

**ФЕДОРОВ**

**Олег Павлович** –

доктор фізико-математичних

наук, директор Інституту

космічних досліджень

НАН України та ДКА України

## **ДОСЛІДЖЕННЯ БЛИЖНЬОГО КОСМОСУ: ДОСЯГНЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

**За матеріалами наукової доповіді  
на засіданні Президії НАН України  
26 лютого 2014 року**

---

*Розглянуто основні підходи до реалізації наукового космічного експерименту «Іоносат-Мікро», спрямованого на дослідження динамічних процесів у іоносфері Землі. Проект ґрунтується на комплексних наземно-космічних дослідженнях ближнього космосу, проведених у попередні роки кооперацією українських учених. Передбачається, що цей експеримент закладе основи масштабного проекту з моніторингу ближнього космосу за допомогою багатосупутникового угруповання «Іоносат».*

**Ключові слова:** іоносфера Землі, проект «Іоносат», ближній космос, космічна погода.

### **Вступ**

---

Вітчизняний досвід і досягнення в космічній сфері насамперед пов'язані з ракетно-космічною технікою. Космічний статус України визначається високим рівнем використання на світових ринках ракет-носіїв вітчизняного розроблення. Відомі також досягнення наших фахівців у супутникових проектах: за останні 20 років виготовлено й успішно запущено понад 400 космічних апаратів різного призначення. Однак ці проекти здійснювалися в рамках радянських (російських) програм досліджень. Українські вчені були в них співвиконавцями, а основний внесок належав фахівцям ДП «КБ «Південне» як розробникам космічних апаратів й інтеграторам спеціальної та дослідницької апаратури. Тому підготовка і реалізація власного проекту, авторами ідеї та основними виконавцями якого були б українські вчені й інженери, є принципово важливим завданням. Йдеться, власне, не лише про проект, а й про демонстрацію здатності українського космічного співтовариства вирішувати масштабні завдання з дослідження і використання космічного простору, виступати партнером космічних держав і

міжнародних організацій у практичному здійсненні актуальних завдань космічної науки. З нашого погляду, таким проектом має стати комплекс наземно-космічних досліджень ближнього космосу.

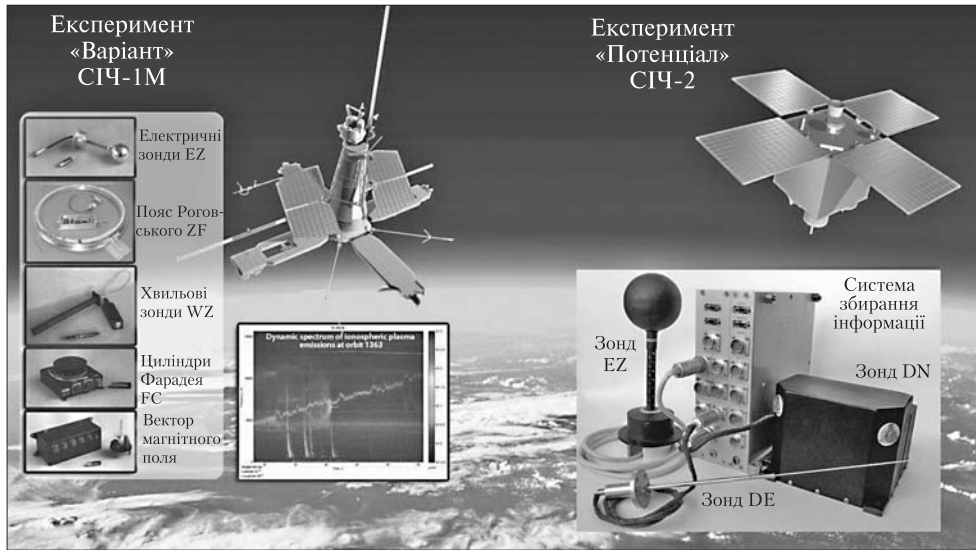
### Коротка історія досліджень ближнього космосу в Україні

Дослідження ближнього космосу (вживають також терміни «навколоземний космічний простір», «геокосмос»), до якого відносять верхню атмосферу, іоносферу та магнітосферу, є традиційним пріоритетом української космічної науки. Цьому сприяє багаторічний досвід до-

сліджень, потужний потенціал наземних засобів і розгалужена мережа дослідницьких центрів: Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Кримська астрофізична обсерваторія, Радіоастрономічний інститут НАН України, Харківський і Київський національні університети, Інститут іоносфери НАН України і МОН України, Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України і його Львівський центр та інші установи. Апаратура для діагностики іоносферної і магнітосферної плазми, виготовлена у Львівському центрі ІКД НАН України і ДКА України (раніше – СКТБ ФМІ), починаючи з 1972 р. успішно працювала в більш як 15 космічних експериментах.

### Супутникові дослідження ближнього космосу за участю України

Проект (агентство)	Космічна система	Реалізація	Предмет дослідження, завдання
«Інтербол» (Роскосмос)	2 супутники + 2 субсупутники	Запущений 1995 р., КА «Інтербол-2» (Tail Probe), функціонував до 1999 р.	Морфологія магнітосфери, динамічні процеси в магнітосфері
«Попередження» (НКАУ)	3 супутники	Наукова програма, ескізний проект	Вплив на іоносферу знизу, іоносферні провісники землетрусів
«Інтербол-прогноз» (Роскосмос, НКАУ)	2 кластери мікросупутників	Концепція, технічні пропозиції	Комбіновані спостереження іоносфери і магнітосфери
«Варіант» (НКАУ)	Супутник ДЗЗ «Січ-1М»	Запущений 2004 р., реалізований на початку 2005 р.	Вимірювання електромагнітних полів і струмів у іоносфері
«Компас-2» (Роскосмос)	Мікросупутник	Запущений 2006 р.	Іоносферні провісники землетрусів
«Коронас-Фотон» (Роскосмос)	Супутник	Запущений та реалізований 2009 р.	Сонце та сонячно-земні зв'язки
«Обстановка» (Роскосмос)	МКС	Реалізація починаючи з 2013 р.	Електромагнітна обстановка навколо МКС
«Потенціал» (НКАУ)	Мікросупутник ДЗЗ «МС-2-8» (проект «Січ-2»)	Запущений 2011 р., реалізований у 2011–2012 рр.	Реєстрація параметрів нейтральної атмосфери і плазми
«Радіоастрон» (Роскосмос)	Супутник	Запущений 2011 р.	Радіоастрономія, фізика плазми
«Чибис» (Роскосмос)	Мікросупутник	Запущений 2012 р.	Активність блискавки, геофізичний моніторинг
«Іоносат-Мікро» (ДКАУ)	Мікросупутник	Запуск після 2014 р.	Іоносфера, космічна погода, геофізичні ефекти в космосі
«Резонанс» (Роскосмос)	2 супутники	Запуск після 2014 р.	Мазерні ефекти в магнітосфері



Перші українські експерименти у ближньому космосі на космічних апаратах серії «Січ»

Нині готується кілька проектів, у яких планується задіяти розроблену в ЛЦ ІКД апаратуру. Передусім це міжнародний експеримент «Обстановка» на російському сегменті МКС.

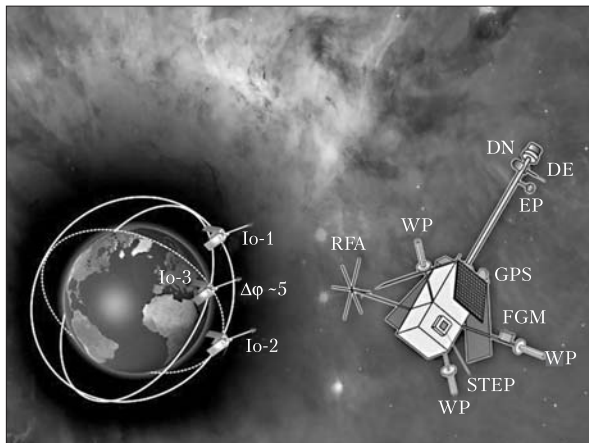
Наземні засоби моніторингу включають радар некогерентного розсіювання в Харкові (Інститут іоносфери), мережу геофізичних обсерваторій, у тому числі апаратуру на антарктичній станції «Академік Вернадський» (РІ НАН України), стенди акустичного зондування іоносфери (ЛЦ ІКД) та ін. Українські вчені беруть участь у кількох міжнародних координаційних групах з досліджень космічної погоди, є учасниками міжнародних проектів Сьомої рамкової програми з цієї тематики. У таблиці наведено найважливіші проекти за участю України.

**Проект «Інтербол» (1997–2003)** — один із найуспішніших міжнародних проектів з вивчення магнітосфери та сонячно-земних зв'язків. Керування КА і приймання наукової інформації забезпечував Національний космічний центр у Євпаторії, у виготовленні бортової апаратури брав участь ЛЦ ІКД, дані обробляли в кількох наукових центрах. Отримано пріоритетні результати щодо процесів геомагнітної активності, динаміки магнітосферних процесів при взаємодії сонячного вітру із Землею. Участь

українських учених у використанні космічних даних і публікаціях була досить скромною, проте наші дослідники набули позитивного досвіду роботи в міжнародній команді. Крім того, у Києві відбувся симпозіум «Інтербол-2000», на якому було обговорено перспективи подальших досліджень у цьому напрямі.

**Проект «Попередження»** — модернізована версія космічного проекту, запропонованого ще в радянські часи вченими ИЗМИРАН (рос. *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн*) з метою пошуку іоносферних провісників землетрусів. Планувався запуск угруповання КА у складі основного супутника і двох субсупутників з апаратурою для вимірювань параметрів іоносферної плазми. Було здійснено фундаментальне опрацювання проблеми, започатковано наукову програму, розроблено ескізний проект космічної системи, створено міжнародну кооперацію, але реалізувати проект не вдалося через відсутність фінансування. Втім, напрацювання в рамках цього проекту частково було втілено в космічних експериментах «Варіант» і «Потенціал», планується також використати їх у перспективному проекті «Іоносат».

**«Варіант»** — космічний експеримент (2005 р.) під час польоту супутника «Січ-1М», який



Загальна схема проекту «Іоносат»

охоплював комплекс вимірювань електричних струмів та електромагнітних полів іоносферної плазми. Міжнародний колектив з Великої Британії, Польщі, Франції, Росії та України під науковим керівництвом українських учених (д.т.н. В.Є. Корепанов), спираючись на високий рівень характеристик нової дослідницької апаратури, отримав низку цікавих результатів, однак обсяг даних виявився обмеженим унаслідок надто короткого часу активного існування КА.

**«Іоносфера»** — проект, призначений для створення системи підсупутникового моніторингу для вивчення закономірностей і взаємодій у ланцюжку атмосфера — іоносфера — магнітосфера Землі. Зокрема, досліджували процес передавання енергії від поверхні Землі в іоносферу акустичним каналом із застосуванням апаратури французького супутника DEMETER. Фахівці ЛЦ ІКД здійснили проектування й виготовлення апаратури для діагностики іоносферної та магнітосферної плазми в рамках російських проектів «Чибис», «Резонанс», «Обстановка».

**«Потенціал»** — космічний експеримент (2011 р.) на борту КА «Січ-2» як продовження експерименту «Варіант» та етап підготовки проекту «Іоносат». Крім модернізованих датчиків електромагнітних полів (ЛЦ ІКД) до комплексу апаратури входять датчики нейтральної та зарядженої компоненти атмо-

сферних газів (ІТМ НАН України), а також нова система збирання наукової інформації (ЛЦ ІКД).

На основі одержаних результатів українська наукова спільнота висунула ідею підготовки та реалізації комплексу наземно-космічних експериментів із застосуванням національних космічних засобів. У цьому матеріалі зроблено спробу стислого попереднього аналізу проекту «Іоносат-Мікро» і перспектив здійснення на його основі масштабного космічного наукового проекту «Іоносат» у рамках Національної космічної програми. Саме на цьому етапі важливо усвідомити потенційні переваги й обмеження малого проекту, виробити підходи до ефективної реалізації проекту «Іоносат» у цілому. Нижче наведено деякі міркування щодо параметрів, які визначають ефективність заходів з підготовки та реалізації проекту.

### Актуальність поставлених завдань та їх наукова значущість

Основне призначення проекту «Іоносат-Мікро» — здійснення наукової іоносферної місії. Формування його наукових завдань відбувалося в процесі тривалого еволюційного розвитку, а концептуальні положення вперше було сформульовано наприкінці 90-х років під час розроблення нереалізованої місії «Попередження». Тоді ж велика група вчених під керівництвом академіка Л.М. Литвиненка (керівник проекту), чл.-кор. Ю.М. Ямпольського (наземний сегмент) і д.т.н. В.Є. Корепанова (приладовий комплекс) підготувала концепцію наукової програми.

Наукова проблематика проекту «Іоносат-Мікро» значною мірою успадкувала ці концептуальні положення. Слід зазначити, що відносно обмежений проект «Іоносат-Мікро» (передбачає лише один мікросупутник) має стати першою фазою повномасштабного проекту «Іоносат» на основі космічного кластера з трьох апаратів, як і було заплановано в проекті «Попередження». Тому значущість наукових результатів істотно залежатиме від того, якою мірою реалізація малого проекту слугуватиме

методичним підґрунтям для здійснення повномасштабного проекту «Іоносат».

Загальна мета проекту полягає у вивченні динамічних процесів у іоносфері в широкому діапазоні просторових і часових масштабів за допомогою узгоджених космічних і наземних вимірювань, пошуку взаємозв'язку іоносферних збурень з процесами на Сонці, в магнітосфері, атмосфері та внутрішніх оболонках Землі. Така мета зумовлена специфічною роллю іоносфери, яка є зоною взаємодії Землі з ближнім космосом і з нейтральною атмосферою. Систематичні вимірювання параметрів іоносфери — ключ до вивчення механізмів формування іоносферного відгуку на дії «зверху» і «знизу».

Починаючи з 80-х років ХХ ст. і донині найактуальнішим завданням космічних експериментів у іоносфері вважають моніторинг динамічних процесів. Саме цей напрям забезпечить розуміння картини циркуляції речовини в навколосемному космосі та зв'язку динамічної структури іоносфери із сонячною і магнітною активністю, створення спостережної бази для розроблення й уточнення моделей верхньої атмосфери, іоносфери і магнітного поля Землі, вивчення морфологічної структури іоносферних хвильових полів та їх взаємозв'язку з космічними й земними джерелами.

### **Перспективи практичного використання результатів проекту**

Один із важливих прикладних аспектів проекту полягає в діагностуванні іоносферних проявів космічної погоди. Важливість завдання моніторингу космічної погоди зумовила включення цієї проблеми до Європейської програми оповіщення в інтересах безпеки (Space Situational Awareness). У квітні 2013 р. відкрито перший центр координації даних з космічної погоди ЄКА. Цей крок — новий етап втілення результатів досліджень у практично діючу інформаційну систему. Традиційно головною метою створення систем моніторингу космічної погоди було попередження про можливі негативні впливи на КА на орбіті, а також

на наземні технологічні об'єкти (наприклад, лінії електропередач). Істотною і поки що маловивченою залишається проблема впливу космічної погоди на здоров'я і працездатність людини. Особливо важливою для української космічної програми видається перспектива створення і підтримки регіональних моделей іоносфери в інтересах навігації. Ця робота вже здійснюється українськими фахівцями, і поява безпосередніх іоносферних вимірювань може надати їй нового поштовху.

Інший важливий аспект, що має практичну значущість, — це вивчення іоносферного відгуку на потужні приповерхневі джерела енергії. Комплекс таких досліджень може бути перспективним для пошуку іоносферних провісників техногенних та природних явищ (наприклад, землетрусів) і є одним зі спеціальних завдань проекту «Іоносат-Мікро». Очевидно, що повноцінне дослідження просторових і часових варіацій параметрів іоносфери можна реалізувати лише в повномасштабному проєкті «Іоносат», проте малий проєкт стане необхідним етапом розроблення дієвої системи космічного моніторингу.

### **Перспективи міжнародної співпраці**

Про інтерес міжнародного наукового співтовариства до проекту «Іоносат-Мікро» свідчить участь у ньому фахівців з Росії (ИЗМИРАН) і Польщі (Центр космічних досліджень ПАН). Учені Казахстану братимуть участь у наземному обробленні даних. Особливо обнадійливою виглядає перспектива міжнародної співпраці у великому проєкті «Іоносат». Уже є відповідні домовленості, а російські колеги вивчають можливість участі російського космічного апарата як одного з компонентів угруповання. Близькі за призначенням космічні апарати розробляють у Казахстані та Китаї. У поточному році заплановано обговорення можливої взаємодії в реалізації цих проєктів.

Питання про міжнародне співробітництво в рамках проєкту «Іоносат» нині перебуває в стадії опрацювання, тоді як план взаємодії різних

проектів з діагностики іоносфери за участю українських учених уже успішно виконується. У таблиці наведено список як уже реалізованих, так і запланованих проектів. Як бачимо, проекту «Іоносат-Мікро» передували технологічні експерименти «Варіант» і «Потенціал» на українських КА серії «Січ». Найближчим часом є можливість здійснювати скоординовані вимірювання за допомогою апаратури проектів «Іоносат-Мікро» та «Обстановка».

До цього переліку слід додати великий комплекс наземних досліджень, які здійснюються в українських наукових центрах. З огляду на призначення і завдання проекту, «Іоносат-Мікро» має стати вагомим внеском у національні та міжнародні програми вивчення ближнього космосу.

### **«Іоносат-Мікро» і розвиток космічної галузі**

Запуск мікросупутника з апаратурою проекту «Іоносат-Мікро» заплановано під час першого випробувального польоту української ракети-носія «Циклон-4» з бразильського космодрому Алькантара. Це буде знаменною подією не лише в історії української ракетно-космічної галузі, а й у розвитку вітчизняних супутникових технологій, оскільки цей проект демонструватиме здатність вітчизняної промисловості створювати конкурентоспроможні апарати для космічної науки і пропонувати їх різним користувачам як в Україні, так і за кордоном. Це

означає перспективу виходу на ринки космічних послуг у новому для нашої країни секторі — досліджень ближнього космосу.

### **Заключні зауваження**

Основним мотивом підготовки цього матеріалу було висвітлення параметрів, які мають забезпечити ефективність здійснення першого етапу «Іоносат-Мікро» та перспективного повномасштабного проекту «Іоносат». Ефективність — ключове поняття сучасної космонавтики, ідеологія якої нині істотно відрізняється від тієї, що домінувала на початку її розвитку. Відповідальність учених у реалізації дослідницького проекту полягає в забезпеченні дієвості всіх складових, які надають проекту актуальності й обґрунтованості, причому не лише для окремих дослідників у певній галузі, а й для широкого загалу. Державні органи, промисловість, громадськість мають бути переконані в необхідності й виправданості вкладання коштів у науковий проект. Результатом роботи не може бути тільки успішний запуск космічного апарата і штатний режим роботи апаратури, як часто бувало в минулому. Кількість і якість наукової інформації, вирішення актуальних прикладних завдань, залучення молоді, демонстрація перспективності проекту, підвищення міжнародного авторитету вітчизняної космонавтики — ось ті чинники, які на сучасному етапі можуть реально вплинути на зміцнення позицій космічної галузі України.

*О.П. Федоров*

Институт космических исследований НАН Украины и ГКА Украины  
пр. Глушкова, 40, корп. 4/1, Киев, 03680, Украина

### **ИССЛЕДОВАНИЯ БЛИЖНЕГО КОСМОСА: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Рассмотрены основные подходы к реализации научного космического эксперимента «Ионосат-Микро», направленного на исследование динамических процессов в ионосфере Земли. Проект основывается на комплексных наземно-космических исследованиях ближнего космоса, проведенных в предыдущие годы кооперацией украинских ученых. Предполагается, что этот эксперимент заложит основы масштабного проекта по мониторингу ближнего космоса с помощью спутниковой группировки «Ионосат».

**Ключевые слова:** ионосфера Земли, проект «Ионосат», ближний космос, космическая погода.

*O.P. Fedorov*

Space Research Institute of NAS of Ukraine and SSA of Ukraine  
40 Glushkov Ave., bldg. 4/1, 03680, Kyiv, Ukraine

#### THE STUDY OF NEAR SPACE: ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS

The basic approaches to the implementation of scientific space experiment “Ionosat Micro”, aimed at the study of dynamic processes in the ionosphere are presented. The project is based on a comprehensive ground-space exploration of near space carried out in previous years by Ukrainian scientific community. It is expected that this experiment will lay the foundations of a large-scale project on monitoring of near space via space constellation “Ionosat”.

**Keywords:** ionosphere, project “Ionosat”, near space, space weather.