

© В. М. Івченко¹, Л. В. Козак¹, Ю. І. Венедиктов²,
О. В. Збруцький³, В. Є. Корепанов⁴, Є. І. Крючков⁵,
Г. В. Лізунов¹, А. А. Лукенюк⁴, А. К. Федоренко⁵

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка

²Спеціальне проектно-конструкторське бюро «Дискрет» Одеського національного політехнічного університету, Одеса

³Національний технічний університет України (КПІ), Київ

⁴Львівський центр Інституту космічних досліджень НАНУ-НКАУ

⁵Інститут космічних досліджень НАНУ-НКАУ, Київ

ПРОЕКТ «ГЕОКОСМОС» ДЛЯ УКРАЇНСЬКОГО МОЛОДІЖНОГО СУПУТНИКА

Подано опис наукового експерименту, запропонованого для Українського молодіжного супутника (УМС), створення та запуск якого передбачені Національною космічною програмою України на 2003—2007 роки. Метою проекту є фундаментальні дослідження з фізики іоносфери, а також розробка методів моніторингу поверхні Землі та навколосемного простору. Новизна проекту полягає у використанні мікросупутника для вивчення іоносферного відгуку на природні і техногенні впливи знизу (екологічний моніторинг). Запропонований комплекс бортової апаратури УМС включає в себе давачі електромагнітних полів і частинок в іоносфері, а також телевізійну і спектрометричну апаратуру для спостереження як за погодними структурами (циклонами, фронтальними зонами), так і збуреннями на земній/водній поверхні. Даний комплекс приладів може бути використаний не лише для розв'язання наукових задач проекту, а також і для ДЗЗ. Більшість приладів мають прототипи, розроблені для проектів «Інтербол», «Попередження», «Варіант».

ВСТУП

15 січня 2004 року Національним космічним агентством України був оголошений конкурс проектів для Українського молодіжного супутника (УМС), на який подано проект «Террагенні ефекти в іоносфері» (шифр «Геокосмос»). Метою цього проекту є фундаментальні дослідження з фізики іоносфери, а також розробка методів моніторингу поверхні Землі та навколосемного космічного простору.

У той час як іоносферні збурення, обумовлені сонячною та геомагнітною активністю, досліджуються вже кілька десятків років в рамках програм з сонячно-земних зв'язків та космічної погоди, значно менше уваги приділяється дослідженню впливів на іоносферу «знизу». В результаті в цій галузі космічних досліджень залишається малорозвиненим цілий науковий напрям, причому Україна в цьому напрямі має чималий науково-технічний доробок (теоретичні, експериментальні та інженерні розробки в рамках проектів «Попередження», «Варіант», «Інтербол-Прогноз»). Ми пропонуємо використати ситуацію, що склалася, для того, щоб надати експериментам на борту УМС, з одного боку, обґрунтованості, з іншого — оригінальності. Основна ідея запропонованого проекту — викори-

стання мікросупутника для прямої реєстрації іоносферного відгуку на природні і техногенні впливи знизу.

Слід відзначити, що моніторинг електромагнітних параметрів геокосмосу є актуальним з точки зору реалізації програм космічної погоди та GMES, що, в свою чергу, є важливим для залучення українських молодих вчених у міжнародну наукову кооперацію. Також слід відзначити екологічну спрямованість проекту. Деякі практичні задачі виявлення небезпечних і катастрофічних явищ на поверхні Землі традиційно розв'язуються з використанням методів ДЗЗ. Менше вивчені можливості використання для цього специфічно іоносферних спостережень, наприклад виявлення іоносферних провісників землетрусів.

Конкретні завдання проекту включають:

- вимірювання тонкої структури електромагнітних полів і варіацій концентрації плазми вздовж орбіти супутника;
- спостереження за погодними системами і спектральними параметрами земної поверхні під супутником;
- кореляційний аналіз зв'язку іоносферних збурень з метеорологічною і сейсмічною активністю;

— розробка освітньої програми для студентів та школярів.

Всі ці задачі — реєстрація явищ на поверхні Землі та в нижній атмосфері, виявлення іоносферного відгуку, осмислення одержаних даних, екологічний моніторинг — є не лише актуальними, але й зрозумілими та цікавими задачами для нового покоління науковців та інженерів.

НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Ми розглядаємо іоносферу як специфічну оболонку Землі, чутливу до впливів згори і знизу. Впливи згори викликані, як правило, сонячною активністю і призводять до складного комплексу іоносферно-магнітосферних збурень. Впливи знизу пов'язані з коливаннями, що генеруються в розташованій нижче нейтральній атмосфері [8]. Оскільки основна енергетика атмосфери зосереджена в рухах нижчих, найщільніших шарів, потужними джерелами атмосферних хвиль, які досягають іоносферних висот, є метеорологічні і сейсмічні процеси (циклони, струменеві течії, виверження вулканів, сильні землетруси), а також техногенні вибухи і старти ракет [3].

Впливи на іоносферу «зверху» широко досліджуються уже декілька десятиліть в рамках програм зі сонячно-земних зв'язків і тепер з космічної погоди. Впливи «знизу» досліджені менше через значні технічні та методологічні проблеми реєстрації неоднорідностей нейтральної атмосфери на іоносферних висотах та ідентифікації їхніх джерел. Річ у тому, що дистанційні методи діагностики іоносфери не дають прямої інформації про збурення нейтрального газу: реєструються не самі атмосферні хвилі, а їхні плазмові прояви — рухливі іоносферні збурення (РІЗ), інтерпретація яких неоднозначна. Інша складність пов'язана з ідентифікацією джерел збурень. Переважна частина даних про генерацію РІЗ атмосферними хвилями була отримана в експериментах з ядерними вибухами [6, 4, 9].

Ще одна причина інтересу до атмосферних хвиль як агента, що виносить енергію з нижніх шарів атмосфери вгору, пов'язана з проблемою іоносферних провісників землетрусів. Фізика та умови виникнення іоносферних збурень над ділянкою підготовки землетрусу незрозумілі. Незважаючи на велику кількість спостережень, недостатньо таких експериментальних даних, які дали б змогу визначити хоча б фізичний механізм, відповідальний за «проекцію» літосферних процесів підготовки землетрусу на іоносферу [1]. Гіпотеза про зв'язок іоносферних провісників землетрусів з коливаннями

нейтральної атмосфери, що викликаються термічними аномаліями земної поверхні [10, 11], була вперше запропонована Гохбергом та ін. [7].

Термін «атмосферна гравітаційна хвиля» (АГХ) чи «внутрішня гравітаційна хвиля» використовується нами для позначення однієї із дисперсійних гілок атмосферних хвиль. Період АГХ складає приблизно від 6 хв до 10 год, довжина хвилі — від десятків метрів до декількох тисяч кілометрів. На шкалі частот гравітаційна мода атмосферних хвиль знаходиться поряд з низькочастотними планетарними і високочастотними акустичними модами. Всі ці хвилі — акустичні, гравітаційні, планетарні — відіграють свою роль в динаміці атмосфери. Акустичні хвилі найбільш швидкі і утворюють передній фронт збурень, які досягають іоносфери при землетрусах і вибухах [5]. При цьому енергетичний вплив на іоносферу акустичних хвиль невеликий через сильну дисипацію звуку з висотою. Значно більший потік енергії пов'язаний з планетарними хвилями, відповідальними за формування великомасштабних довгоперіодичних іоносферних неоднорідностей [2]. Однак через їхню малу швидкість транспорт енергії планетарними хвилями займає тижні і місяці. Атмосферні гравітаційні хвилі забезпечують не тільки енергетично ефективний, але і «швидкий» динамічний зв'язок нижньої атмосфери з іоносферою. В цьому процесі важливу роль відіграють АГХ з довжинами порядку 100...200 км, фазовими і груповими швидкостями 100...200 м/с. Головна мета пропонованого супутникового проекту полягає у прямому вимірюванні з борта УМС іоносферних збурень, викликаних АГХ від тропосферних і поверхневих джерел.

Комплекс бортової апаратури УМС, необхідний для розв'язання цієї задачі, повинен включати в себе давачі електромагнітних полів і частинок в іоносфері, а також фотометричну (телевізійну) апаратуру для спостереження за наземними джерелами збурень. Слід зазначити, що даний комплекс приладів може бути використаний не лише для розв'язання наукових задач проекту, але й для проведення «стандартних» геофізичних вимірювань і ДЗЗ. Крім того, великий інтерес представляє застосування високоточних наукових давачів для відпрацювання методів орієнтації і визначення координат КА.

МОДЕЛЬНИЙ СКЛАД КНА ТА ОРБИТА СУПУТНИКА

Виходячи з визначених вище задач і реальних можливостей комплектації мікросупутника, можна запропонувати наступний модельний склад корис-

Таблиця 1. Склад КНА

Давач	Вимірювана величина	Технічні характеристики	Розробник
Індукційний магнітометр	Компоненти магнітного поля B_x, B_y Діапазон частот 0.1 Гц — 100 кГц Шум 10^{-13} Тл/Гц ^{1/2}	Споживана потужність менше 0.16 Вт; маса 170 г	А. Марусенков (ЛЦ ІКД)
Електричний зонд	Потенціали електричного поля в двох точках φ_1, φ_2 Діапазон частот 0.1 Гц—200 кГц Шум мкВ/Гц ^{1/2}	Маса: 140 г, Споживана потужність 0.1 Вт	А. Сухенюк (ЛЦ ІКД)
Давач холодної плазми «Альфа-5»	Концентрація іонів в іоносферній плазмі — 10^2 — 10^6 см ⁻³ ; температура іонного компонента 0.2—5 еВ;	Споживана потужність < 1 Вт; маса 1.5 кг	Ю. Венедиктов (СПКБ «Дискрет»)
Ферозондовий магнітометр	Вектор магнітного поля B . Діапазон частот DC — 0.5 Гц	Споживана потужність 0.63 Вт; маса 0.7 кг	С. Беляєв (ЛЦ ІКД)
ПЗЗ камера видимого та ІЧ-діапазону з інтерференційним спектральним приладом	Зображення ділянок земної поверхні і атмосфери з роздільною здатністю 0.1 км. Вимірювання потоку випромінювання в спектральних інтервалах ≈ 1 нм	Споживана потужність 3 Вт; маса 3.2 кг	В. Лапчук (КНУ)
Бортова система збору інформації	Вимоги до СЗНІ будуть визначені за інформаційними характеристиками приладів та науковою програмою експериментів	Маса < 2 кг Споживана потужність < 8 Вт Габаритні розміри: 80×140×145 мм	А. Лукенюк (ЛЦ ІКД, «Львівська Політехніка»)

ного навантаження УМС: плазмово-хвильовий комплекс; комплекс апаратури ДЗЗ; СЗНІ.

Плазмово-хвильовий комплекс повинен включати:

1. Трикомпонентний давач геомагнітного поля. Мета — вимірювання вектора магнітного поля Землі, орієнтація КА.

2. Двокомпонентний давач змінного магнітного поля. Ділянка частот 0.01—100 Гц, динамічний діапазон 0.01—1000 нТл. Мета — вимірювання хвильової форми плазмових збурень, що генеруються АГХ в іоносфері, і альвенівських хвильових структур магнітосферного походження.

3. Однокомпонентний давач напруженості електричного поля. Мета — вимірювання хвильових форм електромагнітних сигналів в діапазоні частот 0.1 Гц — 1 кГц і форми спектру в діапазоні до 100 кГц. Частотний діапазон 1—100 кГц включає в себе ділянку іонних циклотронних резонансів, іонного звуку і вістлерів, реєстрація яких дасть змогу отримати інформацію про спектр низькочастотної турбулентності плазми і відслідковувати склад основних іонних компонентів. З використанням зонда електричного поля також будуть детектуватися КНЧ- та ДНЧ-емісії природного і техногенного походження.

4. Давач фонові плазми для вимірювання концентрації основних іонів, електронної та іонної температури. Роздільне визначення електронної та іонної температур необхідне для інтерпретації спектру плазмових хвиль.

5. Приймач GPS-сигналів, що входить до складу службової системи мікросупутника, дані якого після наземної обробки будуть використані для інтерпретації іоносферних вимірювань. Так, оцінка за-

гальних характеристик верхньої атмосфери вздовж орбіти супутника може бути здійснена шляхом точного вимірювання параметрів його орбіти. При точності визначення координат не гірше кількох метрів, спостереження за процесом гальмування мікросупутника дозволить оцінити густину верхньої атмосфери, а також дослідити характер її широтних і добових варіацій. Зіставлення даних бортового і наземних GPS-приймачів (експеримент з радіопросвічування) дозволить детектувати великомасштабні плазмові неоднорідності.

Комплекс ДЗЗ включає в себе спектрометр та фотокамеру (напрямок в надир) для спостереження за погодними структурами під супутником (циклонів, фронтальних зон), збуреннями на земній/водній поверхні.

Запропонований перелік наукових інструментів є мінімально достатнім. Його можна скоротити, але реалізація пропозицій щодо складу КНА у повному обсязі значно підвищить можливості проекту. Для розв'язання наукових задач даного проекту найбільше підходить полярна кругова орбіта супутника. Така орбіта забезпечить покриття всієї поверхні Земної кулі та перетин основних морфологічних зон іоносфери: полярних шапок, авроральних овалів, ділянки проекції каспу на іоносферу та ін. На певних витках УМС буде проходити над нагрітими стендами (потужними КХ-передавачами), що дасть можливість проведення комбінованих експериментів з нагріванням іоносфери та реєстрацією ефекту безпосередньо з борту супутника. Особливий інтерес викликають експерименти із впливу на авроральну іоносферу потужного нагрівного комплексу Європейської іоносферної асоціації EISCAT (Тромсе, Норвегія). Крім того, на момент запуску

Таблиця 2. Учасники проекту

Організація-учасник	Вклад в проект
Київський національний університет імені Тараса Шевченка (КНУ)	Загальна координація робіт Розробка освітньої програми для студентів Виготовлення ПЗЗ камери
Львівський національний університет «Львівська Політехніка», ЛЦ ІКД	Розробка та виготовлення СЗНІ
Львівський центр інституту космічних досліджень НАНУ-НКАУ (ЛЦ ІКД)	Виготовлення плазмового хвильового комплексу
СПКБ «Дискрет» Одеського національного політехнічного університету	Виготовлення давача холодної плазми
Інститут космічних досліджень НАНУ-НКАУ (ІКД)	Розробка циклограм вимірювань. Наземний сегмент збору інформації
НАЦ КТНП при національному технічному університеті України (КПІ)	Відпрацювання методів орієнтації і навігації КА

УМС буде завершено будівництво першої черги надпотужного нагрівного КХ-комплексу в Гаконі (Аляска, США). Також є цікавими експерименти щодо впливу на іоносферу нагрівного стелу Радіо-астрономічного інституту НАНУ (м. Харків) та акустичного джерела ЛЦ ІКД НАНУ-НКАУ (м. Львів).

Всі вказані експерименти є актуальними не тільки з точки зору наукових задач даного проекту, але і традиційних геофізичних вимірювань і ДЗЗ. Самостійний інтерес має задача використання високоточних наукових давачів для відпрацювання методів орієнтації і навігації КА. Автори вважають, що запропонований проект може значною мірою задовольнити і заявки інших авторів за напрямками (1) «наукові космічні дослідження», (2) «спостереження Землі з космосу», (3) «системи стабілізації і орієнтування», (5) «освітні проекти за тематикою досліджень УМС».

Перелік наукових приладів, які пропонуються для УМС, подано в табл. 1. Майже всі вони мають прототипи, створені для проектів «Інтербол», «Попередження», «Варіант». Прилади, виготовлені в ЛЦ ІКД, успішно функціонували в експериментах на КА «Інтербол-1, -2» та на станції «Мир».

Розподіл обов'язків між учасниками проекту наведено в табл. 2.

ВИСНОВКИ

Національна космічна програма України передбачає запуск молодіжного мікросупутника орієнтовно в 2006 році. Ми пропонуємо здійснити на борту

серію експериментів з реєстрації тонкої структури електромагнітних полів і варіацій плазми в іоносфері, а також досліджувати зв'язок цих варіацій з погодними системами і потужними (катастрофічними) явищами на поверхні Землі. Успішна реалізація проекту буде сприяти не тільки прогресу в галузі фундаментальних космічних досліджень, але і поглибленій кооперації українських дослідницьких колективів з міжнародним науковим співтовариством.

Роботу виконано при підтримці контракту з НКАУ № 8-6/02.

1. Гримальский В. В., Івченко В. Н., Лизунов Г. В. Спутниковые наблюдения ионосферных предвестников землетрясения // Космична наука і технологія.—2000.—6, № 2/3.—С. 21—30.
2. Данилов А. Д., Казимировский Э. С., Вергасова Г. В., Хачикян Г. Я. Метеорологические эффекты в ионосфере. — Ленинград: Гидрометеоиздат, 1987.—271 с.
3. Черногор Л. Ф. Энергетика процессов на Земле, в атмосфере и околоземном космосе в свете проекта «Попередження» // Космична наука і технологія.—1999.—5, № 1.—С. 38—47.
4. Francis S. H. Global propagation of atmospheric gravity waves: a review // J. Atmospheric and Terrestrial Phys.—1975.—37.—P. 1011—1054.
5. Galperin Yu. I., Hayakawa M. On the magnetospheric effects of experimental ground explosions observed from AUREOL-3 // J. Geomag. Geoelectr.—1996.—48.—P. 1241—1263.
6. Georges T. M. HF Doppler studies of traveling ionospheric disturbances // J. Atmospheric and Terrestrial Phys.—1968.—30.—P. 735—746.
7. Gokhberg M. B., Nekrasov A. K., Shalimov S. L. A new approach to the problem of lithosphere-ionosphere coupling before the earthquake // Electromagnetic phenomena related to earthquake prediction / Ed. by M. Hayakawa and Y. Fujinawa. — Tokyo, TERRAPUB, 1994.—P. 619—626.
8. Hines C. O. Internal gravity waves at ionospheric heights // Can. J. Phys.—1960.—38.—P. 1441—1481.
9. Hocke K., Schlegel K. A review of atmospheric gravity waves and travelling ionospheric disturbances: 1982—1995 // Ann. Geophys.—1996.—14.—P. 917—940.
10. Tronin A. A. Satellite thermal survey application for earthquake prediction // Atmospheric and ionospheric electromagnetic phenomena associated with earthquakes / Ed. by M. Hayakawa. — Tokyo, TERRAPUB, 1999.—P. 717—746.
11. Tronin A. A. Atmosphere-lithosphere coupling. Thermal anomalies on the Earth surface in seismic processes // Seismo Electromagnetics: Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling / Ed. by M. Hayakawa and O. A. Molchanov. — Tokyo, TERRAPUB, 2002.—P. 173—176.

THE GEOCOSMOS PROJECT FOR THE UKRAINIAN JUNIOR SATELLITE

V. M. Ivchenko, L. V. Kozak, Yu. I. Venedyktov,
O. V. Zbrutskyi, V. Ye. Korepanov, Ye. I. Kriuchkov,
G. V. Lizunov, A. A. Lukeniuk, A. K. Fedorenko

A project of scientific experiments onboard the Ukrainian Junior Satellite (UJS) is proposed. The UJS creation and launch are provided in accordance with the National Space Program of Ukraine

for 2003—2007. The purpose of our project is fundamental researches in field of ionospheric physics and the elaboration of some methods for near-Earth space monitoring. Novelty in the project is the use of UJS for the direct detection of ionosphere response to natural and man-caused influences from below (ecological monitoring). The proposed complex of devices onboard UJS includes electromagnetic field and ionosphere-particle detectors and also TV

and spectrometer devices for observations of both meteorological structures (cyclones, frontal zones) and disturbances on ground/water surfaces. The complex of devices under consideration can be used not only for solving scientific problems of the project but also for carrying out the Earth remote sensing. Most of the devices have their prototypes worked out for the projects «Interball», «Prediction», and «Variant».

© А. П. Видьмаченко, О. В. Мороженко

Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ

КАРТИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЛУНЫ И УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ ПОЛЯРИМЕТРИЯ С ОРБИТАЛЬНОЙ ЛУННОЙ СТАНЦИИ

Наземні і космічні дослідження Місяця дозволили виконати крупномасштабне приблизне картування його поверхневого шару. Морфологічні деталі Місяця мають різні спектральні відбивні властивості. Їхньою характерною рисою є зменшення відбивної здатності при переході від візуальної до УФ-ділянки спектру і наявність смуг поглинання в ІЧ-ділянці спектру. Це дозволяє говорити про мінералогію поверхні Місяця. Різні морфологічні утворення поляризують світло по-різному. Значення ступеня поляризації багатьох деталей на Місяці в довгохвильовій області спектру практично однакові, але в ультрафіолетовій сильно відрізняються. Фазова крива в ультрафіолеті дозволяє визначити величину фазового кута α_{\max} , при котрому має місце максимальне значення ступеня поляризації P_{\max} , з похибкою, меншою від 1° . Знання цих оптичних параметрів поверхні дозволяє визначити показники заломлення мінеральних часток, тобто виконати картографування мінералів на Місяці.

Введение. Есть много свидетельств в пользу гипотезы, что именно гигантское воздействие на раннюю Землю создало Луну и что на молодой Луне был океан магмы. Последующее ее охлаждение и кристаллизация привели к образованию верхней части первоначальной коры Луны. В связи с практическим отсутствием атмосферы на нашем естественном спутнике возникает необходимость ответить на ряд вопросов: сколько из этой первичной коры «выжило» до настоящего времени? Она была полностью разрушена, или некоторые ее части остаются относительно неизменными? Какие минералы и где именно расположены на поверхности и, если возможно, то и под видимой поверхностью? и т. п. [1]. Наземные исследования и тщательные исследования с помощью космических аппаратов к настоящему времени позволили выполнить только довольно крупномасштабное и очень приблизительное картографирование поверхностного слоя нашего спутника. То есть, кроме чисто астрофизических исследований на повестку дня встают народнохозяйственные проблемы. Первостепенной задачей становится минералогическое картирование тел Солнечной системы, и в первую очередь Луны. Для повышения точности измерений и для лучшей детализировки по поверхности спутника необходимо выполнять основанное на анализе оптических свойств отраженного

излучения дистанционное картирование с небольшого расстояния от объекта исследований, и, лучше всего, с орбитального модуля, обращающегося по круговой орбите. Рассмотрим ниже возможные пути повышения достоверности получаемых результатов, касающегося картирования физических характеристик поверхностного слоя Луны.

Земные минералы и их характеристики. Минерал — это однородное твердое или жидкое неорганическое произведение природы определенного химического состава, входящего в состав твердой оболочки Земли и/или других небесных тел. Подавляющее большинство минералов представляют тела твердые, и только самородная ртуть, вода и нефть — жидкости. Наибольшее распространение получили силикаты, содержащие в основании щелочи, известь, магнезию, глинозем и окислы железа. Такова, например, группа полевых шпатов, слюд, хлоритов, роговых обманок и авгитов. За ними следуют окислы, водные и безводные (кварц со своими многочисленными видоизменениями и окислы железа, такие как красный железняк, магнитный железняк, бурый железняк и др.). Весьма распространены углекислые соединения, такие как кальцит и доломит, и некоторые представители сернистых соединений, например пирит; сернокислых — гипс; галоидных — каменная соль. Другие