільно додати військовий блок, тобто завдання, спрямовані на підвищення обороноздатності держави.

Визначення пріоритетних завдань ДЗЗ дає змогу сформулювати технічні вимоги до бортової знімальної супутникової апаратури та окреслити технічний обрис перспективного вітчизняного супутникового комплексу ДЗЗ, який, за сучасними уявленнями, має містити:

- панхроматичний лінійковий сканер високої просторової розрізненості (не гірше 2,5 м на місцевості);
- багатоспектральний (не менш 4 спектральних діапазонів видимого та ближнього ІЧ-спектра) лінійковий сканер середньої просторової розрізненості (не гірше 8 м на місцевості);
- багатоспектральний (не менш 3 спектральних діапазонів) кадровий спектрорадіометр дальнього інфрачервоного (теплого) діапазону з субпіксельною реєстрацією зображень низької просторової розрізненості (не гірше 140 м на місцевості до субпіксельного оброблення та 100 м після нього).

Серед перспективних розробок супутникової бортової знімальної апаратури можна назвати такі:

- панхроматичний сканер надвисокої просторової розрізненості (не гірше 1 м на місцевості);
- супутниковий гіперспектрометр видимого, ближнього ІЧ (не менше 100 вузьких спектральних каналів) і середнього ІЧ (не менше 40 вузьких спектральних каналів) спектральних діапазонів середньої просторової розрізненості (не гірше 30 м на місцевості);
- супутникова радіолокаційна станція з синтезуванням апертури (РСА) Х або С діапазону високої просторової розрізненості (не гірше 3 м на місцевості).

Для оброблення та аналізу супутникових даних необхідно створити міжвідомчу розподілену інформаційну систему, яка має ґрунтуватися на таких принципах:

- в її основі має бути сервісно-розподілена архітектура, реалізована з використанням геопортальних технологій;
- сервіси мають однакову структуру, але кожен з них орієнтований на свою групу завдань;
- система має ґрунтуватися на стандартах відкритих систем, протоколів і технологій, задовольняючи принципам внутрішньої і зовнішньої інтеперабельності;
- система має забезпечувати архівування і накопичення великих обсягів видових даних, доступ до них в інтерактивному режимі та взаємозв'язок з міжнародними каталогами і архівами даних.

Побудова такої міжвідомчої розподіленої інформаційної системи потребує проведення досліджень за такими напрямками:

- створення нових ефективних методів і технологій оброблення та тематичної інтерпретації матеріалів космічних зйомок;
- розроблення нормативно-правової бази;
- формування національної мережі підсупутникових полігонів України — контрольно-калібрувальних, таких, які відповідають вимогам CEOS, тематичних, зорієнтованих на валідацію технологій вирішення обраних завдань ДЗЗ, а також розроблення методик калібрування бортових сенсорів і валідації даних;

- розвиток інформаційно-комунікаційної інфраструктури;
- розвиток користувальницького сегменту, підготовка та навчання користувачів.

Пріоритетними затребуваними напрямками застосування створюваної інформаційної системи будуть сільськогосподарська та продовольча безпека, раціональне використання та охорона природоресурсного потенціалу, адап-

тація господарського комплексу до глобальних змін клімату, розвиток урбанізованих територій та військовий комплекс. Обґрунтування створення та науково-методичний супровід функціонування міжвідомчої розподіленої інформаційної системи доцільно покласти на найбільш компетентні у цьому плані відомства — Національну академію наук України та Державне космічне агентство України.

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Lyalko V.I. (Ed.). *Greenhouse Effect and Climate Changes in Ukraine: Assessments and Consequences*. (Kyiv: Naukova Dumka, 2015).
[Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки і наслідки (за ред. В.І. Лялька). К.: Наук. думка, 2015.]
2. Chuvieco E., Huete A. *Fundamentals of Satellite Remote Sensing*. (Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2010).
3. Bhatta B. *Research Methods in Remote Sensing*. (Dordrecht: Springer, 2013).
4. Lyalko V.I., Popov M.O. (Eds). *Multispectral Remote Sensing in Nature Management*. (Kyiv: Naukova Dumka, 2006).
[Багатоспектральні методи ДЗЗ в задачах природокористування (за ред. В.І. Лялька та М.О. Попова). К.: Наук. думка, 2006.]
5. *Global Earth Observation System of Systems (GEOSS). 10-Year Implementation Plan: Reference Document*. Published by ESA Publication Division. (Noordwijk, the Netherlands, 2005).
6. *GEO Strategic Plan 2016–2025: Implementing GEOSS*.
7. Popov M.O., Stankevich S.A., Kozlova A.A. Features of use of multispectral aerospace images in quantifying the species diversity of vegetation. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2007. 4(2): 297.
[Попов М.О., Станкевич С.А., Козлова А.А. Особенности использования многоспектральных аэрокосмических изображений при количественной оценке видового разнообразия растительного покрова. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2007. Т. 4, № 2. С. 297–304.]
8. Popov M.A., Kussul N.N., Stankevich S.A., Kozlova A.A., Shelestov A.Yu., Kravchenko O.M., Korbakov M.B., Skakun S.V. Web service for biodiversity estimation using remote sensing data. *Int. J. Digital Earth*. 2008. 1(4): 367.
9. Kostyuchenko Yu.V., Movchan D.M., Yuschenko M.V. Regional risk analysis based on multisource data statistics of natural disasters. In: Zagorodny A.G., Yermoliev Yu.M. (Eds). *Integrated modeling of food, energy and water security management for sustainable social, economic and environmental developments*. (Kyiv, 2013). P. 229–238.
10. Kostyuchenko Yu.V., Bilous Yu. Long-term forecasting of natural disasters under projected climate changes in Ukraine. In: Groisman P.Y., Ivanov S.V. (Eds). *Regional Aspects of Climate-Terrestrial-Hydrologic Interactions in Non-boreal Eastern Europe*. (Springer Science + Business Media B.V. 2009). P. 95-102.
11. Lyalko V., Arkhipov A., Tovstyuk Z., Vorobyov A., Popov M. The use of aerospace information for hydrocarbon deposits prospects. *Ukrainian-Macedonian scientific collection*. 2011. (5): 327.
[Лялька В., Архипов А., Товстюк З., Воробьев А., Попов М. Использование аэрокосмической информации при поисках месторождений углеводородов. *Українсько-Македонський наук. зб.* 2011. Вип. 5. С. 327–339.]
12. Lyalko V.I., Popov M.O. (Eds). *Satellite methods for mineral resources prospects*. (Kyiv: Karbon-Ltd, 2012).
[Спутниковые методы поиска полезных ископаемых (под ред. В.И. Лялька и М.А. Попова). К.: Карбон-Лтд, 2012.]
13. Lyalko V.I., Sakhatskyi O.I., Zholobak G.M., Popov M.A. Some directions of remote sensing methods applications for solution of the agricultural tasks in Ukraine. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2010. 7(1): 19.
[Лялька В.И., Сахацкий А.И., Жолобак Г.М., Попов М.А. Некоторые направления использования дистанционных аэрокосмических методов при решении сельскохозяйственных задач в Украине. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2010. Т. 7, № 1. С. 19–28.]

14. Sakhatskyi O.I., Zhlobak G.M. Research of the gross primary productivity of main agricultural crops for the central and south regions of Ukraine using MOD17 satellite data. *Dopov. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2015. (10): 40.
[Сахацький О.І., Жолобак Г.М. Дослідження валової первинної продуктивності основних сільськогосподарських культур центральних та південних областей України з використанням супутникового продукту MOD17. *Доповіди НАН України.* 2015. № 10. С. 40–48.]
15. Popov M.A., Lukin V.V., Stankevich S.A., Zriakhov M.S., Lischenko L.P., Podorvan V.N., Krivenko S.S. Urbanized territories technogenic contaminations mapping using the hyperspectral imaging data. *Scientific Notes of Taurida National Vernadsky University. Ser. Geography.* 2010. **23**(2): 232.
[Попов М.А., Лукин В.В., Станкевич С.А., Зряхов М.С., Лищенко Л.П., Подорван В.М., Кривенко С.С. Картирование техногенных загрязнений урбанизированных территорий по материалам гиперспектральной космосъемки. *Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского, сер. География.* 2010. Т. 23, № 2. С. 232–241.]
16. Stankevich S., Sakhatsky A., Bobro D., Iwasaki A., Nakasuka Sh., Yoshimoto S., Aoyanagi Y. Risk assessment of adsorbed radionuclide emission by fire within Fukushima exclusion zone using multispectral satellite imagery. *Ukrainian Journal of Remote Sensing.* 2015. (4): 4.
17. Lyalko V.I., Fedorovsky O.D., Sirenko L.Ya. The use of satellite information in solving problems of water management and protection. *Kosm. Nauka Tehnol.* 1997. **21**(3/4): 40.
[Лялько В.І., Федоровський О.Д., Сіренко Л.Я. Використання космічної інформації у вирішенні водогосподарських і водоохоронних завдань. *Космічна наука і технологія.* 1997. № 3/4. С. 40–49.]
18. Fedorovsky O.D., Khyzhnyak A.V., Tomchenko O.V., Zub L.M., Pidhorodetska L.V., Dyachenko T.M., Shevchenko A.M., Vlasova O.V., Khodorovsky A.Ya., Yakymchuk V.H. The multidisciplinary analysis of the aerospace and field information in tasks of assessing water ecosystems based on the of system analysis methods. *Ukrainian Journal of Remote Sensing.* 2015. (7): 27.
[Федоровський О.Д., Хижняк А.В., Томченко О.В., Зуб Л.М., Підгородецька Л.В., Дьяченко Т.М., Шевченко А.М., Власова О.В., Ходоровський А.Я., Якимчук В.Г. Мультидисциплінарний аналіз аерокосмічної і наземної інформації при оцінці стану водних екосистем на основі методів системного аналізу. *Український журнал дистанційного зондування Землі.* 2015. № 7. С. 27–42.]
19. Popov M.O., Topolnitsky M.V., Pidlipaev V.O. Geospatial intelligence in local military conflicts. *Science and Defense.* 2015. (1): 25.
[Попов М.О., Топольницький М.В., Подліпаєв В.О. Видова космічна розвідка в локальних військових конфліктах. *Наука и оборона.* 2015. № 1. С. 25–35.]
20. Popov M.O., Piontkovsky P.M., Hrynyuk S.V. State and prospects of hyperspectral systems for space image reconnaissance. *Science and Defense.* 2012. (2): 39.
[Попов М.О., Пюнтківський П.М., Гринюк С.В. Стан та перспективи розвитку гіперспектральних систем аерокосмічної розвідки. *Наука і оборона.* 2012. № 2. С. 39–47.]
21. Lyalko V.I., Popov M.O., Stankevich S.A. Potential of aerospace methods at safety support of the territorial sea and shore line of Ukrainian and ways of its realization. In: *Problems of coordination of military-technical and defence-industrial policy in Ukraine. Prospects of weapons and military equipment.* Proc. IV Int. Conf. (12–13 Oct. 2016, Kyiv).
[Лялько В.І., Попов М.О., Станкевич С.А. Потенціал аерокосмічних методів в забезпеченні безпеки об'єктів територіального моря та берегової лінії України та шляхи його реалізації. В кн.: *Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки.* матер. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (12–13 жовтня 2016 р., Київ). С. 331.]
22. Popov M.O., Stankevych S.A., Shkliar S.V. An algorithm for resolution enhancement of subpixel displaced images. *Mathematical Machines and Systems.* 2015. (1): 29.
[Попов М.А., Станкевич С.А., Шкляр С.В. Алгоритм підвищення розрешення субпиксельно смещенних зображень. *Математичні машини і системи.* 2015. № 1. С. 29–36.]
23. Lyalko V.I., Popov M.O., Stankevich S.A., Shklyar S.V., Podorvan V.M., Likholt N.I., Tiagur V.M., Dobrovolska C.V. Physical Simulation of Infrared Spectroradiometer with Spatial Resolution Enhancement Using Subpixel Image Registration and Processing. *Nauka Innov.* 2015. **11**(6): 16.
24. Popov M.O., Podorvan V.M., Alpert S.I. A method for hyperspectral satellite image classification using Dempster's combination rule. *Kosm. Nauka Tehnol.* 2015. **21**(1): 25.
[Попов М.О., Подорван В.М., Альперт С.І. Метод класифікування гіперспектральних космічних зображень з використанням комбінаційного правила Демпстера. *Космічна наука і технологія.* 2015. Т. 21, № 1. С. 25–37.]

25. Popov M., Kovalchuk S., Pikulik S., Stankevich S., Markov S., Kudashev E. Spectral data storage: an approach to development and realization in e-infrastructure of permanent access to scientific remote sensing data. In: *Information systems for research*. Proc. XV Conf. IMS-2012 (10–12 Oct. 2012, Saint Petersburg).
[Попов М.А., Ковальчук С.П., Пікулик В.И., Станкевич С.А., Марков С.Ю., Кудашев Е.Б. Банк спектральних даних: підхід к побудові и реалізація в е-інфраструктурі постійного доступу к научним ресурсам ДЗЗ. *Інформаційні системи для научних дослідвань*: матер. XV Всерос. конф. «Інтернет и сoвременное общество» (10–12 окт. 2012, Санкт-Петербург). С. 84–93.]

M.O. Popov

Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth
of Institute of Geological Science of National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv)

ON STATE AND PROSPECTS OF REMOTE SENSING TECHNOLOGIES
IN SOLVING TOPICAL PROBLEMS OF REAL SECTOR OF ECONOMY AND DEFENSE

According to the materials of scientific report at the meeting
of the Presidium of NAS of Ukraine, November 9, 2016

The problem of transfer of remote sensing methods and technologies into the real sector of economy and defense is discussed. Examples of using remote sensing methods and techniques for solving such topical tasks as ecosystem sustainability, disaster resilience, sustainable urban development and many others are considered. The problem of creating dual-use remote sensing technologies is discussed. Ways of further development of remote aerospace research in Ukraine are formulated.

Keywords: remote sensing technology, multispectral image, sustainable development, biodiversity, ecosystem, disaster resilience.