

УДК 550:531; 681.51

**В. М. Івченко<sup>1</sup>, В. Є. Корепанов<sup>2</sup>, Г. В. Лізунов<sup>3</sup>,  
О. П. Федоров<sup>4</sup>, Ю. М. Ямпольський<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка

<sup>2</sup>Львівський центр Інституту космічних досліджень Національної академії наук та Національного космічного агентства України

<sup>3</sup>Інститут космічних досліджень Національної академії наук та Національного космічного агентства України, Київ

<sup>4</sup>Національне космічне агентство України, Київ

<sup>5</sup>Радіоастрономічний інститут Національної академії наук України, Харків

## Іоносферний супутниковий проект «Іоносатс»

Надійшла до редакції 02.11.06

Викладено пропозиції щодо розробки іоносферного космічного проекту «Іоносатс», його наукові завдання, склад бортової апаратури та можливості реалізації. Пропонується створення космічної системи просторово-часового моніторингу полів і плазмових параметрів іоносфери з метою розвитку фундаментальних знань з фізики сонячно-земних зв'язків, контролю поточного стану й прогнозування космічної погоди, діагностики природних і техногенних катастрофічних явищ за допомогою низькоорбітального угруповання з трьох мікросупутників. До завдань проекту входять: розробка науково-методичних основ використання низькоорбітальних супутників для служби космічної погоди, відпрацювання технічних рішень; систематичне вивчення динамічного відгуку іоносфери на впливи зверху (сонячна й геомагнітна активність) і знизу (метеорологічні, сейсмічні та техногенні процеси); просторово-часовий моніторинг іоносферних збурень із метою співставлення з природними і техногенними катастрофічними явищами у нижній атмосфері й на поверхні Землі; організація синхронної роботи підсупутникових електромагнітних і метеорологічних полігонів; калібрування сучасних прогностичних моделей спокійної та збуреної іоносфери. Проект «Іоносатс» запропоновано Національним космічним агентством України до європейської Програми космічної погоди й Програми глобального моніторингу і безпеки навколишнього середовища (GMES).

### ВСТУП

Сучасний етап розвитку наукових космічних досліджень характеризується оптимізацією витрат на цю галузь практично в усіх країнах світу. Провідні світові космічні агентства, насамперед Національна адміністрація США з космосу й аеронавтики (NASA) та Європейське космічне агентство (ESA), намагаються концентрувати ресурси за певними напрямками, пов'язаними з розв'язанням прикладних завдань (наприклад, суто практичних й комерційних) або навпаки, — великих пріоритетних фундаментальних проблем (cornerstone missions). При цьому, для

скорочення фінансових затрат, основна увага приділяється проектуванню наукових експериментів на базі платформ міні- та мікросупутників.

Саме останній шлях реалізації власного наукового космічного експерименту найбільш прийнятний для України, зважаючи на вкрай обмежене фінансування космічних досліджень. Єдиною можливістю реалізувати в найближчі роки вітчизняний науковий космічний проект є об'єднання зусиль вітчизняних спеціалістів навколо цікавої для міжнародної наукової спільноти проблеми з оригінальною постановкою задачі, яка могла б привернути увагу закордонних нау-

ковців і через їхню участь й паритетне фінансування знизити витратну частину запланованого проекту.

З урахуванням такої ситуації і розроблено викладені нижче пропозиції щодо реалізації нового іоносферного супутникового проекту «Іоносатс». В його основу покладено великий доробок міжнародного колективу вчених, сформований при першій спробі реалізації космічного експерименту «Попередження» [37] та наступному етапі його розвитку в експерименті «Інтербол-Прогноз». Завданням проекту «Іоносатс» є космічний моніторинг стану іоносфери з метою розвитку фундаментальних наукових уявлень з фізики сонячно-земних зв'язків, контролю поточного стану й прогнозування космічної погоди, діагностики природних і техногенних катастрофічних явищ. Для проведення моніторингу пропонується створити угруповання з трьох низькоорбітальних мікросупутників, які виводяться на орбіту одним ракетоносієм. За сприятливих умов запуск космічної системи «Іоносатс» можливий у 2010 р.

Серед основних завдань проекту можна визначити такі:

- 1) розробка комплексу наукової апаратури (КНА) та науково-методичних основ використання низькоорбітальних мікросупутників для служби космічної погоди, відпрацювання технічних рішень;

- 2) систематичне вивчення динамічного відгуку іоносфери на впливи згори (сонячну та геомагнітну активність) і знизу (метеорологічні, сейсмічні та техногенні процеси);

- 3) організація синхронної роботи підсупутникових електромагнітних (ЕМ) і метеорологічних полігонів;

- 4) калібрування сучасних прогностичних моделей спокійної та збуреної іоносфери.

#### НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Даний проект є пропозицією Національного космічного агентства України (НКАУ) в європейську Програму космічної погоди (Space Weather — SW) і Програму глобального моніторингу й безпеки навколишнього середовища (Global Monitoring for Environment and Security — GMES). Згідно з роботою [45] термін «космічна погода»

(КП) означає зміну умов на Сонці, в сонячному вітрі, магнітосфері й іоносфері, які можуть впливати на роботу та надійність бортових і наземних технічних систем і загрозувати здоров'ю людини. Одним з важливих проявів КП є вплив факторів сонячної активності на іоносферу Землі. Саме на іоносферних висотах відбувається основне поглинання сонячного рентгенівського та ультрафіолетового випромінювання, а також значної частки корпускулярних потоків сонячного вітру. Короткохвильова частина випромінювання сонячних спалахів (ультрафіолет і рентген) зазнає дисипації переважно на висотах іоносферних шарів F, E і D, викликаючи так звані радіаційні збурення іоносфери [48]. Поглинання енергії корпускулярних потоків переважно відбувається у полярній іоносфері, причому в авроральних овалах струмові системи полярних сьйів (струми Біркеланда) є джерелом розігрівання нейтральної атмосфери на висотах E і F. Це, у свою чергу, викликає генерацію цілої низки іоносферних збурень — від дрібномасштабної турбулентності до великомасштабних плазмових неоднорідностей, — які поширюються до екватора [29, 32, 34], та випромінювання ЕМ-хвиль. Можна сказати, що збурення навколоземної плазмової оболонки потоками сонячного випромінювання та корпускул, які надходять згори, призводить до її «світіння» в широкому спектрі частот — від ультранизкочастотних до ультрафіолету, а сама іоносфера відіграє роль своєрідного екрану, що є індикатором КП.

Порушення радіозв'язку й роботи енергетичних та радіонавігаційних систем під час іоносферних збурень є одними з найвідоміших, але не єдиними проявами впливу космічних променів на іоносферу [45]. Оскільки навколоземний космічний простір є місцем роботи пілотованих космічних апаратів та численних автоматичних супутникових систем, а їхня кількість і різноманітність буде лише зростати, моніторинг іоносферного рівня КП набуває все більшого практичного значення.

Поки що мова йшла про іоносферні збурення, які є відгуком на сонячну активність, тобто на вплив зовнішніх відносно Землі факторів. Останнім часом акцент щодо вивчення збурень у навколоземній плазмі частково змістився у бік вивчення впливів «знизу», які пов'язані з пото-

ками енергії з нижніх шарів атмосфери та від поверхні [50].

Велика кількість спостережних даних свідчить про те, що у параметрах іоносфери локально віддзеркалюються метеорологічні явища (грози, циклони, особливості приземної циркуляції атмосфери, тропосферна конвекція [3, 23, 33, 35, 44, 46, 47, 51]), техногенні фактори (запуски потужних ракет-носіїв, сильні промислові й військові вибухи, випромінювання ліній електромереж й «нагрівних» радіопередавачів [29, 30, 36, 54]). Численні спостереження вказують на можливість впливу тектонічних процесів на стан іоносфери (виверження вулканів, цунамі, землетруси й процеси їхньої підготовки [4, 10, 18, 19, 25, 49]). Це дозволяє говорити про «терагенні» явища в іоносфері, тобто про плазмові збурення, викликані приповерхневими природними й штучними джерелами енерговиділення. Самостійний інтерес становлять власне моніторингові спостереження іоносфери з метою контролю зазначених джерел, у першу чергу для виявлення небезпечних і катастрофічних явищ, що відбуваються на Землі [2, 21]. У цілий напрям виділилися дослідження можливих іоносферних провісників землетрусів [10, 26, 28, 52] і, в перспективі, їхнього практичного використання для прогнозу землетрусів [42].

Терагенні ефекти в іоносфері залишаються мало вивченими і в експериментальному, і в теоретичному аспектах. Складною проблемою є ідентифікація джерел іоносферних збурень, а також селекція конкретних типів збурень на загальному тлі різноманітних варіацій. Тільки невелика частина даних була отримана в експериментах із достеменно ототожненими або спеціально підготовленими джерелами впливів на іоносферу (ядерними й промисловими вибухами [29, 30]). Упереважній більшості спостережень природних іоносферних варіацій їхній зв'язок з подіями «вгорі» та «внизу» був лише гіпотетичним.

Очевидно, що вивчати іоносферні прояви КП *in situ* найзручніше за допомогою космічних апаратів, розташованих «всередині» іоносфери, ближче до головного максимуму електронної концентрації плазми. Зручною платформою для довгострокового моніторингу іоносферної плазми могла б бути Міжнародна космічна станція (МКС) з висотою орбіти 350 км, однак дуже

високий рівень власних ЕМ-шумів та суттєвий вплив на плазмове оточення, створюваний самою станцією, не дає змоги спостерігати іоносферні збурення з необхідною чутливістю.

Ще одним важливим спонукальним мотивом до здійснення іоносферного супутникового проекту є необхідність уточнення й калібрування моделей просторово-часового розподілу навколоземної плазми. Основою прогнозування стану КП та її змін є моделювання фонових (незбурених) характеристик іоносфери та ЕМ полів. Поряд із стандартними наземними методами дистанційної діагностики іоносфери (методи вертикального зондування й некогерентного розсіювання), супутникові контактні вимірювання іоносферних параметрів дозволяють у реальному часі зіставляти й коригувати їхні модельні представлення.

Наведені аргументи обґрунтовують актуальність викладених вище наукових завдань. Для їхнього виконання необхідно розробити супутниковий проект, який би відповідав наступним вимогам.

- Вибір вимірюваних параметрів, чутливість і динамічний діапазон наукових приладів, рівень ЕМ-чистоти космічних апаратів (КА) повинні забезпечувати реєстрацію іоносферного відгуку на впливи «згорі» й «знизу».
- Орбіта супутникового угруповання має бути якомога нижчою за умови прийняттого часу життя КА. Компромісом могла б бути кругова орбіта з висотою 450 км, що приблизно на 150 км вище від максимуму щільності іоносферної плазми. Термін функціонування супутникового угруповання тоді складатиме приблизно два роки.
- Моніторингові режими вимірювань у пропонованому проекті повинні бути основними, що задовольняє вимогам програми GMES — безперервність вимірювань. Сучасні дослідження в галузі КП також вимагають довгих і неперервних рядів даних, які дозволяють відслідковувати динамічні зв'язки іоносферних збурень з джерелами «вгорі» та «внизу».
- Орбітальне угруповання повинно становити «кластер» із не менш ніж трьох мікросупутників з однаковим або майже однаковим складом комплексу наукової апаратури (КНА). Просторове рознесення однакових давачів в орбітальному угрупованні дозволить оціню-

вати градієнти вимірюваних величин, відновлювати просторовий спектр плазмових неоднорідностей і флуктуацій характеристик полів, локалізувати плямисті структури в іоносфері (ділянки турбулентності, рухливі іоносферні неоднорідності, «бабли» та ін.), вимірювати «діаметри» магнітних силових трубок на різних висотних рівнях, визначати просторові масштаби техногенних збурень та ін. Використання одночасно декількох КА також необхідне для ущільнення покриття земної поверхні орбітальною сіткою та покращення роздільної здатності супутникового моніторингу.

- Вимірювальні комплекси всіх трьох супутників повинні мати синхронні циклограми реєстрації польових електромагнітних параметрів, що надасть змогу використати режим просторово-часової когерентної обробки даних, зокрема УНЧ-ННЧ-інтерферометрію.

За всю космічну епоху відбулося лише близько півтора десятка запусків іоносферних супутникових проектів (наближеність цифри пов'язана з неточністю дефініції — який супутник вважати «іоносферним»). Очевидно, жоден з них не задовольняв усі висунуті у проекті вимоги одночасно. У період від 1963 до 1976 р. була запущена серія з п'яти супутників «Атмосфере Експлорер» для вимірювання розподілу параметрів верхньої атмосфери та іоносфери [27, 41]. Орбіти супутників перекривали весь діапазон широт від екваторіальних до полярних і висот від 150 км до декількох тисяч кілометрів. Бортові прилади здійснювали вимірювання хімічного складу атмосфери, у тому числі іонізованої та нейтральної складових, а також температур і швидкостей дрейфу різного виду частинок. Запис даних здійснювався з порівняно невеликою частотою 0.1 ... 1 Гц, що дозволило одержати й передати на Землю довгі ряди неперервних вимірювань атмосферно-іоносферних параметрів.

В 1981 р. були запущені два супутники «Дайнемікс Експлорер», призначені для вивчення динаміки іоносферної плазми, в тому числі хвильових процесів. Супутники мали порівняно невелику висоту перигею (300 і 460 км) та були оснащені хвильовими комплексами для вимірювань ЕМ-емісій в різних діапазонах частот (з використанням у давачах частотних фільтрів).

Проекти «Атмосфере Експлорер» та «Дайнемікс Експлорер» без перебільшення стали класичними, їхні бази даних і сьогодні широко використовуються для наукових досліджень. Звісно, з погляду сьогодення можливості експериментів того часу виглядають досить скромно. Так, використана частота вибірки 0.1 Гц забезпечила просторову роздільну здатність вимірювання лише на рівні 160 км.

Наприкінці 1980-х — в середині 1990-х рр. була здійснена серія космічних проектів з дослідження ЕМ-емісій, нестійкостей і турбулентності іоносферної плазми: «Вікінг», «Активний», АПЕКС, «Фрея» та ін. [41]. Супутники запускалися на висоти зовнішньої іоносфери і внутрішньої магнітосфери з перигеями 440—650 км, апогеями — кілька тисяч кілометрів. До складу наукової апаратури входили електричні й магнітні зонди для вимірювань параметрів плазмових хвиль у діапазоні частот від часток герц (квазістаціонарні струмові структури й МГД-хвилі) до десятків мегагерц (високочастотні типи плазмових хвиль). Крім того, вимірювалися параметри фонові плазми й надтеплових частинок. Якісно нові можливості збору й передачі на Землю наукової інформації були реалізовані на шведсько-німецькому супутнику «Фрея». Частота опитування у ВЧ-каналі системи збору наукової інформації (СЗНІ) цього супутника становила 8 МГц, що дозволяло реєструвати не лише спектри, але й хвильові форми плазмових емісій, включно з високочастотними ленгмюрівськими коливаннями, спостерігати їхнє виникнення та розпад, досліджувати зв'язок хвильових збурень у різних діапазонах частот.

Перелічені проекти загалом не ставили за мету проведення моніторингових вимірювань. Наукова апаратура, як правило, вмикалася у визначених ділянках (скажімо, в авроральних зонах або у заздалегідь запланованих місцях проведення активних експериментів) і потім вимикалася. Велика увага надавалася здійсненню так званого «спалахового» режиму вимірювань, коли реєстрація даних відбувається протягом досить короткого проміжку часу (який залежить від обсягу бортової пам'яті), але з максимальною роздільністю у часі паралельно для багатьох приладів (каналів).

Ідею супутникового моніторингу іоносфери значною мірою втілює сучасний французький

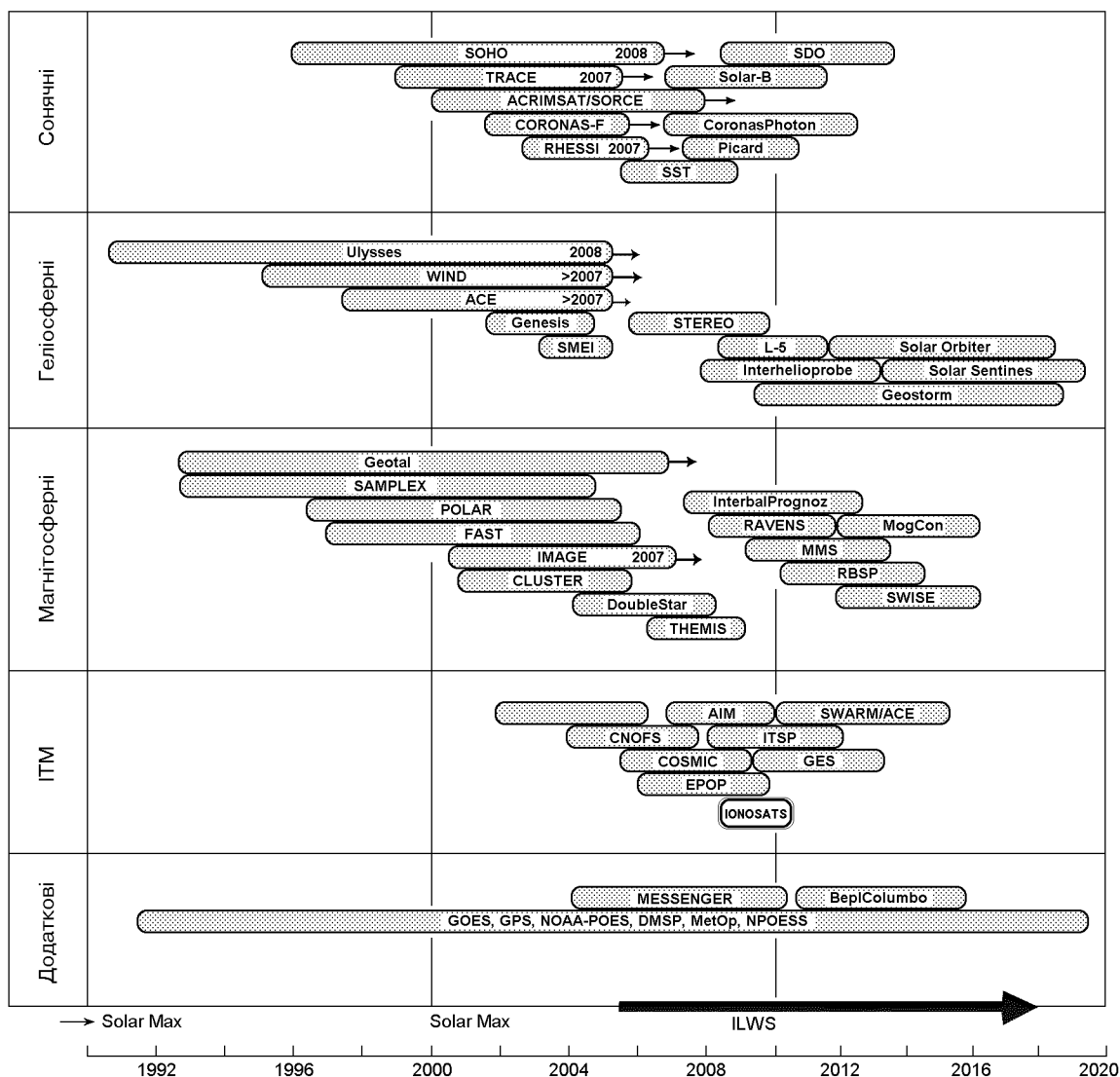


Рис. 1. Сучасні й плановані до здійснення проекти дослідження сонячно-земних зв'язків і моніторингу КП [55]. Обведений прямокутник — експеримент «Іоносатс».

проект DEMETER; супутник був запусканий 29 червня 2004 р. на колову полярну сонячно-синхронну орбіту з висотою близько 700 км. Корисне навантаження мікросупутника становлять прилади для вимірювання електричних і магнітних полів, спектрометр енергійних частинок і аналізатори плазми, призначені для реєстрації іоносферних збурень. Сучасна система СЗНІ та телеметрія забезпечують передачу на Землю у цифровій формі результатів вимірювань спектрів і хвильових форм сигналів. Вимірюван-

ня виконуються як у «спалаховому» режимі, так і неперервно на ділянках орбіт, які лежать за межами полярних шапок. Вимкнення наукової апаратури в ділянці широт вище 70° є принциповим рішенням авторів проекту, що, на наш погляд, знижує потенційну цінність проекту в цілому.

Останнім часом ESA і NASA розробляють супутниковий сегмент служби КП (рис. 1, [55]). Протягом найближчих років передбачається здійснити запуск цілого ряду високоорбітальних

спутників для моніторингу «верхніх поверхів» КП: сонячної активності, викидів корональних мас, збурень параметрів сонячного вітру й магнітосфери, динаміки радіаційних поясів. Опис зазначених проєктів дано на веб-сторінках «Science missions» і «ESA Space Weather Site». Хоч і з дещо різними цілями, але з дуже близьким складом КНА та конфігурацією супутників угруповань, плануються також проєкти SWARM (ESA) та CSES (Китай). Пропонується український іоносферний проєкт відрізняється від цих аналогів і зможе органічно доповнювати міжнародні зусилля з напрямку досліджень КП.

Квінтесенцію проєкту «Іоносатс», його відмінності від того, що робилось раніше і що пропонується іншими космічними агентствами зараз, можна сформулювати у вигляді наступних основних положень.

- Орбітальне угруповання проєкту становить кластер із трьох мікросупутників з якомога більш ідентичним складом наукової апаратури (багатопозиційні вимірювання).
- Супутникове угруповання виводиться на колову орбіту з висотою 400—450 км (іоносферний проєкт).
- Орбіта угруповання полярна і не сонячно-синхронна (майже повне покриття поверхні Землі орбітальною мережею для всіх значень місцевого часу).
- Взаємна відстань між супутниками угруповання протягом довгого часу контролюється утримується в діапазоні від декількох сотень до декількох тисяч кілометрів (багатопозиційна діагностика середньомасштабних іоносферних збурень).

При цьому найцікавішим було б розташування супутників на одному висотному рівні в конфігурації трикутника. Два супутники повинні бути виведені на однакову орбіту, один апарат рухається за іншим, забезпечуючи вимірювання на обох КА при однаковому ході фонових іоносферних параметрів (добовий та широтний тренд). Орбіта третього КА при тій же висоті має лежати в іншій площині (за рахунок зміни нахилу чи довготи вузла орбіти), що й призведе до трикутної конфігурації взаємного розташування апаратів. Успішне розв'язання такої задачі підтримки заданої відстані між космічними апаратами вже було продемонстроване КБ «Південне» в експерименті «Інтербол-1» (ке-

рування мікросупутником «Магіон»).

Полярна орбіта дозволить супутникам пролітати над територіями всіх зацікавлених країн — потенційних учасників чи користувачів даними проєкту і перетинати особливі ділянки іоносферних широт: авроральні овали, L-оболонки радіаційних поясів, екваторіальну аномалію та ін. Орбіту слід реалізувати не сонячно-синхронною з метою дослідження залежності іоносферних явищ від місцевого часу (добові варіації).

На певних витках супутникове угруповання буде перетинати полярні каспи, область головного іоносферного провалу, проходить над наземними іоносферними обсерваторіями, в тому числі над потужними КХ-передавачами (нагрівними стендами), що дозволить здійснити синхронні спостереження й комбіновані експерименти з активного впливу на іоносферу. Значний інтерес викликає проведення синхронізованих нагрівних експериментів на авроральному стенді Європейської асоціації іоносферного розсіювання EISCAT (м. Тромсьо, Норвегія), нагрівних стендах HAARP, HIPAS (Аляска, США) і «Сура» (Росія). Варто передбачити й експерименти з використанням національних засобів активного зондування: радара некогерентного розсіювання Інституту іоносфери Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України (м. Харків) і акустичного джерела Львівського центру Інституту космічних досліджень Національної академії наук України та Національного космічного агентства України (ЛЦ ІКД НАНУ—НКАУ, м. Львів).

#### СКЛАД КОРИСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Основними інформативними параметрами іоносферного відгуку на впливи «згори» та «знизу» пропонується вибрати електродинамічні характеристики іоносфери. Перш за все викликають інтерес варіації квазістатичних електричних та магнітних полів і електричного струму, які є діагностичною ознакою магнітогідродинамічних рухів іоносферної плазми, а також коливань нейтральної атмосфери на висотах динамо-області 80—130 км [23]. В полярних широтах МГД-варіації також є ознакою електродинамічного впливу з боку магнітосфери, у тому

числі проєкції на іоносферу поля великомасштабної магнітосферної конвекції, збудження струмових систем Біркеланда (які відповідають за полярні саява) та ін. [11].

Як сучасний і вдалий прототип бортового вимірювального комплексу для проведення електромагнітних вимірювань розглянемо інструментальний комплекс проекту «Варіант» [6, 9, 39]. Особливий інтерес викликає один із приладів комплексу — хвильовий зонд WP, який є новою розробкою Львівського центру Інституту космічних досліджень Національної академії наук України і Національного космічного агентства України та Інституту космічних досліджень Російської академії наук. Цей прилад призначений для одночасної реєстрації електричного потенціалу, магнітного поля та електричного струму в космічній плазмі. Дані вимірювань приладу WP дозволять дослідити модовий склад плазмових хвиль, тобто встановлювати хвильовий вектор та частоту збурення в нерухомій системі відліку [39, 53], що є важливою задачею радіофізичних спостережень іоносфери.

Використання одночасно трьох датчиків WP, орієнтованих взаємно ортогонально і винесених в плазму на досить довгих (понад 4 м) штангах, дозволить з високою точністю виміряти вектор флуктуації магнітного поля  $\mathbf{B}$ , густину електричного струму  $\mathbf{J}$  та значення електричного потенціалу  $\varphi_i$  в трьох точках простору. Для обчислення повного вектора електричного поля  $\mathbf{E}$  необхідно знати потенціал у ще одній, четвертій точці. Відповідне вимірювання може бути виконане з використанням стандартного електричного зонда EP, встановленого безпосередньо на корпусі КА [17].

Наступним важливим завданням є реєстрація пульсацій квазіпостійного магнітного поля Землі. З цією метою можна використати вітчизняний ферозондовий магнітометр FGM [7], який на відміну від індукційних магнітометрів, що нині широко застосовуються в космічних експериментах (наприклад в DEMETER), є чутливим і на низьких частотах.

Прилади WP, EP та FGM пройшли успішні випробування в недавньому експерименті «Варіант» на супутнику «Січ-1М» (запущений 24 грудня 2004 р.) [39].

На подальшому етапі підготовки проекту бу-

дуть розроблятися режими вимірювань на борту супутників та передачі даних вимірювань на Землю. Через обмеження на обсяг бортової пам'яті та пропускну здатність інформаційної радіолінії максимальна частота дискретизації сигналів вимірювань є обмеженою. У моніторингових режимах спостережень (тривалих та неперервних) ця частота в принципі не може бути дуже високою і, ймовірно, не буде перевищувати 1 кГц. Протягом короткочасних «спалахів» сеансів вимірювань частота дискретизації, звісно, буде значно вищою. Такий підхід забезпечить детектування квазістаціонарних полів та струмів, про які йшла мова вище, а також хвильових форм іоносферних емісій УНЧ-ННЧ-діапазону: шипінь, іонних вістлерів, іонно-циклотронних коливань та ін. [1, 12]. Що стосується вищих частот, то у моніторингових режимах вимірювань доцільно буде обмежитися передачею на Землю лише усереднених по часу спектрів сигналів. Таким чином, ми отримаємо інформацію про наявність або відсутність хвильової активності в різних спектральних діапазонах та за частотами нижньо- і верхньогібридних шумів зможемо незалежно оцінювати концентрацію (і деякі інші параметри) іоносферної плазми.

Відповідним приладом для вимірювань спектру плазмових хвиль може бути радіочастотний аналізатор спектра RFA, розроблений в Центрі космічних досліджень Польської академії наук для проекту «Обстановка» на борту МКС [38]. В максимальній комплектації цей прилад дозволяє реєструвати 3D-спектри електричного і магнітного полів. Але через обмеження на масу КНА та загальну кількість штанг, які можуть бути встановлені на борту мікросупутника, для проекту «Іоносатс» доцільно обмежитись використанням лише вимірювача спектру однієї складової електричного поля.

Ще одним приладом у складі КНА повинен бути датчик заряджених частинок для прямих вимірювань концентрації плазми, а також електронної та іонної температур. Знання параметрів фонові плазми є необхідним для правильної інтерпретації хвильових процесів. Крім того, такий датчик дозволить безпосередньо реєструвати іоносферні неоднорідності різних просторових масштабів, у тому числі дрібномасштабну іонно-звукову турбулентність, рухомі іоносферні

Таблиця 1. Характерні величини збурень електромагнітного поля, плазми та нейтральних частинок на висоті 400 км

| Явище  | Параметри сигналу  |
|--|--|
| Квазістаціонарні поля та струми,<br>МГД-збурення УНЧ-діапазону (< 30 Гц) | МПЗ: 30000 ... 60000 нТ<br>Варіації: МПЗ $\delta B \sim 1$ нТ, $\delta B_{\max} \sim 300$ нТ<br>Струми: $j \sim 0.1$ мкА/м <sup>2</sup> , $j_{\max} \sim 10$ мкА/м <sup>2</sup><br>Електростатичне поле: $E \sim 1$ мВ/м, $E_{\max} \sim 0.1 \dots 1$ В/м.<br>Мінімальний масштаб МГД-структури $L_{\min} \sim 1$ км |
| ННЧ-хвилі (30—3000 Гц)   | $B \sim 0.01 \dots 1$ нТ, $E \sim 0.01 \dots 1$ мВ/м, $j \sim 0.1$ мкА/м <sup>2</sup>  |
| ДНЧ- і НЧ-хвилі (3—300 кГц)  | $B \sim 0.0001 \dots 0.01$ нТ, $E \sim 1 \dots 200$ мВ/м   |
| ВЧ хвилі (3—30 МГц)  | $B \sim 1 \dots 10$ нТ, $E \sim 50 \dots 100$ мВ/м   |
| Плазмові неоднорідності  | $n_i \sim 10^5$ см <sup>-3</sup> , $\delta n_i \sim 1000 \dots 10000$ см <sup>-3</sup> , $\delta n_{i\max} \sim 10^5$ см <sup>-3</sup><br>Просторовий масштаб: від 10 ... 100 м (іонно-звукова турбулентність)<br>до 300 ... 3000 км (РІЗ, «бубли»)»   |
| Неоднорідності нейтральної атмосфери                                     | $n_n \sim 10^7$ см <sup>-3</sup> , $\delta n_n \sim 10^5$ см <sup>-3</sup> , $\delta n_{n\max} \sim 10^6$ см <sup>-3</sup><br>Довжина хвилі АГХ 100 ... 1000 км  |

Таблиця 2. Модельний склад корисного навантаження

| Давачі  | Вимірювані величини  | Технічні характеристики  | Розробники                                 |
|---|--|--|--|
| Хвильові зонди WP                                     | Густина струму:<br>діапазон частот 0.1 Гц — 40 кГц,<br>шум $10^{-13}$ А/(см <sup>2</sup> Гц <sup>1/2</sup> )<br>Змінне магнітне поле:<br>діапазон частот 0.1 Гц — 40 кГц<br>шум 0.02 пТл/Гц <sup>1/2</sup><br>Потенціал електричного поля:<br>діапазон частот 0.1 Гц — 40 кГц<br>шум 10 нВ/Гц <sup>1/2</sup> | Споживана потужність < 0.15 Вт<br>Маса: 0.225 кг<br>Габарити: $\varnothing 30 \times 305$ мм                         | ЛЦ ІКД НКАУ-<br>НАНУ, Львів                |
| Електричний зонд EP                                   | Потенціал електричного поля:<br>діапазон частот 0—200 кГц<br>шум 10 нВ/Гц <sup>1/2</sup>   | Споживана потужність: < 0.2 Вт<br>Маса: < 0.2 кг<br>Габарити: $\varnothing 60 \times 182$ мм                         | ЛЦ ІКД НКАУ-<br>НАНУ, Львів                |
| Феррозондовий<br>магнітометр постійного по-<br>ля FGM | Вектор магнітного поля:<br>діапазон частот 0—1 Гц,<br>динамічний діапазон $\pm 65$ мкТл  | Споживана потужність: < 0.4 Вт<br>Маса: давача < 0.1 кг,<br>блоку електроніки < 0.3 кг                               | ЛЦ ІКД НКАУ-<br>НАНУ, Львів                |
| Аналізатор спектра<br>електричного поля RFA           | Частотний спектр компоненти електрич-<br>ного поля в діапазоні 0.1—10 МГц  | Підлягає розробці  | Центр космічних<br>досліджень ПАИ          |
| Давач кінетичних пара-<br>метрів плазми DN-DE         | Концентрація нейтральних частинок $n_n$ :<br>динамічний діапазон $10^4 \dots 10^{10}$ см <sup>-3</sup><br>Концентрація заряджених частинок $n_i$ :<br>динамічний діапазон $10^3 \dots 10^{11}$ см <sup>-3</sup><br>Температури електронів, іонів $T_i, T_e$ :<br>динамічний діапазон 0.1 eV ... 1.5 keV      | Габарити:<br>DN: $\varnothing 50 \times 85$ мм<br>DE: $\varnothing 12 \times 248$ мм<br>Споживана потужність: < 2 Вт | ІТМ НАНУ,<br>Дніпропетровськ               |
| Давач енергійних частинок<br>STEP                     | Густина потоку й енергетичний спектр<br>надтеплових частинок   | Підлягає розробці  | Харківський<br>національний<br>університет |
| СЗНІ  |  | Підлягає розробці  | ЛЦ ІКД НКАУ-<br>НАНУ, Львів                |



збурення, великомасштабні структури іоносфери типу провалу та екваторіальної аномалії.

Низька орбіта супутникового угруповання проекту «Іоносатс» надасть можливість спостережень хвильових процесів і в нейтральній складовій атмосфері. Згідно з існуючими уявленнями, хвилі густини нейтральної атмосфері є важливим чинником впливу на іоносферу знизу [33, 43]. Спостереження атмосферних гравітаційних хвиль (АГХ) на іоносферних висотах давно викликає інтерес, але стикається зі значними практичними труднощами; безпосередні вимірювання АГХ з борту супутника досі нечисленні. Головна проблема полягає в тому, що через зростання атмосферної в'язкості та теплопровідності з висотою АГХ не можуть поширюватися вище 500—600 км. Майже весь архів прямих супутникових вимірювань АГХ створено на основі лише двох низькоорбітальних проектів 1970-х років «Атмосфере Експлорер-Е» та «Атмосфере Експлорер-С».

Для прямої реєстрації параметрів нейтральної та іонізованої складових атмосфері ми пропонуємо ввести до складу КНА «Іоносатс» датчик кінетичних параметрів DN-DE, який є оригінальною розробкою Інституту технічної механіки Національної академії наук України та Національного космічного агентства України і ще не проходив космічних випробувань [22].

Останнім з пропонованих до складу КНА наукових приладів є аналізатор енергетичного спектру електронів, протонів і  $\alpha$ -частинок STEP, розроблений у Харківському національному університеті ім. В. Н. Каразіна [20]. Цей прилад може бути допрацьований під обмеження мікросупутника для реєстрації висипань енергійних частинок з радіаційних поясів та зони аврорального квазізахоплення (електронів з енергіями 10—100 кеВ і протонів з енергіями 100 МеВ). Оскільки переведення частинок у конус втрат пов'язано з розсіянням на вістлерах, вимірювання корпускулярних вторгнень мають проводитись синхронно з вимірюваннями ДНЧ-емісій.

Очікувані рівні сигналів, які повинні реєструватися давачами КНА «Іоносатс», наведені в табл. 1. Подано орієнтовні значення, які дають уявлення про порядки вимірюваних величин [1, 12, 17, 19, 21, 23]. Зрозуміло, що динамічні діапазони приладів повинні переключати їх із

достатнім запасом. Серед вимірюваних параметрів найбільшими варіаціями характеризуються амплітуди радіоemisій, які, залежно від частоти, складають  $E = 0.0001 \dots 1$  В/м,  $B = 0.001 \dots 10$  нТ. В деяких спостереженнях амплітуди іонно-звукових хвиль досягали декількох В/м, при цьому густина енергії хвильового збурення була порядку густини теплової енергії плазми.

Модельний склад КНА наведено у табл. 2. Тут не показано GPS-приймач, який вважається обов'язковим компонентом службової апаратури платформи-носія, і сигнали точного часу та положення від якого сприйматиме СЗНІ.

Для створення орбітального угруповання можуть бути використані платформи мікросупутників MC-2-8 (розробка й виготовлення КБ «Південне») і/або наносупутник для електромагнітних вимірювань «Космічний буй» («Space Buoy» — розробка ЛЦ ІКД НАНУ-НКАУ). Орієнтовне компонування давачів КНА на платформі MC-2-8 показано на рис. 2.

Ми вважаємо, що при належній підтримці Україна має достатній науково-методичний та технічний доробок, щоб навіть самостійно у стислі терміни реалізувати проект «Іоносатс».

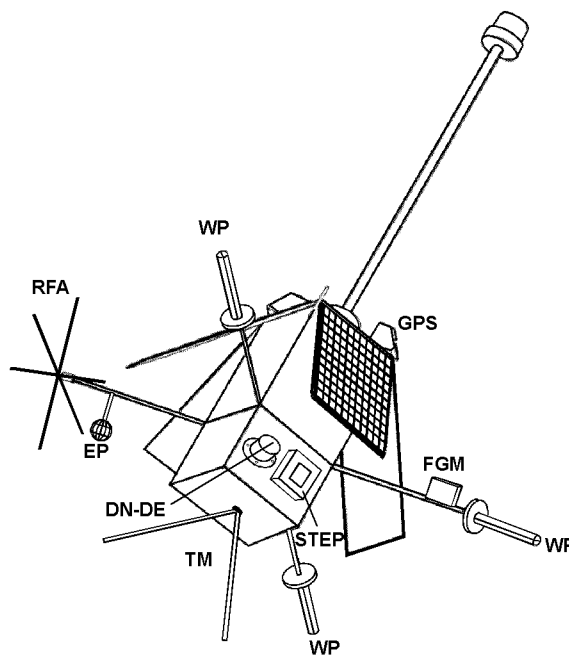


Рис. 2. Розташування давачів на платформі мікросупутника MC2-8.

Комплектація й виготовлення КНА у міжнародній кооперації, розробка програм космічних експериментів, створення наземного сегменту збирання й опрацювання даних можуть бути проведені на підставі розробок попередніх років у рамках проектів «Попередження», «Інтербол-Прогноз», «Варіант», «Український молодіжний супутник» [5, 8, 13—16, 37]. Ці проекти, за винятком проекту «Варіант», не були здійснені. Тим не менше, під час виконання в 2005 р. проекту «Варіант», незважаючи на частково невдалий запуск супутника «Січ-1М», українські фахівці набули практичного досвіду постановки й проведення електромагнітних супутникових експериментів [39].

Слід також відзначити великий доробок України в організації підсупутникового іоносферного зондування, що дозволяє калібрувати бортові прилади й розширювати висотний діапазон діагностики плазмових параметрів [24]. У першу чергу необхідно згадати радар некогерентного розсіювання Інституту іоносфери НАНУ, багатопозиційний когерентний КХ-локатор, радіотелескоп УТР-2 і радіоінтерферометр УРАН Радіоастрономічного інституту Національної академії наук України, стенд часткових відбиттів ХНУ ім. В. Н. Каразіна (усі — м. Харків), а також комплексну іоносферну обсерваторію на станції «Академік Вернадський» НАНЦ Міністерства освіти і науки України в Антарктиді [8]. Продуктивним також видається використання пристроїв частотно-кутового зондування, розроблених в Україні і розгорнутих в Антарктиді й Новій Англії (США) [31]. Їхніми характерними рисами є висока інформативність, простота реалізації, використання випромінювань наземних мовних КХ-передавачів як сигналів зондування, можливість швидкого розгортання, зокрема на європейському континенті [27]. Немає сумнівів, що у випадку реалізації проекту наземний супровід буде підтримано багатьма закордонними іоносферними обсерваторіями, з якими вже зараз Україна має тісну наукову співпрацю.

#### ПЕРСПЕКТИВИ РЕАЛІЗАЦІЇ

Експеримент «Іоносатс» був запропонований Національним космічним агентством України

для Європейської програми GMES. У процесі його підготовки відбулося також обговорення цілей і наукових завдань експерименту з закордонними фахівцями, зацікавленими у дослідженнях такого типу, і знайдено зрозуміння й підтримку, що дає підставу сподіватися на їхню участь при належному розвитку подій.

На сьогодні можливі два варіанти подальшого розвитку співробітництва. При першому у створенні угруповання з трьох мікросупутників братимуть участь ще дві країни, при цьому Україна і кожна з інших країн готуватимуть свій мікросупутник з узгодженням КНА. При другому варіанті, що видається ефективнішим, кожна з країн-учасниць робить окремий прилад (або прилади) для всіх трьох мікросупутників і таким чином досягається і найкращий рівень КНА, оскільки кожний учасник робитиме ті прилади, які вміє найкраще. Крім того, повна тотожність параметрів КНА всіх трьох мікросупутників є важливою для розв'язання задачі пеленгації джерел ЕМ-випромінювань. В обох варіантах передбачається запуск всього угруповання українською ракетою.

На час подання даної роботи експеримент «Іоносатс» введено в проект Національної космічної програми України на 2007—2011 рр. У випадку затвердження Програми в найближчий час можна сподіватися на реалізацію експерименту за таким графіком:

- 2007 — ухвалення рішення, розсилання запрошень, ескізний проект (фаза А);
- 2008—2009 — розробка й виготовлення приладів, автономні випробування (фаза Б);
- 2010 — складання, комплексні випробування й запуск (фаза В).

Ця робота виконана при частковій підтримці Національного космічного агентства України, контракти № 1-02/03, 1-05/03 та Національної академії наук України в рамках цільової наукової програми «Розробка теорії, методів та інформаційних технологій комплексного вивчення сонячно-земних зв'язків як основи прогнозування космічної погоди» (пп. 10, 11) та гранта CRDF UKP2-2644-KV-05 «Турбулентність плазми в магнітосферних струмових системах».

1. Альперт Я. Л. Волны и искусственные тела в приземной плазме. — М.: Наука. 1974.—214 с.
2. Бучаченко Ф. Л., Ораевский В. Н., Похотелов О. А. и

- др. Ионосферные предвестники землетрясений // Успехи физ. наук.—1996.—166, вып. 9.—С. 1023—1029.
3. Данилов А. Д., Казимировский Э. С., Вергасова Г. В., Хачикян Г. Я. Метеорологические эффекты в ионосфере. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1987.—271 с.
  4. Дзюбенко Н. И., Ивченко В. Н., Козак Л. В. Изменения температуры в термосфере над очагами землетрясений по спутниковым измерениям // Геомагнетизм и аэронаука.—2003.—43, № 1.—С. 126—131.
  5. Ивченко В. М., Козак Л. В., Венедиктов Ю. И. та ін. Проект «Геокосмос» для українського молодіжного супутника // Космічна наука і технологія.—2004.—10, № 5/6.—С. 17—21.
  6. Корепанов В. Е., Негода А. А., Ивченко В. Н. и др. Космический научный эксперимент «Вариант» на борту ИСЗ «Січ-1М» // Сб. тр. Первой укр. конф. по перспективным космическим исследованиям (Киев, 8—10 октября 2001 г.). — Киев, 2001.—С. 51—58.
  7. Корепанов В., Михайлова Е., Ноздрачов М. Температурный режим на борту КА «Интербол-1» // Космічна наука і технологія.—1999.—5, № 1.—С. 112—116.
  8. Корепанов В. Е., Литвиненко Л. М., Литвинов В. А. та ін. Электромагнитный полигон наземной поддержки спутниковых экспериментов на Украинский антарктической станции // Космічна наука і технологія.—2004.—10, № 2/3.—С. 74—80.
  9. Корепанов В., Негода О., Лизунов Г. та ін. Проект «ВАРИАНТ»: вимірювання електро-магнітних полів та електричних струмів іоносферної плазми на супутнику «СІЧ-1М» // Космічна наука і технологія.—1999.—5, № 5/6.—С. 1—6.
  10. Липеровский В. А., Похотелов О. А., Шалимов С. Л. Ионосферные предвестники землетрясений. — М.: Наука, 1992.—304 с.
  11. Маров М. Я., Колесниченко А. В. Введение в планетную аэронауку. — М.: Наука, 1987.—456 с.
  12. Молчанов О. А. Низкочастотные волны и индуцированные излучения в околоземной плазме. — М.: Наука, 1985.—224 с.
  13. Научная программа проекта «Попередження»: отчет по НИР «Программа» / Радиоастрономический ин-т НАНУ. — Госконтракт НКАУ № 7-39/96. — Харьков, 1997.—184 с.
  14. Отчет по НИР «Радиофизическое подспутниковое зондирование ионосферы» (шифр «Перспектива-III»). — Харьков, 1998.—208 с.
  15. Проект «ИНТЕРБОЛ—Прогноз»: Техническое предложение. — Днепропетровск: НКАУ, ГKB «Южное», 2002.—79 с.
  16. Российско-Украинский научно-прикладной проект «Интербол—Прогноз»: Науч. программа с приложениями. — ИКИ РАН — ИКИ НКАУ — НАНУ, 2001.
  17. Сопрунок П. М., Климов С. И., Корепанов В. Е. Электрические поля в космической плазме. — Киев: Наук. думка, 1994.—190 с.
  18. Сорокин В. М., Федорович Г. В. Физика медленных МГД-волн в ионосферной плазме. — М.: Энергоатомиздат, 1982.—136 с.
  19. Федоренко А. К., Лизунов Г. В., Роткель Х. Спутниковые наблюдения квазиволновых возмущений атмосферы на высотах области F, вызванных мощными землетрясениями // Геомагнетизм и аэронаука.—2005.—45, № 3.—С. 403—410.
  20. Фролов О. С., Дуднік О. В., Шевченко В. А та ін. Детектори і багатоканальна електроніка для супутникових спектрометрів космічного випромінювання // Вісник Київ. ун-ту. Сер. Фізико-математичні науки.—2001.—Вип. 3.—С. 479—487.
  21. Черногор Л. Ф. Энергетика процессов на Земле, в атмосфере и околоземном космосе в свете проекта «Попередження» // Космічна наука і технологія.—1999.—5, № 1.—С. 38—47.
  22. Шувалов В. А., Приймак А. И., Резниченко Н. П. и др. Контактная диагностика ионосферной и лабораторной плазмы // Космічна наука і технологія.—2004.—10, № 2/3.—С. 3—15.
  23. Ямпольский Ю. М. Система подспутникового ионосферного зондирования // Первая украинская конференция по перспективным космическим исследованиям: Сб. тезисов. — Киев, 2001.—С. 58.
  24. Ямпольский Ю. М., Зализовский А. В., Литвиненко Л. Н. и др. Вариации магнитного поля в Антарктике и сопряженном регионе (Новая Англия), стимулированные циклонической активностью // Радиофизика и радиоастрономия.—2004.—9, № 2.—С. 130—151.
  25. Artru J., Longnonne P., Blanc E. Normal modes modeling of post-seismic ionospheric oscillations // Geophys. Res. Lett.—2001.—P. 697—700.
  26. Atmospheric and ionospheric electromagnetic phenomena associated with earthquakes / Ed. by M. Hayakawa. — Tokyo, TERRAPUB, 1999.—996 p.
  27. Beley V. S., Galushko V. G., Yampolski Yu. M. Traveling ionospheric disturbance diagnostics using HF signal trajectory parameter variations // Radio Sci.—1995.—30, N 6.—P. 1739—1752.
  28. Electromagnetic phenomena related to earthquake prediction / Ed. by M. Hayakawa and Y. Fujinawa. — Tokyo, TERRAPUB, 1994.
  29. Francis S. H. Global propagation of atmospheric gravity waves: a review // J. Atmos. and Terr. Phys.—1975.—37.—P. 1011—1054.
  30. Galperin Yu. I., Hayakawa M. On the magnetospheric effects of experimental ground explosions observed from AUREOL-3 // J. Geomagn. and Geoelec.—1996.—48.—P. 1241—1263.
  31. Galushko V. G., Beley V. S., Koloskov A. V., et al. Frequency-and-angular HF sounding and VHF ISR diagnostics of TIDs // Radio Sci.—2003.—38, N 6.—P. 1102.
  32. Georges T. M. HF Doppler studies of traveling ionospheric disturbances // J. Atmos. and Terr. Phys.—1968.—30.—P. 735—746.
  33. Hines C. O. The upper atmosphere in motion. — Washington, D. C.: American Geophys. Union, 1974.
  34. Hocke K., Schlegel K. A review of atmospheric gravity waves and travelling ionospheric disturbances: 1982—1995 // Ann. Geophys.—1996.—14.—P. 917—940.
  35. Huang Y. N., Cheng K., Chen S. W. On the detection of acoustic-gravity waves generated by typhoon by use of real time HF Doppler frequency shift sounding system // Radio Sci.—1985.—20.—P. 897—906.
  36. Jacobson, A. R., Carlos R. C. Observations of acoustic-

- gravity waves in the thermosphere following Space Shuttle ascents // *J. Atmos. Terr. Phys.*—1994.—56.—P. 525—528.
37. Korepanov V. Study of electromagnetic precursors in ionosphere (WARNING Project) // *Phys. Chem. Earth.*—1998.—23, N 9-10.—P. 969—973.
  38. Korepanov V., Klimov S., Belyayev S., et al., International Space Station: study of near-surface environment // 57<sup>th</sup> International astronomical congress (Valencia, Spain, October, 2—6, 2006). — 2006.—CD publ.—IAC 06-B4.3.09.
  39. Korepanov V., Krasnoselskikh V., Lizunov G., et al. Experiment variant onboard Ukrainian satellite Sich-1M — first results // Abstracts of the 36<sup>th</sup> COSPAR Scientific Assembly (Beijing, China, July 16—23, 2006). — 2006.—CD publ.—COSPAR2006-A-00628 (PSW1-0034-06),
  40. Korepanov V., Negoda O., Lizunov G., et al. Project Variant: current and field measurements on board Sich-1M satellite // *Adv. Space Res.*—2000.—25, N 7-8.—P. 1337—1342.
  41. Kramer H. J. Observation of the Earth and its environment. Survey of missions and sensors. — Berlin, New York: Springer, 2002.—1982 p.
  42. Kushida Yo., Kushida R. Possibility of earthquake forecast by ground observation in the VLF band // *J. Atmos. Electricity.*—2002.—22, N 3.—P. 239—255.
  43. Lizunov G., Hayakawa M. Atmospheric gravity waves and their role in lithosphere-troposphere-ionosphere interaction // *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials.*—2004.—124, N 12.—P. 1109—1120.
  44. Manzini E., Hamilton K. Middle atmospheric traveling waves forced by latent and convective heating // *J. Atmos. Sci.*—1993.—50.—P. 2180—2200.
  45. National space weather program. Strategic plan. Office of Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research FCM-P30-1995. — Washington, August 1995.
  46. Pfister L., Chan K. R., Bui T. P., et al. Gravity waves generated by a tropical cyclone during the STEP tropical field program: a case study // *J. Geophys. Res.*—1993.—98.—P. 8611—8638.
  47. Rice C. J., Sharp L. R. Neutral atmospheric waves in the thermosphere and tropospheric weather systems // *Geophys. Res. Lett.*—1977.—4, N 8.—P. 315—318.
  48. Rishbeth, H., Garriot O. K. Introduction to ionospheric physics. — New York: Academic, 1969.—331 p.
  49. Roberts, D. H., Klobuchar J. A., Fougere P. F., Hendricson D. H. Large-amplitude traveling ionospheric disturbance produced by the May 18.1980 explosion of Mount St. Helene // *J. Geophys. Res.*—1982.—87.—P. 6291—6301.
  50. Rothkaehl H., Izhovkina N., Prutensky I., et al. Ionospheric disturbances generated by different natural processes and by human activity in Earth plasma environment // *Ann. Geophys.*—2004.—Suppl. 47, N 2/3.—P. 1215—1226.
  51. Sauli P., Boska J. Tropospheric events and possible related gravity wave activity effects on the ionosphere // *J. Atmos. and Terr. Phys.*—2001.—63.—P. 945—950.
  52. Seismo electromagnetics: lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling / Ed. by M. Hayakawa and O. A. Molchanov. — Tokyo, TERRAPUB, 2002.—477 p.
  53. Vaisberg O. On the determination of the spatial scale in the moving reference frame // *Sov. J. Space Res.*—1985.—12, N 6.—P. 1241.
  54. Varshavskiy I. I., Kalikhman A. D. Ionospheric effects of ground industrial explosions // *Geomagn. Aeron.*—1984.—24.—P. 211—216.
  55. Withbroe G. L. Living with star. Space weather. — Washington, D.C, American Geophys. Union, 2001.—P. 45—51.—(Geophysical Monograph 125).

---

#### THE IONOSPHERIC SATELLITE CLUSTER IONOSATS

*V. M. Ivchenko, V. Ye. Korepanov, G. V. Lizunov,  
O. P. Fedorov, Yu. M. Yampolsky*

Some proposals for the IONOSATS ionosphere space project, its scientific goals, onboard instruments and possibility of realization are presented. We propose to construct a space system for the long-term spatial-temporal monitoring of the main field and plasma parameters of the ionosphere for further development of fundamental conceptions of solar-terrestrial connections physics, nowcasting and forecast of Space Weather (SW) and diagnostics of natural and technogenic hazards using a cluster of three LEO microsattellites. The main project tasks are the following. 1. Scientific and methodological elaboration of the efficiency of the use of LEO satellites for SW monitoring, corresponding technological realization development and tests. 2. Systematic study of the dynamic response of the ionosphere to influences «from above» (solar and geomagnetic activity) and «from below» (meteorological, seismic and technologic processes). 3. Spatial-temporal monitoring of ionospheric disturbances with the aim to extract the signatures of natural and technogenic catastrophic events in the lower atmosphere and at the Earth's surface. 4. Synchronous operation of the existing sub-satellite electromagnetic and meteorological polygons. 5. Calibration of modern prognostic models of quiet and disturbed ionosphere. The IONOSATS project is proposed by the National Space Agency of Ukraine for the First European Space Program and for the Space Weather Program as a part of Global Monitoring for Environment and Security (GMES).