



ФЕДОРОВ

Олег Павлович — член-кореспондент НАН України, директор Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України, голова наукової ради цільової програми наукових досліджень НАН України «Аерокосмічні спостереження довкілля в інтересах сталого розвитку та безпеки як національний сегмент проекту «Горизонт-2020» ERA-Planet»

ПРО РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ЦІЛЬОВОЇ ПРОГРАМИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН УКРАЇНИ «АЕРОКОСМІЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ДОВКІЛЛЯ В ІНТЕРЕСАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТА БЕЗПЕКИ ЯК НАЦІОНАЛЬНИЙ СЕГМЕНТ ПРОЄКТУ «ГОРИЗОНТ-2020» ERA-PLANET» НА 2018–2020 рр.

Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 17 лютого 2021 року

У доповіді наведено найважливіші результати виконання цільової програми наукових досліджень НАН України «Аерокосмічні спостереження довкілля в інтересах сталого розвитку та безпеки як національний сегмент проекту «Горизонт-2020» ERA-Planet». Зазначено, що отримані результати відповідають загальносвітовим тенденціям розвитку досліджень на основі аерокосмічних спостережень та сприяють входженню науковців НАН України до Європейського дослідницького простору. Запропоновано продовжити виконання цієї програми у 2021–2023 рр.

Шановний Анатолію Глібовичу!

Шановні колеги!

Як відомо, 25 вересня 2015 р. Генеральна Асамблея ООН затвердила Порядок денний сталого розвитку на період до 2030 р., в якому світові лідери, зокрема, визнали ключову роль, яку відіграють космічні спостереження та геопросторова інформація у забезпеченні нової якості екологічного моніторингу та досягненні Цілей сталого розвитку. На виконання політичних рішень було створено міжурядову групу GEO (Group of Earth Observation), що забезпечує співпрацю провідних світових центрів та установ у сфері спостереження Землі і об'єднує 105 країн-учасниць та 126 авторитетних міжнародних організацій. Основою ідеєю цієї масштабної та амбіційної ініціативи є спільне застосування даних дистанційних і наземних

спостережень та результатів моделювання для вирішення прикладних завдань високої соціальної значущості. Для цього було започатковано міжнародну програму зі створення Системи систем спостереження Землі – GEOSS (Global Earth Observation System of Systems).

Людство використовує супутникові технології вже майже 40 років, і сьогодні ми є свідками переходу до нового етапу, на якому дистанційні дані справляють трансформаційний вплив на процеси вирішення низки глобальних завдань, таких як моніторинг та захист вразливих екосистем, забезпечення стійкості інфраструктури, управління кліматичними ризиками, охорона здоров'я, підвищення рівня продовольчої безпеки, створення більш стійких міст, зниження рівня бідності, поліпшення управління тощо. Унікальна роль супутникових даних стала предметом розгляду I Всесвітнього форуму ООН з даних щодо сталого розвитку (2017), на якому було схвалено так званий Кейптаунський глобальний план дій, а одним зі стратегічних напрямів удосконалення системи глобальних індикаторів визначено застосування нових технологій і джерел даних у статистичній діяльності та інтеграцію геопросторової інформації в підготовку статистичних даних.

Отже, у моніторингу досягнення Цілей сталого розвитку супутникові дані виконуватимуть фундаментальні функції, які дають змогу: 1) забезпечити працездатність створюваної системи індикаторів; 2) сформувані підґрунтя для надання більш своєчасних статистичних результатів та зменшення частоти обстежень; 3) підвищити точність звітування завдяки більшому просторовому охопленню; 4) збільшити обсяги статистичних даних, забезпечити зіставність загальних статистичних даних та деталізацію індикаторів.

Нинішні пріоритети діяльності GEOSS свідчать про досягнення світовою спільнотою якісно нового технологічного рівня у створенні основ цифрової економіки, методології оброблення великих масивів даних (Big Data) та ефективності використання супутникової інформації. Система моніторингу глобальної

структури показників є підґрунтям для впровадження принципів сталого розвитку в національну політику, що потребуватиме інтеграції та експлуатації багатьох нових наборів даних, серйозної модернізації національних статистичних і геопросторових систем. Одним із важливих результатів застосування даних супутникового моніторингу є розроблення та впровадження спільних зі світовою спільнотою методів оцінювання індикаторів сталого розвитку.

З огляду на те, що ця ініціатива поєднує як національні, так і глобальні інтереси, українські фахівці активно долучилися до неї, орієнтуючись насамперед на європейський сегмент діяльності GEO. Європейським внеском у GEOSS є флагманський проект європейської космічної програми Copernicus, яка є частиною дослідницької програми ЄС «Горизонт-2020». Спочатку було організовано кілька консорціумів, а з 2016 р. розпочалося створення Європейського дослідницького простору (ERA) в галузі космічного моніторингу. У 2018 р. започатковано структуру EuroGEO, в яку входять і представники України.

Для України залучення до цієї міжнародної ініціативи має принципово важливе значення як з огляду на національні інтереси, так і в контексті євроінтеграційних процесів, оскільки вже зараз деякі органи виконавчої влади мають надавати в міжнародні інстанції поточну інформацію щодо індикаторів сталого розвитку з використанням супутникових даних, але чинна в Україні система ведення документації лише частково відповідає ідеології Порядку денного – 2030 і недостатньо застосовує для оцінювання кількісні показники. Відповідна робота на національному рівні тільки-но розпочалася і надалі потребуватиме злагодженої взаємодії різних державних інституцій та наукових установ, а також координації на міжнародному рівні.

Великий проект за участю України ERA-Planet (The European Network for Observing our Changing Planet) у рамках програми ЄС «Горизонт-2020» розрахований до 2021 р., надалі планується його продовження в рамках

нової структури EuroGEO. Про незвичність і складність цього проєкту свідчить той факт, що в процесі його виконання не всі змогли впоратися з поставленими завданнями і кількість учасників проєкту зменшилася. На сьогодні в ньому беруть участь 35 установ з різних країн Європи. Особливостями ERA-Planet є його мультидисциплінарність та можливість використання даних на безоплатній основі, переважно з європейської системи Copernicus.

Проєкт ERA-Planet передбачає двостороннє фінансування: третину грошей (11 млн євро) виділяє Європейська комісія, решту — країни-учасниці. Така схема фінансування зумовлена тим, що кожна держава при цьому вирішує свої національні завдання, але на основі спільної для всіх методологічної бази.

Україна бере участь в ERA-Planet від самого початку проєкту, а національну частину фінансування забезпечила Національна академія наук України через започаткування цільової програми наукових досліджень НАН України «Аерокосмічні спостереження довкілля в інтересах сталого розвитку та безпеки як національний сегмент проєкту «Горизонт-2020» ERA-Planet». Координатором українського сегменту проєкту є Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України.

Проєкт ERA-Planet розділено на чотири підпрограми, у трьох з яких беруть участь українські науковці:

- SMURBS (SMart URBan) — відпрацювання рішень для моніторингу якості повітря, надзвичайних ситуацій, стихійних лих та зростання міст;
- GEOEssential — визначення істотних змінних на основі супутникових даних для реалізації Nexus-підходу;
- IGOSP — відпрацювання можливостей моніторингу стану довкілля, а також визначення індикативних ознак для умов, сприятливих для поширення сталих органічних забруднювачів.

Тут, мабуть, варто дещо детальніше пояснити суть другої підпрограми. Під терміном «істотні змінні» (Essential Variables — EVs) розуміють мінімальний набір змінних, які визна-

чають стан системи та її розвиток, мають вирішальне значення для прогнозування розвитку системи та дозволяють визначати метрики, що контролюють траєкторію системи. Оскільки число показників моделі може бути дуже великим, для моделювання відбирають головні з них, без яких модель втрачає сенс. Істотні змінні мають бути модулями, а не фізичними чи біохімічними характеристиками, тому кожна з них визначається як за певними алгоритмами, так і вибором рівня організації, на якому виникає потрібний модуль, що однозначно забезпечує прогнозовану поведінку системи. Визначення істотних змінних з точки зору методології побудови системи моніторингу Цілей сталого розвитку є ланцюгом, який поєднує дані вимірювань, моделі екосистем та індикатори сталого розвитку. Водночас EVs є потужним інструментом оцінювання, який підвищує рівень розуміння фахівцями змін в екосистемах та дозволяє формувати відповідну політику. Однак вибір EVs передбачає процес узгодження того, що є важливим для відповідних цілей, оскільки в різних фахових спільнотах традиційно склалися відмінні методології та критерії відбору EVs. На сьогодні тематичними галузями з практично сформованим списком EVs є «Клімат» (ECV), «Океан» (EOV) та «Біорізноманіття» (EBV). Наближається до узгодження комплекс EVs для тематики водного середовища та сільського господарства (в рамках GEOSS). Триває узгодження наборів EVs в таких галузях, як ліквідація катастроф, охорона здоров'я, збереження екосистем.

Що стосується Nexus-підходу (від лат. *nexus* — зв'язувати), то в оцінюванні Цілей сталого розвитку він став ключовим для опису складних взаємозв'язків між сферами забезпечення людства продовольством, енергією і водою (Food, Energy, Water — FEW). Традиційно більшість глобальних викликів, хоча вони і тісно пов'язані один з одним, вирішують окремо, при цьому рішення, реалізовані в одному секторі, можуть мати непередбачені і навіть небезпечні наслідки в інших секторах. Nexus-підхід передбачає вивчення взаємодії між різними секторами і переведення управління ресур-

сами від ізольованих до інтегрованих форм, а також вжиття економічно ефективних заходів щодо визначення спільних переваг у рамках певних ланцюгів виробництва продукції. Це важлива методична проблема, яка має вирішуватися на національному рівні.

Труднощі в застосуванні Nexus-підходу можна розділити на фундаментальні і технологічні. До перших належать проблеми формулювання економічних індикаторів, на які впливають компоненти систем FEW. Серед технологічних труднощів можна назвати насамперед обмежену спостережуваність, що ускладнює збирання даних (наприклад, дуже важко вивчати розподіл підземних вод чи енергії вітру). Друга проблема полягає в тому, що невеликі набори даних, зібрані з різних джерел у різних регіонах, часто не є зіставними. Третя — у відсутності ефективних протоколів обміну даними між секторами та країнами. Тому для використання Nexus-підходу потрібно докласти значних зусиль. На сьогодні вже є певні успіхи в деяких соціальних напрямках, але вирішення проблем на рівні геоінформаційних завдань (збирання, інтеграція, керування, аналіз та візуалізація просторових даних) ще попереду.

Отже, у цільовій програмі наукових досліджень НАН України брали участь Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Інститут біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України, Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України, Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, а також як співвиконавці — співробітники Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України, Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського ДСНС України, ННК «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», Інституту громадського здоров'я ім. О.М. Марзєва НАМН України, інжинірингової школи «Association Noosphere».

Переходячи до огляду результатів виконання програми, насамперед хотів би відзначити

два головних аспекти. По-перше, це створення власне українського сегменту ERA-Planet-UA. Було проведено велику роботу з метою налагодження координації дій, вирішено багато організаційних питань. Як я вже говорив, далеко не всім учасникам проекту вдалося подолати цей етап. Далі було визначено і узгоджено методики і технології комплексного використання аерокосмічних даних та даних наземних спостережень у системі моніторингу природних ресурсів, зокрема агроресурсів, що особливо важливо для України, а також перелік індикаторів та істотних змінних моніторингу природних ресурсів, у тому числі екологічного стану ландшафтів, систем землекористування, ґрунтового покриву, посівів, прогнозування урожаю тощо. По-друге, це розроблення нових, адаптованих до національних потреб та гармонізованих зі світовими вимогами інформаційних технологій, методик обробки даних супутникового спостереження Землі, відповідних сервісів, зокрема впровадження нових технологій аналізу та прогнозування виникнення екстремальних природних і техногенних явищ, таких як посухи, підтоплення, підвищений рівень забруднення та ін.

Наведу лише кілька прикладів отриманих за цією програмою результатів, які вже впроваджено в діяльність як українських органів влади, так і європейських структур і які вже використовуються як наукове підґрунтя для прийняття управлінських рішень, а в майбутньому застосовуватимуться для оцінювання індикаторів сталого розвитку у створюваній глобальній системі систем спостереження за Землею GEOSS та її європейському сегменті EuroGEO.

Так, українські фахівці розробили, протестували та представили результати такого оцінювання для кількох індикаторів сталого розвитку (відповідно до резолюції Генеральної Асамблеї ООН «Перетворення нашого світу: Порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року»):

- індикатор 15.3.1 «Частка деградованих земель від загальної земельної площі» — використовується для звітування Міністерства

розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України перед міжнародними організаціями;

- індикатор 2.4.1 «Частка сільськогосподарських земель в умовах продуктивного та сталого сільського господарства» — цю технологію, розроблену на основі Nexus-підходу, впроваджено у віртуальній лабораторії VLab (<https://vlab.geodab.eu/>) проєкту ERA-Planet;

- індикатор 15.1.1 «Лісова площа як частка загальної земельної площі»;

- індикатор 11.3.1 «Відношення показника землекористування до показника приросту населення».

Зазначені індикатори є одними з найбільш затребуваних при оцінюванні екологічного стану довкілля, забезпечення продовольчої безпеки, а також для звітування України перед міжнародними організаціями. Методології обчислення індикаторів 2.4.1; 15.1.1; 15.3.1 розроблено в Інституті космічних досліджень НАН України та ДКА України з використанням супутникових та наземних даних, істотних змінних, індексів вегетації та метеорологічних даних.

Створено базу метеорологічних і фенологічних даних для розрахунку параметрів продуктивності посівів за 2003–2017 рр. Проведено калібрування біофізичної моделі з розрахунком біологічних коефіцієнтів відповідних сільськогосподарських культур за результатами польових експериментів на агрометеорологічних станціях України. Виконано геоінформаційне моделювання параметрів продуктивності посівів озимої пшениці, кукурудзи, соняшника, сої та ячменю в Україні за допомогою моделі WOFOST. Розроблено інформаційну технологію оцінювання продуктивності землі для території України за супутниковими даними. Створено карту продуктивності землі та карти земного покриття для всієї території України з високим просторовим розрізненням.

Порівнюючи отримані дані, можна дійти висновку, що в Україні спостерігається позитивна динаміка зростання продуктивності: для всіх земель — з 46,19 до 48,24% і для сільськогосподарських угідь — з 37,6 до 42,8%, що можна пояснити впровадженням на великих

аграрних підприємствах практики ефективного ведення сільського господарства. Однак площа з негативною тенденцією вегетаційного індексу залишається досить великою і становить понад 29 млн га. Зокрема, негативні значення індексу продуктивності є характерними для Сходу України та Криму через погіршення ситуації з доступом до води, а також для Західної України через масове вирубування лісів.

Розроблено хмарне сховище геопросторової інформації інфраструктури SMURBS для інтеграції у GEOSS API, створено програмний каркас для автоматичного заповнення сховища, забезпечено можливість демонстрації інтерактивних карт і динамічних звітів, які супроводжуються некартографічною інформацією: текстами, зображеннями, діаграмами тощо. Розроблено перші прототипи інформаційно-аналітичної системи на основі платформ відкритих даних DKAN та SKAN.

Створено єдину інформаційно-ресурсну концепцію оцінювання впливу глобальних кліматичних змін на резервуари та потоки парникових газів. Зокрема, оцінено інтенсивність дихання рослин і мікроорганізмів, проведено аналіз кількості меланінвмісних мікроміцетів у наземних екосистемах модельних ботаніко-географічних експозицій Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України та біосферного степового заповідника «Асканія-Нова» ім. Ф.Е. Фальц-Фейна. Запропоновано методологію оцінювання динамічних резервуарів карбону та нітрогену у фітоценозах, за допомогою якої розроблено екологічно безпечний інгібітор нітрифікації, що характеризується пролонгованою дією і є ефективнішим порівняно із закордонними аналогами.

Розроблено також міський атлас Києва за методологією, сумісною з сервісом Urban Atlas програми Copernicus, яка ґрунтується на застосуванні супутникових даних та класифікації земного покриття з використанням методів машинного навчання власної розробки та геостатистичного аналізу щільності забудови за векторною картою міста. При цьому Київ став першим містом за межами Європейського Союзу, для якого створено такий продукт. У по-

дальшому цю технологію можна застосувати й для інших міст України. У процесі створення й експлуатації Urban-атласу Києва ми тісно співпрацюємо з Київською міською державною адміністрацією і надаємо інформацію щодо забудови міста, осередків з підвищеним рівнем забруднення. Запропоновано також метод визначення населених пунктів у зоні ризику торфових пожеж, оснований на оцінюванні температури земної поверхні за даними супутників Landsat-7, Landsat-8. Здійснено апробацію методу для території Київської області.

Проаналізовано можливості поліпшення моніторингу якості атмосферного повітря з використанням наземних і супутникових вимірювань частинок пилу (PM_{2.5}/PM₁₀). Результати представлено у вигляді інформаційного вебсервісу, на якому наведено дані вимірювання істотної змінної — вмісту PM_{2.5}/PM₁₀ за супутниковими та наземними даними. Проведено комплекс вимірювань концентрації твердих аерозольних частинок та приземного озону за допомогою мобільних лазерних моніторів та оцінено рівень забруднення ними повітря.

Розроблено методичні основи та здійснено полігонну перевірку впливу забруднення доквілля нафтопродуктами і важкими металами за допомогою прецизійних гіперспектральних та газометричних наземних і супутникових досліджень ветландів на території України. Досліджено стан рослинності тестових ділянок ветландів, що зазнали впливу антропогенного забруднення.

Як я вже зазначав, однією з характерних ознак обговорюваної сьогодні програми є її мультидисциплінарність. Так, дуже плідною виявилася наша співпраця з Інститутом біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України, співробітники якого дослідили вплив твердих частинок аерозолію від згоряння органічних речовин на функціональний стан нервових клітин людини і показали, що такі наночастинки пластикового диму можуть призводити до дисбалансу процесів збудження-гальмування у центральній нервовій системі. Цей приклад, на мою думку, добре ілюструє, як практика викорис-

тання базових індикаторів сталого розвитку на національному рівні створює підґрунтя для їх модифікації з огляду на специфіку і конкретні умови кожного регіону.

Іншою особливістю програми є високий ступінь залученості молоді до її виконання. Майже всі інформаційні продукти, розроблені за цією програмою, створено молодими вченими, навіть студенти беруть активну участь у багатьох науково-дослідних роботах. З огляду на розвиток цього напрямку ми започаткували в Київському академічному університеті підготовку магістрів за спеціалізаціями «Космічні інформаційні технології», «Основи аналізу супутникових даних».

Результати досліджень за програмою було представлено на робочих нарадах за підпрограмами SMURBS, GEOEssential та IGOSP, багатьох тематичних конференціях, круглих столах. Дві запрошені доповіді наших учених було зроблено на дуже авторитетному у світі заході, який проходить щорічно, — так званому Міністерському саміті GEO Week (Канберра, Австралія, жовтень 2019 р.). Це свідчить про високу зацікавленість фахової світової громадськості в результатах наших досліджень. Загалом за програмою підготовлено 1 монографію, опубліковано аналітичну доповідь «Перспективи використання супутникової інформації для моніторингу досягнення цілей сталого розвитку України»*, 82 наукові статті, 63 тези доповідей на міжнародних та вітчизняних наукових конференціях, подано 3 заявки на винаходи.

Дуже хотілося б сподіватися на більш широкую підтримку цих робіт з боку органів державної влади, оскільки, як я вже говорив, наші продукти впроваджено в діяльність Мінекономіки, Держстату, Мінагрополітики, Мінприроди, КМДА, і ми продовжуємо їх супровід та вдосконалення. Зараз готується загальнодержавна науково-технічна космічна програма на 2021–2025 рр., в якій в окремий розділ винесено створення інформаційної системи UkrGEO як

*<https://files.nas.gov.ua/PublicMessages/Documents/0/2020/12/201211203540797-7518.pdf>

національного сегменту міжнародної системи GEOSS та національного внеску до європейської програми Copernicus та EuroGEO. Звісно, прийняття такої програми додало б ваги нашим дослідженням на національному рівні.

Важливо також, що результати, отримані за цією програмою, затребувані й на міжнародному рівні. Так, нас уже включено в проекти нової програми європейської організації EuroGEO, яка продовжуватиме й розширюватиме дослідження, започатковані у проекті ERA-Planet. Зокрема, оформлюється угода щодо продовження зазначених робіт у рамках консорціуму E-Share щодо розвитку сервісів з моніторингу індикаторів Цілей сталого розвитку у сфері сталого розвитку сільського господарства. За підтримки компанії Amazon, яка надала можливість використання її хмарних серверів, ми беремо участь у міжнародному проекті «Методологія оцінювання цілей сталого розвитку для України, Аргентини та Індії» (17 країн-учасниць). Також ми є учасниками проекту Програми розвитку ООН «Сприяння сталому управлінню тваринництвом та збереження екосистем у Північній частині України», який фінансується Глобальним екологічним фон-

дом на загальну суму \$7,8 млн. Розроблені нами моделі машинного навчання впроваджуються в проекті Світового банку «Підтримка прозорого землекористування в Україні» за фінансової підтримки Єврокомісії. Крім того, наш проект «Deep Green Ukraine» став переможцем національного конкурсу IT-проектів «Open Data Challenge», організованого Міністерством цифрової трансформації України в рамках програми USAID/UK aid «Прозорість та підзвітність у державному управлінні та послугах».

Отже, ми звертаємося до Президії НАН України з пропозицією продовжити термін виконання цільової програми наукових досліджень НАН України «Аерокосмічні спостереження довкілля в інтересах сталого розвитку та безпеки» на 2021–2023 рр. На нашу думку, це дозволить синхронізувати дослідження Національної академії наук України, Державного космічного агентства України та європейської дослідницької спільноти у сфері космічних спостережень Землі.

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик

Oleg P. Fedorov

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0245-6509>

Space Research Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ON THE RESULTS OF THE IMPLEMENTATION OF THE TARGET RESEARCH PROGRAM OF THE NAS OF UKRAINE "AEROSPACE OBSERVATIONS OF THE ENVIRONMENT IN THE INTERESTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND SECURITY AS A NATIONAL SEGMENT OF THE PROJECT "HORIZON 2020" ERA-PLANET" FOR 2018-2020

Transcript of the report at the meeting of the Presidium of the NAS of Ukraine, February 17, 2021

The report presents the most important results of the implementation of the target research program of the NAS of Ukraine "Aerospace Observations of the Environment in the Interests of Sustainable Development and Security as a National Segment of the Project "Horizon 2020" ERA-PLANET." It is noted that the obtained results correspond to the global trends of research development in aerospace observations and contribute to the entrance of scientists of the NAS of Ukraine into the European research space.