



<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.2.256481>

УДК (55:528.8):061.6(477)

В.І. ЛЯЛКО *, М.О. ПОПОВ, О.В. СЕДЛЕРОВА, А.В. ХИЖНЯК

ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», Київ, Україна

E-mail: vilyalko31@ukr.net; mpopov@casre.kiev.ua; sedlerovaolga@gmail.com;

avsokolovska@gmail.com casre@casre.kiev.ua

* Автор для кореспонденції

ДЕРЖАВНІЙ УСТАНОВІ «НАУКОВИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ ІНСТИТУТУ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ» — 30 РОКІВ: ЗДОБУТКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Метою даної статті є стисло висвітлити історію розвитку аерокосмічних досліджень Землі в Україні і провести аналіз внеску вітчизняних вчених у вивчення природних ресурсів дистанційними методами. Стаття підготовлена у зв'язку із 30-річчям створення Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України». Відзначено роль вчених Інституту геологічних наук НАН України у впровадженні матеріалів супутникових зйомок у вирішення актуальних геологічних задач. Завдяки розробленим ними науковим підходам вдалося проводити аналіз глибинної будови регіонів України і побудувати космогеологічні карти різного рівня генералізації, створити фізико-математичні моделі тепломасопереносу процесів формування пошукового геотермічного сигналу при наявності в надрах покладів корисних копалин, виділити кільцеву структуру у східній частині Приазовського регіону і скласти структурно-геологічну карту території Східного Приазов'я, отримати нові дані про структуру та історію геологічного розвитку акваторії Азовського моря.

Наведено дані про організаційну структуру ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України» і здобутки наукового колективу. Зроблено аналіз внеску його співробітників у розвиток аерокосмічних досліджень в Україні. Розглянуто подальші перспективи розвитку наукових досліджень в галузі дистанційного дослідження Землі в Україні. Відзначено, що стратегія розвитку досліджень полягатиме в реалізації основних положень розвитку світового суспільства, визначених рішеннями ООН зі сталого розвитку людства, шляхом забезпечення його перш за все трьома складовими життєдіяльності, а саме — продовольством, питною водою та енергоресурсами. У вирішенні цієї проблеми суттєву роль відіграватиме розробка сучасних методів та технологій використання матеріалів гіперспектральних аерокосмічних зйомок та комп'ютерного моделювання процесів енергомасообміну в геосферах Землі з метою розробки рекомендацій щодо вибору сценаріїв раціонального природокористування в умовах збалансованого соціоекономічного розвитку різних країн. На останок наведено перелік видань вчених Наукового центру.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі; енергомасообмін в геосистемах; моделі фізичних процесів; сталий розвиток.

Цитування: Лялько В.І., Попов М.О., Седлерова О.В., Хижняк А.В. Державній установі «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України» — 30 років: здобутки і перспективи подальшого розвитку. *Геологічний журнал*. 2022. № 2 (379). С. 114—125. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.2.256481>

Citation: Lyalko V.I., Popov M.O., Sedlerova O.V., Khyzhniak A.V. 30th anniversary of the Scientific Centre for Aerospace Research of Earth of the Institute of Geological Science of the National Academy of Sciences of Ukraine: achievements and prospects of the further development. *Geologičnij žurnal*, 2 (379): 114-125. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.2.256481>

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2022. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, 2022. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Вступ

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є одним з пріоритетних напрямів сучасної науки. Цей напрям досліджує глобальні природні процеси та явища, а саме — тектонічні, геодинамічні та геоморфологічні процеси в геологічному середовищі Землі, зміни клімату, землетруси, виверження вулканів, цунамі, повені, зсуви тощо.

ДЗЗ дає можливість за допомогою аерокосмічних засобів:

- проводити дослідження земної поверхні, морів та океанів, пошуків корисних копалин, визначення стану сільськогосподарських і лісових угідь, прогнозування надзвичайних ситуацій та оцінювання їх наслідків тощо;

- оперативно отримувати об'єктивну інформацію про стан екосистеми Землі, вивчати вплив діяльності людства на цю екосистему;

- виконувати широкий спектр завдань, пов'язаних з розвитком міських агломерацій, інвентаризацією та оцінюванням якості земель, виявленням біопродуктивності нових районів промислу в океанах і морях;

- сприяти прийняттю науково обґрунтованих рішень щодо забруднення навколишнього середовища, керування видобуванням мінеральних ресурсів, ліквідації наслідків глобальних змін клімату та екологічно-природних катастроф.

ДЗЗ як спосіб отримання інформації про Землю та розташовані на земній поверхні об'єкти відомий ще з ХІХ ст., але по-справжньому величезні інформаційні можливості ДЗЗ почали розкриватись у другій половині минулого століття, коли розпочалось активне освоєння космосу. Багато країн світу долучилось до проведення аерокосмічних досліджень, серед яких була й Україна.

Першими українськими установами, де розпочали вивчати можливості дистанційних аерокосмічних методів для вирішення геологічних задач, були Інститут геологічних наук НАН України (ІГН) і Науково-дослідний інститут геології і розвідки горючих копалин колишнього Міністерства нафтової і газової промисловості СРСР. Далі цю естафету перехопив Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі, який був створений на базі відділу тепломасопереносу в земній корі — наукового підрозділу ІГН.

Метою даної статті є стисло висвітлити історію розвитку аерокосмічних досліджень Землі в Україні і провести аналіз внеску вітчизняних вчених у вивчення природних ресурсів дистанційними методами. Стаття підготовлена у зв'язку із 30-річчям створення ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України».

Дистанційні аерокосмічні дослідження в Інституті геологічних наук НАН України

Використання аерокосмометодів у геології в ІГН розпочалось з 70-х років минулого століття. Поява матеріалів супутникових зйомок континентального і регіонального рівнів дали змогу проводити аналіз глибинної будови регіонів України та на його основі створювати відповідні схеми та космогеологічні карти різного рівня генералізації (Лялько, Митник, 1975; Лялько, 1979; Быстревская, Шаталов, 1980; Лялько та ін., 1981; Шаталов, 1982; Лялько, Шаталов, 1988; Чебаненко та ін., 1988, 1989; Верховцев та ін., 1989; Верховцев, 2008).

З 1974 р. були започатковані роботи з впровадження фізико-математичних методів в аерокосмічні дослідження Землі при вирішенні теоретичних і прикладних геолого-геофізичних завдань (Лялько, Митник, 1975; Лялько, 1979; Лялько, Шаталов, 1988; Лялько та ін., 1992).

У 1975—1979 рр. фахівцями успішно виконані дослідження з обґрунтування теорії і методики спеціальних видів дистанційних зйомок, зокрема теплової зйомки (Лялько, Митник, 1975; Лялько, 1979; Лялько та ін., 1981). Дослідниками створені фізико-математичні моделі тепломасопереносу процесів формування пошукового геотермічного сигналу при наявності в надрах покладів корисних копалин, що формують в земній корі температурну аномалію, яка може бути зафіксована в приповерхневих товщах і на земній поверхні. Досвід та результати використання матеріалів теплової зйомки в геології узагальнені в роботах (Лялько, Митник, 1975; Лялько, 1979; Лялько і др., 1981).

У 1980 р. на основі дешифрування космічних знімків, отриманих з пілотованих орбітальних станцій «Салют-4», «Салют-6» і космічного апарата Landsat-2, в результаті комплексної ін-

терпретації регіональних космічних фотозображень і матеріалів геолого-геофізичного дослідження С.С. Бистревською і М.М. Шаталовим (Быстревская, Шаталов, 1980) була виділена велика за розміром кільцева структура у східній частині Приазовського регіону. Вони також склали структурно-геологічну карту території Східного Приазов'я. Її автори відмічали, що до систем кільцевих і дугоподібних розломів і особливо до ділянок їх перетину з лінійними розломними зонами різних напрямків простягання приурочені форми, що виникли внаслідок магматизму (штоки, дайки).

Значний науково-теоретичний та практичний внесок у геологічну інтерпретацію результатів дешифрування матеріалів аерокосмічних зйомок у 1980—2000-і роки зробили вчені відділу геотектоніки ІГН І.І. Чебаненко, А.Я. Радзівіл, В.Я. Радзівіл, В.С. Токовенко, М.М. Шаталов, В.Г. Верховцев, І.С. Потапчук, Ю.А. Куделя та ін.

У 1981 р. за матеріалами дешифрування космічних знімків Є.Ф. Шнюков із співавторами запропонували нові дані про структуру та історію геологічного розвитку акваторії Азовського моря.

Геологічні дослідження з використанням матеріалів аерокосмічних зйомок проводили в колишньому Міністерстві геології УРСР Б.О. Ніколаєнко, О.О. Янцевич та ін.

Історія створення сьогоднішнього ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України»

У 1987 р. за ініціативою академіка НАН України Б.Є. Патона при Відділенні наук про Землю АН УРСР було створено Наукову раду з проблеми «Вивчення природних ресурсів дистанційними методами» (Постанова Президії АН УРСР № 186 від 29.05.1987 р.), яка працює й до цього часу (голова Наукової ради — академік НАН України В.І. Лялько).

У 1992 р. було засновано Державну установу «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України» (ЦАКДЗ, або Центр) як самостійну юридичну установу (Постанова Президії АН України № 150 від 20.05.1992 р.). Центр був організований на базі відділу тепломасопереносу в земній корі ІГН (завідувач —

доктор геолого-мінералогічних наук В.І. Лялько) і лабораторії аерогеологічних методів Науково-дослідного інституту геології і розвідки горючих копалин колишнього Міністерства нафтової і газової промисловості СРСР (керівник — кандидат геолого-мінералогічних наук В.М. Перєрва).

Упродовж майже 25 років незмінним директором ЦАКДЗ був доктор геолого-мінералогічних наук В.І. Лялько (з 2010 р. — академік НАН України). Сьогодні В.І. Лялько є Почесним директором Центру.

На даний час у ЦАКДЗ працює понад 70 співробітників (рис. 1), з них дві третини — науковці, серед яких академік НАН України, два члени-кореспонденти НАН України, 10 докторів наук, 24 кандидати (геологічних, географічних, технічних, фізико-математичних і біологічних наук).

У Центрі під керівництвом академіка НАН України В.І. Лялька розвивається наукова школа «Енергомасообмін у геосистемах». Досліджуються процеси енергомасообміну в геосистемах та їх вплив на фізико-хімічні та біологічні механізми, які відповідають за формування спектрального відгуку природних об'єктів. Науковці працюють над застосуванням космічної інформації при пошуках рудних, нерудних та горючих корисних копалин як на суходолі, так і на шельфі, вивчають зв'язки між геофізичними полями, прогнозують сейсмічні явища, уточнюють будову «шовних» зон та інших тектонічних структур тощо.

У ЦАКДЗ розроблені нові ефективні космічні методи й технології для вирішення ряду актуальних для України завдань раціонального природокористування, зокрема пошуків нафтогазових покладів на суходолі та шельфі, що дозволило майже вдвічі підвищити результативність відповідних робіт. Цю технологію практично апробовано не лише в Україні, але й у колишніх республіках СРСР, Об'єднаних Арабських Еміратах, Марокко і Мавританії; для оцінювання стану та врожайності агрокультур; аналізу екологічного стану територій та акваторій у режимі моніторингу; космічного моніторингу тепловтрат на урбанізованих територіях; космічного моніторингу (аудиту) балансу парникових газів та ін.

Здійснюється підготовка аспірантів з наукових спеціальностей 103 — Науки про Землю та



Рис. 1. Співробітники ЦАКДЗ ІГН НАН України
Fig. 1. Employees of CASRE of IGS of NAS of Ukraine

172 — Телекомунікації та радіотехніка, є докторантура.

У науковому здобутку Центру — атласи «Україна з космосу» та «Космос — Україні», комп'ютерно дешифровані космознімки українсько-російського космічного апарата «Океан-О», українських супутників «Січ-1» і «Січ-2», на прикладі яких показано можливість їх використання для вирішення актуальних для України природоресурсних і природоохоронних завдань.

Разом із Міжнародним інститутом прикладного системного аналізу (IIASA) та в рамках Міжнародної програми «Партнерські ініціативи в галузі наук про Землю з вивчення Північної Євразії» (NEESPI) у 2010 та 2012 рр. опубліковано російський та англomовний варіанти монографії «Изменения земных систем в Восточной Европе».

Результати дослідницької діяльності Центру високо поціновані в Україні. Вченим ЦАКДЗ присуджено Державні премії України в галузі науки і техніки: у 2004 р. — В.І. Ляльку (як співавтору) за цикл робіт «Наукові основи формування ресурсів підземних вод як джерела якісного водопостачання та раціонального господарського водокористування»; у 2005 р. — О.Д. Федоровському, М.О. Попову та О.І. Сахацькому (як співавторам) за цикл робіт «Розв'язання проблем раціонального природокористування методами аерокосмічного зон-

дування Землі та моделювання геодинамічних процесів»; у 2011 р. — С.А. Станкевичу (як співавтору) за цикл наукових праць, присвячених технологіям дешифрування космознімків.

Результати досліджень Центру відображені у понад 900 публікаціях у вітчизняних і зарубіжних виданнях (Лялько, 2018; Лялько та ін., 2018; Костюченко та ін., 2020; Popov et al., 2017, 2019, 2020, 2021), насамперед у 18 монографіях. Найбільш значущі з них такі: «Аэрокосмические методы в геоэкологии», «Україна з космосу» (Україна..., 1999), «Космос — Україні: Атлас дешифрованих знімків території України з КА «Океан» та інших космічних апаратів» (Космос..., 2001), «Інформатизація аерокосмічного землезнавства» (Інформатизація..., 2001), «Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування» (Багатоспектральні..., 2006), «Изменения земных систем в Восточной Европе» (Изменения..., 2010), "Earth Systems Change over Eastern Europe" (Earth..., 2012), «Спутниковые методы поиска полезных ископаемых» (Спутниковые..., 2012), «Сучасні методи дистанційного пошуку корисних копалин» (Сучасні..., 2017), «Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки» (Парниковий..., 2015). Вченими Центру складено державні стандарти (Державний..., 2003, 2007), словники (Словник..., 2004), навчальну літературу (Бурштинська, 2010; Інфраструктура..., 2013; Основи...,



Рис. 2. Виставка наукових розробок «Установи НАН України — місту Києву» (2014 р.). Академік НАН України В.І. Лялько представляє В.В. Кличку, голові КМДА, наукові розробки Центру

Fig.2. The exhibition of scientific developments «Institutions of NAS of Ukraine to the city of Kyiv» (2014). Academician of NAS of Ukraine V.I. Lyalko presents the scientific developments of the Centre to V.V. Klitschko, Head of the Kyiv City State Administration



Рис. 3. Міжнародна спеціалізована виставка «HI-TECH EXPO. Високі технології», 2017 р.

Fig. 3. International specialized exhibition «HI-TECH EXPO. High Technologies», 2017

2019) та науково-методичний посібник «Аерокосмічні дослідження геологічного середовища» (Аерокосмічні..., 2010).

З березня 2014 р. на базі Центру видається перший в Україні профільний електронний «Український журнал дистанційного зондування Землі» (<http://ujrs.org.ua/ujrs>). Наказом Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 р. № 886 електронне видання «Український журнал дистанційного зондування Землі» включено до Переліку наукових фахо-

вих видань України з галузей геологічних і технічних наук (спеціальності — 103 Науки про Землю і 172 Телекомунікації та радіотехніка), категорія Б.

З переліком наукових публікацій вчених Центру можна ознайомитися на його сайті (<http://www.casre.kiev.ua/uk/publications>) та сайті електронного "Українського журналу дистанційного зондування Землі" (<http://ujrs.org.ua/ujrs>).

Розробки Центру успішно демонструються на профільних вітчизняних та міжнародного значення виставках (рис. 2, 3).

В ЦАКДЗ функціонує Центр колективного користування, до матеріально-технічної бази якого входять: польовий прецизійний спектро-радіометр FieldSpec3FR, система дистанційної реєстрації мінливості спектрометричних параметрів середовища DJI STS-VIS, система реєстрації змін CO₂ на основі газометричної апаратури Qubit Systems 150, тепловізійна система FLUKE Ti110, багатоспектральна камера DMS, інфрачервона камера One Pro, фотометричні прилади КФ-08 і СФ-18, пірометри TROTEC TP-10 і ADA instruments Infrared Thermometer TemPro-1200, квадрокоптери Phantom 3 Standard, Phantom 4 Multispectral, Bebop Pro Thermal та ін.

Розвиток методів ДЗЗ у відділах Центру

Організаційно ЦАКДЗ складається з п'яти відділів:

- Енергомасообміну у геосистемах (завідувачка — кандидат географічних наук Л.О. Єлістратова). До складу відділу входить лабораторія технічних засобів ДЗЗ (завідувач — кандидат геологічних наук С.С. Дугін).
- Геоінформаційних технологій у дистанційному зондуванні Землі (завідувач — членкореспондент НАН України М.О. Попов). До складу відділу входить лабораторія методів обробки даних дистанційного зондування (завідувачка — кандидат технічних наук І.О. Пестова).
- Аерокосмічних досліджень у геології (завідувач — доктор геологічних наук С.М. Єсипович).
- Геопросторового моделювання в аерокосмічних дослідженнях (завідувач — доктор технічних наук С.А. Станкевич).

- Аерокосмічних досліджень в геоекології (завідувач — кандидат геологічних наук В.Є. Філіпович).

Відділ енергомасообміну в геосистемах

Завідувачка відділу — кандидат географічних наук Л.О. Єлістратова (до 2018 р. відділ очолював академік НАН України В.І. Лялько).

У відділі виконано значний обсяг теоретико-методичних і практичних досліджень: створено моделі процесів формування ресурсів підземних вод; розроблено методи розрахунку тепло- і масопереносу в земній корі; обґрунтовано доцільність захоронення токсичних промислових стоків у надра; розроблено критерії геотермічних пошуків корисних копалин, у тому числі підземних вод та вуглеводневої сировини; узагальнено теоретико-методичні засади застосування матеріалів космічного знімання для вирішення актуальних завдань раціонального природокористування, наприклад: пошуків нафтогазових покладів на шельфі та суходолі, оцінювання фітосанітарного стану та пожежонебезпечності лісів, прогнозування стану й урожайності зернових культур та екологічної ситуації в екосистемах. Розроблено та застосовано нові ефективні методи й технології інтерпретації матеріалів сучасних аерокосмічних гіперспектральних зйомок.

Уперше на основі матеріалів багатоспектральних космічних знімачів експериментально визначено основні балансові складові формування парникового ефекту в межах України з метою виявлення кількісних показників для обґрунтування виділених нашої державі квот парникових газів відповідно до Кіотського протоколу. Передбачено довготермінові сценарії кліматичних та екологічних змін на регіональному і локальному рівнях. Визначено стратегії адаптації, зокрема у зв'язку з прогнозованою ескалацією природних катастроф.

Відділ геоінформаційних технологій у ДЗЗ

Завідувач відділу — член-кореспондент НАН України М.О. Попов. Відділ створено у 2004 р. Основні напрями досліджень — інформаційно-методичне та алгоритмічне забезпечення робіт із ДЗЗ, а саме: методичне й алгоритмічне забезпечення інтерпретації аерокосмічних зображень; обґрунтування вимог щодо обліку пер-

спективних бортових комплексів ДЗЗ; розроблення методів оцінювання якості та інформаційних властивостей багато- і гіперспектральних аерокосмічних зображень; опрацювання методології тестування супутникових технологій на основі геоінформаційних технологій і польових полігонних вимірювань; створення вітчизняної понятійно-нормативної бази у галузі ДЗЗ, її вдосконалення і гармонізація з відповідними міжнародними стандартами та нормами.

Вчені відділу розробляють теоретико-методичні основи оброблення та аналізу багато- і гіперспектральних аерокосмічних зображень для вирішення різноманітних тематичних завдань ДЗЗ, ефективні алгоритми автоматизованої інтерпретації аерокосмічних зображень. Результати проведених досліджень впроваджуються при вирішенні завдань реальної економіки та оборонної тематики.

Відділ аерокосмічних досліджень у геології

Завідувач відділу — доктор геологічних наук С.М. Єсіпович. Науковий напрям відділу — розроблення методології вирішення геологічних завдань на базі широкого використання матеріалів аерокосмічних зйомок у комплексі з геолого-геофізичними, геохімічними та іншими даними. За допомогою матеріалів космічного знімання створено нові технології пошуку покладів вуглеводнів на суходолі та шельфі; апробовано супутникову технологію прогнозування покладів нафти і газу в межах Дніпровсько-Донецької западини, а на окремих її площах оцінено перспективи нафтогазонасності.

Результати апробації технологій відкривають перспективи для прогнозування нових родовищ вуглеводнів, що дозволить значною мірою вирішити паливно-енергетичну проблему України, використовуючи власну сировинну базу. Застосування зазначених технологій дає змогу підвищити геологічну й економічну ефективність геологорозвідувальних робіт щодо виявлення покладів нафти і газу, збільшити обсяг приросту запасів вуглеводневої сировини на фоні зниження фінансових витрат.

Розроблено дистанційну методику аналізу нафтогазового потенціалу шельфу Чорного моря; здійснено рейтингове оцінювання нафтогазоперспективних об'єктів на шельфі; визна-



Рис. 4. Рафалівський рудний вузол. Польові геологічні дослідження на відслоненнях Рафалівського базальтового кар'єру. Ліворуч — провідний інженер відділу аерокосмічних досліджень у геоекології О.І. Кудряшов, праворуч — завідувач відділу кандидат геологічних наук В.Є. Філіпович

Fig. 4. Rafalovsky ore cluster. Field geological studies at the outcrops of the Rafalovsky basalt quarry. On the left is O.I. Kudryashov, Leading Engineer of the Department of Aerocosmic Studies in Geoecology, and on the right is V.Ye. Filippovich, Candidate of Geological Sciences, Head of the Department

чено структурно-геоморфологічні та геолого-геофізичні критерії для північно-західного шельфу Чорного та акваторії Азовського морів.

Створено комплекс методів прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів Дніпровсько-Донецької западини, який включає регіональний, зональний і детальний рівні, кореляцію поверхневих і глибинних аномалій. Рекомендації за результатами досліджень впроваджені у НАК «Нафтогаз України», ПАТ «Укрнафта», ПАТ «Укргазвидобування».

Відділ геопросторового моделювання в аерокосмічних дослідженнях

Завідувач відділу — доктор технічних наук С.А. Станкевич (до 2021 р. цей відділ під назвою «відділ системного аналізу» очолював член-кореспондент НАН України О.Д. Федоровський). Відділ створено у 2002 р. з метою проведення науково-дослідних робіт у рамках наукового обґрунтування і впровадження методів системного аналізу для вирішення геоекологічних і природоресурсних завдань на основі аерокосмічної інформації ДЗЗ.

Основні напрями досліджень: розроблення наукових основ системного моделювання про-

цесу одержання інформації космічними системами ДЗЗ, визначення їхньої оптимальної структури, параметрів та ефективності використання; опрацювання системної методології розвитку та підвищення ефективності космічного геомоніторингу для вирішення ресурсних і екологічних завдань природокористування.

У відділі створено наукові основи для моделювання процесу одержання інформації космічними системами ДЗЗ, визначено їхню оптимальну структуру, параметри та ефективність використання. Сформовано системну методологію розвитку та підвищення ефективності аерокосмічного геомоніторингу для вирішення проблем природокористування в умовах збільшення обсягу виконуваних тематичних завдань.

Відділ аерокосмічних досліджень у геоекології

Завідувач відділу — кандидат геологічних наук В.Є. Філіпович. Основними завданнями та функціями відділу є створення нових методів і технологій комп'ютерного оброблення та інтерпретації аерокосмічних зображень для екологічного моніторингу в умовах трансформації урбанізованих територій. У відділі опрацьовано методичні принципи і технології використання супутникової інформації під час виконання геологознімальних робіт в Україні; запропоновано на основі використання космічних даних модернізацію методики оцінювання шкоди державі внаслідок нелегального видобування бурштину.

На підставі дистанційних даних побудовано просторово-часові моделі підтоплення територій ґрунтовими водами в умовах міських агломерацій; розроблено методичні прийоми виявлення техногенного забруднення урбанізованих територій важкими металами, а також джерел забруднень водного середовища.

Створено методичні засади оцінювання геоекологічного стану промислових центрів (для Нікополя, Борислава, Києва, Кривого Рога, Запоріжжя, Херсона, Миколаєва, Маріуполя) (рис. 4).

На основі використання космічної інформації, цифрових моделей рельєфу та геолого-геоморфологічних даних дано обґрунтування прогнозу розвитку зсувонебезпечних процесів на окремих ділянках Придніпровської зсувної зони (м. Київ). Розроблено методіку



Рис. 5. Учасники міжнародної конференції «Нові методи картографування опустелювання та деградації земель з використанням даних дистанційного зондування та геоінформаційних технологій», м. Марракеш, Марокко, 4—9 червня 2010 р.

Fig. 5. Participants to the International conference «Novel methods of desertification and land degradation mapping using remote sensing data and geoinformation technologies», Marrakesh City, Morocco, June 4-9, 2010

аналізу теплового поля урбанізованих територій за даними космічної зйомки та наземних термометричних досліджень (на прикладі м. Київ).

Створено просторово-часові ряди теплового поля м. Київ, що дозволяє у моніторинговому режимі аналізувати динаміку теплового навантаження на місто, визначати ділянки з підвищеним тепловим забрудненням; проведено районування території міста за ступенем комфортності проживання населення; дано рекомендації щодо прийняття управлінських рішень з метою поліпшення містобудівного планування.

Розроблено методичні основи застосування космічних і наземних даних у тепловому діапазоні для оцінки тепловтрат у місті по лінії «місто—район—окремий будинок». Результати проведених робіт використовують природоохоронні та комунальні структури Київської міської держадміністрації.

Розробки відділу з використання дистанційних даних для геології та геоєкології впродовж останніх 20 років регулярно впроваджуються у підприємства Державної геологічної служби України.

Міжнародне співробітництво

ЦАКДЗ — перша в Україні наукова організація, яка свого часу була прийнята до Європейської асоціації лабораторій дистанційного зондування (European Association of Remote Sensing Laboratories — EARSeL).

Центр підтримує наукові звязки з установами Німеччини, Франції, Японії, Угорщини, Польщі, Китаю, Марокко та інших країн. Вчені ЦАКДЗ активно співпрацюють із зарубіжними колегами з наукових інститутів й університетів та беруть участь у міжнародних конференціях, форумах, симпозіумах та виставках (рис. 5).

Подальші перспективи розвитку наукових досліджень в галузі ДЗЗ

Концептуально стратегія розвитку досліджень полягатиме в реалізації основних положень розвитку світового суспільства, визначених рішеннями ООН зі сталого розвитку людства шляхом забезпечення його перш за все трьома складовими життєдіяльності, а саме — продовольством, питною водою та енергоресурсами.

У вирішенні цієї планетарної проблеми суттєву роль відіграватиме розробка сучасних методів та технологій використання матеріалів гіперспектральних аерокосмічних зйомок та комп'ютерного моделювання процесів енергомасообміну в геосферах Землі з метою розробки рекомендацій щодо вибору сценаріїв раціонального природокористування в умовах збалансованого соціоекономічного розвитку різних країн при відповідних взаємних гарантіях оборонного характеру та міжнародної безпеки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Аерокосмічні дослідження геологічного середовища: наук.-метод. посіб. А.Г. Мичак, В.Є. Філіпович, В.Л. Приходько та ін. Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Державна геологічна служба України. Київ, 2010. 246 с.
- Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування: Лялько В.І., Попов М.О. (ред.). Київ: Наукова думка, 2006. 358 с.
- Буришинська Х.В., Станкевич С.А. Аерокосмічні знімальні системи: навч. посіб. Львів: Львівська політехніка, 2010. 292 с.
- Быстревская С.С., Шаталов Н.Н. Глубинная структура земной коры по космическим изображениям (на примере Восточного Приазовья). *Исслед. Земли из космоса*. 1980. № 5. С. 10—16.
- Верховцев В.Г., Веремьев П.С., Шаталов Н.Н. Кольцевые структуры Приазовского блока Украинского щита по данным дешифрирования космических снимков. *Исслед. Земли из космоса*. 1989. № 6. С. 15—22.
- Верховцев В.Г. Новітні платформні геоструктури України та динаміка їх розвитку: дис. ... д-ра геол. наук за спеціальністю 04.00.01 — загальна і регіональна геологія. Київ, 2008.
- Державний стандарт України ДСТУ 4220: 2003 «Дистанційне зондування Землі з космосу. Терміни та визначення понять». Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 18 с.
- Державний стандарт України ДСТУ 4758: 2007 «Дистанційне зондування Землі з космосу. Оброблення даних. Терміни та визначення понять». Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 12 с.
- Изменения земных систем в Восточной Европе: Лялько В.И. (ред.). Киев: Фолиант, 2010. 581 с.
- Инфраструктура спутниковых геоинформационных ресурсов и их интеграция: Сб. науч. ст.: Попов М.А., Кудашев Е.Б. (ред.). Киев: Карбон-Сервис, 2013. 192 с.
- Информатизация аерокосмічного землезнавства: Довгий С.О., Лялько В.І. (ред.). Київ: Наукова думка, 2001. 606 с.
- Космос — Україні (Атлас дешифрованих знімків території України з КА "Океан" та інших космічних апаратів): Лялько В.І., Федоровський О.Д. (ред.). Київ: Наукова думка, 2001. 106 с.
- Костюченко Ю.В., Лялько В.І., Ющенко М.В., Мовчан Д.М., Копачевський І.М. Підхід до аналізу соціальної вразливості по відношенню до катастроф різного походження з використанням даних з різних джерел. Взаємозв'язки в системі продовольство, енергія та вода для сталого розвитку: інтегроване моделювання та надійне управління: Загородній А.Г., Єрмольєв Ю.М., Богданов В.Л., Єрмольєва Т.Ю. та ін. (ред.). Київ, 2020. С. 211—234.
- Лялько В.И. О возможности дистанционных геохимических поисков некоторых полезных ископаемых на основе лидарной спектроскопии. *Геол. журн.* 1979. Т. 39, № 5 (188). С. 19—25.
- Лялько В.И., Вульфсон Л.Д., Жарый В.Ю. Аэрокосмические методы в геоэкологии. Киев: Наукова думка, 1992. 206 с.
- Лялько В.И., Митник М.М. Дистанционные геотермические поиски полезных ископаемых. *Геол. журн.* 1975. Т. 35, № 6 (165). С. 27—46.
- Лялько В.И., Шаталов Н.Н. Использование аэрокосмической информации в геологии и смежных областях. *Геол. журн.* 1988. Т. 48, № 2 (239). С. 141—143.
- Лялько В.И., Митник М.М., Вульфсон Л.Д. Использование дистанционной тепловой и спектрометрической съемки для поисков нефтегазовых залежей и термальных вод. Киев, 1981. 46 с. (Препр. / ИГН АН УССР).
- Лялько В.І. Оцінка змін загального соціально-економічного розвитку України за роки незалежності на основі матеріалів космічних зйомок. *Вісн. НАН України*. 2018. № 5. С. 42—44. http://www.visnyk-nanu.org.ua/sites/default/files/files/Visn.2018/5/Visn_5-2018%2B12_Lyalko.pdf
- Лялько В.І., Попов М.О., Седлєрова О.В., Шаталов М.М. Стан і перспективи розвитку аерокосмічних досліджень Землі в Державній установі «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук

- Національної академії наук України». *Укр. журн. дистанційного зондування Землі*. 2018. № 18. С. 4—19. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2018.18.131>
- Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування: навч. посіб.: Довгий С.О., Лялько В.І., Бабійчук С.М., Кучма Т.Л., Томченко О.В., Юрків Л.Я. Київ: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. 316 с.
- Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки: Лялько В.І. (ред.). Київ: Наукова думка, 2015. 283 с.
- Словник із дистанційного зондування Землі: Лялько В.І., Попов М.О. (ред.). Київ: СМП АБЕРС, 2004. 170 с.
- Спутниковые методы поиска полезных ископаемых: Лялько В.И., Попов М.А. (ред.). Киев: Карбон-Лтд, 2012. 436 с.
- Сучасні методи дистанційного пошуку корисних копалин: Лялько В.І., Попов М.О. (ред.). Електронне видання. Київ, 2017. 220 с.
- Україна з космосу (Атлас дешифрованих знімків території України з космічних апаратів). 2-е вид.: Лялько В.І., Федоровський О.Д. (ред.). Київ: Наукова думка, 1999. 34 с.
- Чебаненко И.И., Шаталов Н.Н., Борисенко Л.С. Использование аэрокосмических снимков для выявления разломов и неотектонических движений Крыма и Приазовья. *Аэрокосмическое изучение современных и новейших тектонических процессов*: Сб. науч. тр. Москва: Наука, 1988. С. 12—16.
- Чебаненко И.И., Шаталов Н.Н., Потапчук И.С., Верховцев В.Г. Основные структуры Приазовского блока Украинского щита по аэрокосмическим данным. *Тектоносфера Украины*. Киев: Наукова думка, 1989. С. 80—86.
- Шаталов Н.Н. К вопросу об использовании результатов дешифрирования космо- и аэрофотоснимков при изучении особенностей геологического строения Восточного Приазовья. *Геол. журн.* 1982. Т. 42, № 1 (202). С. 68—76.
- Earth Systems Change over Eastern Europe*: Groisman P., Lyalko V.I. (Eds.). Kyiv: Akadempriodyka, 2012.
- Popov M., Fedorovsky O., Stankevich S., Filipovich V., Khyzhniak A., Piestova I., Lubskiy M., Svideniuk M. Remote Sensing Technologies and Geospatial Modelling Hierarchy for Smart City Support / *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume IV-5/W1, 2017, Geospace-2017, Kyiv, 4-6 December 2017. Kyiv, 2017. P. 51-56. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-5-W1-51-2017>
- Popov M.A., Stankevich S.A., Kostyuchenko Yu.V., Kozlova A.A. Analysis of local climate variations using correlation between satellite measurements of methane emission and temperature trends within physiographic regions of Ukraine. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*. 2019. Vol. 4, No. 2. P. 276-288. <https://dx.doi.org/10.33889/IJMEMS.2019.4.2-023Q2>
- Popov M.O., Topolnytskyi M.V., Titarenko O.V., Stankevich S.A., Andreiev A.A. Forecasting Gas and Oil Potential of Subsoil Plots via Co-analysis of Satellite, Geological, Geophysical and Geochemical Information by Means of Subjective Logic. *WSEAS Transactions on Computer Research*. 2020. Vol. 8, No. 11. P. 90-101. doi:10.37394/232018.2020.8.11
- Popov M., Michaelides S., Stankevich S., Kozlova A., Piestova I., Lubskiy M., Titarenko O., Svideniuk M., Andreiev A., Ivanov S. Assessing long-term land cover changes in watershed by spatiotemporal fusion of classifications based on probability propagation: The case of Dniester river basin. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2021. Vol. 22. P. 1-13. ISSN 2352-9385. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100477>

Надійшла до редакції 10.05.2022
Надійшла у ревізованій формі 21.05.2022
Прийнята 22.05.2022

REFERENCES

- Burshtinska Kh.V., Stankevich S.A. 2010. Aerocosmic surveying systems, Text book. Lviv: Lviv Polytechnic (in Ukrainian).
- Bystrevskaya S.S., Shatalov N.N. 1980. Deep structure of the earth's crust by cosmic images (on the example of the Eastern Priazovye). *Issledovaniye Zemli iz kosmosa*, 5: 10-16 (in Russian).
- Chebanenko I.I., Shatalov N.N., Borisenko L.S. 1988. Use of an astrocosmic image to detect faults and neotectonic movements of the Crimea and the Azov Sea. In: *Aerospace study of modern and newest tectonic processes*: Sat. sci. words. Moscow: Nauka, p. 12-16 (in Russian).
- Chebanenko I.I., Shatalov N.N., Potapchuk I.S., Verkhovtsev V.G. 1989. The basic structures of the Priazovsky block of the Ukrainian Shield for aerospace data. In: *Tectonosphere of Ukraine*. Kyiv: Naukova Dumka, p. 80-86 (in Russian).
- Dovgy S.O., Lyalko V.I. (Eds.). 2001. Informatization of aerospace agriculture. Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
- Dovgyi S.O., Lialko V.I., Babiichuk S.M., Kuchma T.L., Tomchenko O.V., Iurkiv L.Ya. 2019. Fundamentals of Remote Sensing: History and Practice: Guidance Manual. Kyiv: Institute of Gifted Child of the NAPS of Ukraine (in Ukrainian).
- Groisman P., Lyalko V.I. (Eds.). 2012. Earth Systems Change over Eastern Europe. Kyiv: Akadempriodyka.

- Kostyuchenko Yu.V., Lyalko V.I., Yuschenko M.V., Movchan D.M., Kopachevsky I.M. 2020. Multi-disaster vulnerability analysis using multisource data. FEW Nexus for Sustainable Development: Integrated Modeling & Robust Management. (Eds. Zagorodny A.G., Ermoliev Yu.M., Bogdanov V.L., Ermolieva T.Yu. et al.). Kyiv. pp. 211-234 (in Ukrainian).
- Lyalko V.I. (Ed.). 2010. *Changes in terrestrial systems in Eastern Europe*. Kyiv: Foliant (in Russian).
- Lyalko V.I. (Ed.). 2015. *Greenhouse effect and climate change in Ukraine: assessments and consequences*: Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
- Lyalko V.I. 1979. On the possibility of remote geochemical searches for some minerals based on lidar spectroscopy. *Geologičnij žurnal*, 39, 5 (188): 19-25 (in Russian).
- Lyalko V.I. 2018. Assessment of changes in the general socio-economic development of Ukraine during the years of independence on the basis of space survey materials. *Visnyk Nac. Acad. Nauk Ukrainy*, 5: 42-44. http://www.visnyk-nanu.org.ua/sites/default/files/files/Visn.2018/5/Visn_5-2018%2B12_Lyalko.pdf (in Ukrainian).
- Lyalko V.I., Fedorovsky O.D. (Eds.). 1999. *Ukraine from space* (Atlas of decoded pictures of the territory of Ukraine from space vehicles). 2ed. Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
- Lyalko V.I., Fedorovsky O.D. (Eds.). 2001. *Cosmos — Ukraine* (Atlas of decoded pictures of the territory of Ukraine with spacecraft "Ocean" and other space vehicles). Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
- Lyalko V.I., Mitnick M.M. 1975. Remote geothermal prospecting of minerals. *Geologičnij žurnal*, 35, 6 (165): 27-46 (in Russian).
- Lyalko V.I., Mitnik M.M., Wulfson L.D. 1981. Use of remote thermal and spectrometric surveys to search for oil and gas deposits and thermal waters. Kyiv: Preprint of IGN of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR (in Russian).
- Lyalko V.I., Popov M.A. (Eds.). 2004. *Reference book with remote sensing of the Earth*. Kyiv: SMP AVERS (in Ukrainian).
- Lyalko V.I., Popov M.A. (Eds.). 2012. *Satellite methods of searching for minerals*. Kyiv: Carbon-Ltd (in Russian).
- Lyalko V.I., Popov M.O. (Eds.). 2006. *Multispectral methods for remote sensing of the Earth in the problems of nature management*. Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
- Lyalko V.I., Popov M.O. (Eds.). 2017. *Modern methods of remote search for minerals*. Electronic publication. Kyiv (in Ukrainian).
- Lyalko V.I., Popov M.O., Sedlerova O.V., Shatalov M.M. 2018. The state and prospects of development of aerospace research of the Earth in the state institution "Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Science of the National Academy of Sciences of Ukraine". *Ukr. Journal of the Earth's Remote Sensing*, 18: 4-19. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2018.18.131> (in Ukrainian).
- Lyalko V.I., Shatalov N.N. 1988. Use of aerospace information in geology and related fields. *Geologičnij žurnal*, 48, 2 (239): 141-143 (in Russian).
- Lyalko V.I., Vulfson L.D., Zhary V.Yu. 1992. *Aerospace methods in geocology*. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Michak A.G., Filipovich V.E., Prikhodko V.L. et al. 2010. *Aerocosmic studies of the geological environment*. Sci. method. allowance. Ministry of Environmental Protection of Ukraine, State Geological Survey of Ukraine. Kyiv (in Ukrainian).
- Popov M.O., Topolnytskiy M.V., Titarenko O.V., Stankevich S.A., Andreiev A.A. 2020. Forecasting Gas and Oil Potential of Subsoil Plots via Co-analysis of Satellite, Geological, Geophysical and Geochemical Information by Means of Subjective Logic. *WSEAS Transactions on Computer Research*, 8, 11: 90-101. <https://doi.org/10.37394/232018.2020.8.11>
- Popov M., Fedorovsky O., Stankevich S., Filipovich V., Khyzhniak A., Piestova I., Lubyskiy M., Svideniuk M. 2017. Remote Sensing Technologies and Geospatial Modelling Hierarchy for Smart City Support / ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV-5/W1, 2017, Geospace-2017, Kyiv, 4-6 December 2017. Kyiv, 2017, pp. 51-56. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-5-W1-51-2017>
- Popov M., Michaelides S., Stankevich S., Kozlova A., Piestova I., Lubyskiy M., Titarenko O., Svideniuk M., Andreiev A., Ivanov S. 2021. Assessing long-term land cover changes in watershed by spatiotemporal fusion of classifications based on probability propagation: The case of Dniester river basin. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. Vol. 22. P. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100477>
- Popov M.A., Kudashev E.B. (Eds.). 2013. *Infrastructure of satellite geoinformation resources and their integration*: Sat. sci. words. Kyiv: Carbon-Service (in Russian).
- Popov M.A., Stankevich S.A., Kostyuchenko Yu.V., Kozlova A.A. 2019. Analysis of local climate variations using correlation between satellite measurements of methane emission and temperature trends within physiographic regions of Ukraine. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 4, 2: 276-288. <https://dx.doi.org/10.33889/IJMEMS.2019.4.2-023Q2>
- Shatalov N.N. 1982. On the use of the results of decoding of cosmic and aerial photographs in the study of the features of the geological structure of the Eastern Azov Sea. *Geologičnij žurnal*, 42, 1 (202): 68-76 (in Russian).
- State standard of Ukraine DSTU 4220: 2003 "Remote sensing of the Earth from space. Terms and definitions of concepts". 2003. Kyiv: State Standard of Ukraine (in Ukrainian).
- State standard of Ukraine DSTU 4758: 2007 "Remote sensing of the Earth from space. Data processing. Terms and definitions of concepts". 2007. Kyiv: State Standard of Ukraine (in Ukrainian).

Verkhovtsev V.G. 2008. The newest platform geostructures of Ukraine and the dynamics of their development. Extended abstract of Doctor's thesis. Kyiv (in Ukrainian).

Verkhovtsev V.G., Veremeyev P.S., Shatalov N.N. 1989. Ring structures of the Priazovsky block of the Ukrainian shield according to the interpretation of space images. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 6: 15-22 (in Russian).

Received 10.05.2022

Received in revised form 21.05.2022

Accepted 22.05.2022

V.I. Lyalko *, M.O. Popov, O.V. Sedlerova, A.V. Khyzhniak

State Institution "Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of IGS of NAS of Ukraine", Kyiv, Ukraine

E-mail: vilyalko31@ukr.net; casre@casre.kiev.ua

* Corresponding author

30TH ANNIVERSARY OF THE SCIENTIFIC CENTRE
FOR AEROSPACE RESEARCH OF EARTH OF THE INSTITUTE
OF GEOLOGICAL SCIENCE OF THE NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF UKRAINE: ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS
OF THE FURTHER DEVELOPMENT

The objective of the paper is to briefly highlight the history of the development of aerospace research of Earth in Ukraine and the contribution of domestic scientists to the study of natural resources by remote sensing methods. The paper was prepared in connection with the 30th anniversary of the State Institution "Scientific Centre for Aerospace Research of Earth of IGN NAS of Ukraine". The role of scientists of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine in the implementation of satellite imagery materials in solving current geological problems is shown. Owing to their scientific approaches it was possible to analyze the deep structure of the regions of Ukraine and build cosmogeological maps of different levels of generalization, create physical and mathematical models of heat and mass transfer processes of exploratory geothermal signal formation in the presence of mineral deposits, create the structural-geological map of the Eastern Azov region, obtain new data on the structure and history of geological development of the Azov's Sea.

Information on the organizational structure of the Scientific Center for Aerospace Research of the Earth and the achievements of the scientific team is provided. The analysis of the contribution to the development of aerospace research in Ukraine is made. Further prospects for the development of research in the field of remote sensing in Ukraine are considered. The strategy of research development lies in implementing the basic principles of the sustainable development of mankind defined by UN resolutions by providing three major components of life, namely - food, drinking water, and energy. The development of modern methods and technologies for the use of hyperspectral aerospace surveys and computer modeling of energy and mass transfer processes in the Earth's geospheres plays an important role in solving this problem. Finally, a list of selected publications of the staff of the Center is given.

Keywords: *remote sensing of the Earth; energy and mass exchange in geosystems; models of physical processes; sustainable development.*