

НАЦІОНАЛЬНЕ  
КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО  
УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНА  
АКАДЕМІЯ НАУК  
УКРАЇНИ

# КОСМІЧНА НАУКА І ТЕХНОЛОГІЯ

## НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

Журнал засновано в лютому 1995 р. ♦ Виходить 6 разів за рік

київ

Том 13, № 5, 2007

KYIV

### ЗМІСТ

Короткий звіт про виконання третьої Загальнодержавної (Національної) космічної програми України

Місяць: другий дім у Сонячній системі

Яцків Я. С. Первые шаги международного сотрудничества в мирном исследовании и освоении космоса (1957—1987 гг.)

Коротаєв Г. К., Пустовойтенко В. В., Терехін Ю. В., Драновський В. І., Кавелін С. С., Салтьков Ю. Д., Емельянов О. Л., Цымбал В. Н., Ефимов В. Б., Курекін А. С., Комяк В. А., Пічугін А. П. Тридцать лет отечественной спутниковой океанологии. 1. Космическая система «Океан» — «Січ»

### CONTENTS

- 5 Brief report on the execution of the Third National Space Program of Ukraine
- 19 The Moon: Second home in the solar system
- 21 Yatskiv Ya. S. The early steps of international cooperation in investigations of space (1957—1987)
- 28 Korotayev G. K., Pustovoytenko V. V., Terekhin Yu. V., Dranovsky V. I., Kavelin S. S., Saltykov Yu. D., Yemelyanov O. L., Tsymbal V. N., Yefimov V. B., Kurekin A. S., Komyak V. A., Pichugin A. P. Thirty years of domestic space oceanology. 1. Space system Ocean—Sich

*Коротаев Г. К., Пустовойтенко В. В., Терехин Ю. В., Драновский В. И., Кавелин С. С., Салтыков Ю. Д., Емельянов О. Л., Цымбал В. Н., Ефимов В. Б., Курекин А. С., Комяк В. А., Пичугин А. П. Тридцать лет отечественной спутниковой океанологии. 2. Прикладные аспекты использования спутниковой информации*

*Григоренко Е. И., Лысенко В. Н., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Анализ и классификация ионосферных бурь в средних широтах Европы. 1*

*Григоренко Е. И., Лысенко В. Н., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Анализ и классификация ионосферных бурь в средних широтах Европы. 2*

#### НАШІ АВТОРИ

**44** *Korotayev G. K., Pustovoytenko V. V., Terekhin Yu. V., Dranovsky V. I., Kavelin S. S., Saltykov Yu. D., Yemelyanov O. L., Tsymbal V. N., Yefimov V. B., Kurekin A. S., Komyak V. A., Pichugin A. P. Thirty years of domestic space oceanology. 2. Practical aspects of the application of satellite information*

**58** *Grigorenko Ye. I., Lysenko V. N., Taran V. I., Chernogor L. F. Analysis and classification of ionosphere storms at the midlatitudes of Europe. 1*

**77** *Grigorenko Ye. I., Lysenko V. N., Taran V. I., Chernogor L. F. Analysis and classification of ionosphere storms at the midlatitudes of Europe. 2*

#### 97 OUR AUTHORS

# КОРОТКИЙ ЗВІТ

## про виконання третьої Загальнодержавної (Національної) космічної програми України

В 2007 р. завершується виконання Загальнодержавної (Національної) космічної програми України на 2003—2007 рр. Подаємо короткий звіт про виконання цієї програми, підготовлений Національним космічним агентством України.

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПРО РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ЗАГАЛЬНОДЕРЖАВНОЇ (НАЦІОНАЛЬНОЇ) КОСМІЧНОЇ ПРОГРАМИ УКРАЇНИ НА 2003—2007 РОКИ

Загальнодержавна (Національна) космічна програма України (З(Н)КПУ) є третьою космічною програмою, яка покликана забезпечити рівень космічної діяльності, необхідний для досягнення геополітичних, економічних, соціальних та науково-технічних цілей України, виконання ключових завдань високотехнологічного розвитку.

Поточний стан космічної діяльності засвідчує, що космічна галузь України є однією з небагатьох, які сприяють поступальному розвитку економіки держави, підтримці науково-технічного потенціалу, виходу на міжнародні ринки високотехнологічної продукції.

Здійснення завдань Програми стимулює системний розвиток науково-технічних технологій, які визначають рівень науково-технічного потенціалу країни, їх впровадження у виробництво цивільної продукції, розвиток інноваційної моделі економічного зростання, а також вітчизняної науки.

Зокрема, забезпечуються:

- присутність українських ракет-носіїв на міжнародних ринках космічних послуг (за роки виконання Програми здійснено 23 старти ракет українського виробництва);
- підготовка низки комерційних космічних

проектів (від поточних — «Морський старт», «Дніпро», «Єгиптсат» до перспективних — «Циклон-4», «Наземний старт»);

- успішна реалізація проектів співробітництва з Росією («Довгострокова програма російсько-українських наукових досліджень та експериментів на російському сегменті МКС», «Радіоастрон», дослідження Землі), Бразилією («Циклон-4»), США (науки про життя та мікрогравітацію, перспективні проекти); започатковано розробку програми співробітництва з Європейським Союзом (ЄС) та ESA, зокрема, за пріоритетними проектами ЄС «Galileo» та GMES (Глобальний моніторинг в інтересах збереження довкілля та безпеки), програм з низкою інших країн;
- виконання ряду фундаментальних досліджень в інтересах вітчизняної науки (астрофізика, матеріалознавство, космічна біологія та медицина, науки про Землю);
- створення, випробування і експлуатація космічних систем та наземної інфраструктури для постійного космічного спостереження земної і морської поверхні в інтересах безпеки, раціонального природокористування та екологічного моніторингу (система «Січ»);
- система заходів щодо використання унікальних засобів Національного космічного центру в Євпаторії для досліджень в рамках міжнародних проектів та прийому телеметричної інформації з космічних апаратів далекого космосу.

У результаті проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт одержано такі найважливіші результати.

- Забезпечено проведення наукових досліджень, виготовлення апаратури, дооснащення наземних засобів з метою здійснення національних

та міжнародних проектів за напрямами: дослідження Землі та навколоzemного простору; позаатмосферна астрономія та астрофізика; космічна біологія, фізика невагомості; технологічні дослідження; системні дослідження з космічної діяльності.

- Виконано у запланованому обсязі роботи з модернізації ракети-носія «Циклон-4» для перспективного використання в міжнародних проектах, включаючи комерційні (зокрема — спільний з Бразилією проект запусків з космодрому Алкантара).
- Створено та проведено льотні випробування нового українського космічного апарату «Січ-1М» та мікросупутника МС-1-ТК, завершується створення нового мікросупутника середнього класу МС-2-8 («Січ-2»), створено наземний комплекс управління та інформаційний комплекс.
- Одержано принципово нові результати та випробувано нові вимірювальні прилади в ході виконання міжнародного космічного експерименту «Варіант» (на борту «Січ-1М»); введено в дослідну експлуатацію Систему контролю та

аналізу космічної обстановки; створено національні засоби наземної системи космічної навігації; розроблено програмно-апаратні засоби та методики обробки даних, створюється система використання аерокосмічних даних як частина європейського проекту GMES.

Позитивним наслідком є зосередження зусиль на ключових пускових проектах, забезпечення мінімально необхідного рівня розробок та льотних випробувань нової космічної техніки, яка відповідає світовим стандартам і вимогам користувачів та є необхідною умовою присутності на міжнародних ринках.

#### Обсяги бюджетного фінансування З(Н)КПУ (млн грн)

	Роки				
	2003	2004	2005	2006	2007
План	374.9	386.1	431.1	213.6	176.7
Факт	119.7	79.5	67.5	53.3	65.0
% від плану	31.9	20.6	15.7	24.9	36.8

### Структура Програми

З(Н)КПУ включає такі взаємопов'язані цільові програми:

№ п/п	Назва цільової програми	Завдання
1	Наукові космічні дослідження	Вивчення Землі та навколоzemного простору, дослідження в області космічної біології та фізики невагомості, астрономічні та астрофізичні наземно-космічні проекти
2	Дистанційне зондування Землі	Розвиток національної системи спостереження Землі «Січ», створення систем космічного моніторингу та геоінформаційного забезпечення в інтересах широкого кола споживачів
3	Спутникові системи телекомунікацій	Розвиток національних супутниковых систем зв'язку, мовлення і передачі даних на основі сучасних цифрових технологій
4	Розвиток наземної інфраструктури навігаційних та спеціальних інформаційних систем	Створення та введення в дію систем космічного навігаційно-часового забезпечення, збору та обробки геофізичної інформації, контролю та аналізу космічної обстановки
5	Космічні комплекси	Модернізація модифікацій вітчизняних ракет-носіїв, розробка і запуск космічних апаратів нового покоління
6	Розвиток базових елементів та прогресивних технологій космічної техніки	Забезпечення нових підходів та технічних рішень, високих функціональних характеристик національних космічних систем
7	Розвиток дослідно-експериментальної та виробничої бази галузі	Підтримка у належному стані наявної бази, її модернізація, використання для виробництва високотехнологічної цивільної продукції

Через недостатнє фінансування Програми та інші причини не виконувався міжнародний проект «Інтербол-Прогноз», не виконано в повному обсязі науково-прикладну програму використання даних проекту «Січ-1М», затягуються терміни виконання проекту «Січ-2». Не виконувалась низка проектів з напрямів забезпечення оборони і безпеки, перспективних досліджень в галузі нової космічної техніки, фундаментальних космічних досліджень, а також проектів з комерціалізації та впровадження космічних технологій.

Негативним наслідком недостатнього фінансування Програми є неможливість забезпечення користувачів безперервною інформацією з вітчизняних космічних засобів, невиконання перспективних розробок, відтягування участі України в престижних міжнародних космічних проектах. Збереження таких тенденцій може привести до поступового згортання космічної діяльності як на міжнародних ринках космічних послуг, так і у використанні космічних технологій в інтересах розвитку економіки та науки України.

#### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБІТ ЗА НАПРЯМАМИ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

##### **1. НАУКОВІ КОСМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

*Дослідження Землі та навколоzemного простору*

Один з основних напрямів світової космічної науки — вивчення процесів у магнітосфері та іоносфері Землі, спричинених активністю Сонця. Виявлено суттєвий вплив космічної погоди на самопочуття людей, стан технічних систем у навколоzemному просторі. Нагальним постає питання організації служби космічної погоди. Ряд наукових центрів України проводять скоординовані дослідження з метою створення наукової основи для її прогнозування. Головна астрономічна обсерваторія НАНУ займається вивченням сонячної активності шляхом спостережень з поверхні Землі, а також з борту космічних апаратів серії «Коронас». Діяльність фахівців КрАО, Харківського і Київського національних університетів сконцентровано на дослідженнях процесів в активних частинах сонячної атмосфе-

ри і розробці моделі сонячного вітру. В Інституті іоносфери НАНУ та МОНУ вивчається механізм виникнення іоносферних штурмів під час сонячних спалахів. Радіоастрономічним інститутом НАНУ і НЦУВКЗ проведено в радіохвильовому діапазоні цикл спостережень за викидами сонячної маси у міжпланетний простір. В ІКД НАНУ-НКАУ виконано цикл робіт з дослідження нелінійних хвильових процесів у навколоzemному просторі, впливу сонячних збурень на гео- і біосферу Землі; для надання громадянам даних щодо космічної погоди створюється відповідна інформаційна система.

Проект «Варіант» (головний виконавець — ЛЦ ІКД НАНУ-НКАУ) присвячено вимірюванню електричних струмів та електромагнітних полів іоносферної плазми з борту супутника «Січ-1М» для прогнозу іоносферних явищ, зумовлених сейсмічною активністю. Учасники робіт — міжнародний колектив з Великобританії, Польщі, Франції, Росії та України під науковим керівництвом українських вчених. Для реєстрації структури електричних характеристик космічної плазми підготовлено комплекс наукової апаратури. За період польоту супутника отримано та передано на Землю цінну наукову інформацію, проведено її обробку та інтерпретацію.

Проект «Іоносфера» (ЛЦ ІКД НАНУ-НКАУ) доповнює вивчення закономірностей і взаємодії у ланцюжку літосфера — атмосфера — іоносфера — магнітосфера Землі. Його основна мета — наземний і супутниковий моніторинг іоносферних параметрів, дослідження процесу передачі енергії від поверхні Землі в іоносферу через акустичний канал. Створено автомобільний акустичний випромінювач та наземний мобільний комплекс для вимірювання фізичних полів, теоретично обґрунтовано можливі механізми підсилення акустичних збурень в атмосфері, проведено комплексні експерименти в обсерваторії Інституту іоносфери НАНУ та МОНУ та наземно-космічний акустичний експеримент з французьким супутником DEMETER. В результаті експериментів встановлено вплив акустичних збурень на процеси в іоносфері та верхній атмосфері Землі. Розроблено методику організації моніторингу електромагнітного оточення МКС та програму досліджень, виготовлено апаратний комплекс в рамках космічного експерименту «Обстановка». Прикладними аспектами дослід-

жень є прогноз землетрусів, розробка методів управління погодою.

Метою проекту «Зондування» (НЦАКДЗ ІГН НАНУ) є вивчення глобальних та регіональних змін довкілля на основі дистанційних методів, створення наукових основ та космічних технологій рационального природокористування.

Для визначення оптимальних напрямів розвитку вітчизняних систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) створено методологію оцінки їх науково-інформаційної та соціально-економічної ефективності, розроблено науково-прикладні програми використання супутниковых даних, підготовлено низку державних стандартів в галузі ДЗЗ. З метою вирішення актуальних екологічних та природоресурсних задач відправцювано методи космічного моніторингу техногенного впливу на території, визначення стану та складу лісів, параметрів снігового покриву, вологості та вологозапасу ґрунтів сільгоспугідь, покладів вуглеводнів на шельфі, виконано експериментальні дослідження з моніторингу параметрів моря, розроблено тематичні карти для Національного атласу України. Виконано ряд робіт в рамках участі України в міжнародних організаціях зі спостереження Землі.

#### *Позаатмосферна астрономія та астрофізика*

У грудні 2005 р. завершився масштабний міжнародний проект «Коронас-Ф», присвячений дослідженням Сонця з використанням фотометра ДИФОС, створеного за участю спеціалістів ГАО НАНУ. Отримано нові наукові результати щодо спектрів потужності коливань сонячного випромінювання, їх просторових і фазових властивостей. Дані орбітальних досліджень зіставлялися з результатами синхронних наземних спостережень. Отримані результати розширяють теоретичні та експериментальні уявлення фізики Сонця.

Метою міжнародного експерименту «Коронас-Фотон» (ХНУ МОНУ) є продовження комплексних досліджень Сонця на перспективному спеціалізованому супутнику та вивчення впливу сонячної активності в різних діапазонах довжин хвиль на електромагнітну та радіаційну обстановку довкола Землі. Українськими учасниками експерименту розробляється супутниковий телескоп електронів і протонів СТЕП-Ф для вивчення динаміки високоенергетичних заряджених

часток магнітосферного та сонячного походження. Розроблено наукову програму досліджень. Виготовлено лабораторний та технологічний зразки телескопа, проведено стиковочні випробування технологічного зразка у складі космічного апарату. Ведеться виготовлення льотного зразка. В процесі виконання проекту розроблено та створено унікальні позиційно-чутливі кремнієві матричні детектори заряджених часток високих енергій.

Метою проекту «Інтерферометр» (РІ НАНУ) є спостереження об'єктів близького та дальнього космосу за допомогою радіотелескопа РТ-70, який є однією з найбільших у світі антенних систем. Для підвищення інформативності телескопа в автономному режимі та в мережах радіоінтерферометрів з наддовгими базами (РНДБ) здійснюється його дооснащення та модернізація. Розроблено та впроваджено на РТ-70 нові елементи сучасного приймально-реєстраційного комплексу сантиметрово-дециметрового діапазонів хвиль, проводиться підготовка телескопа до нових перспективних досліджень (місяця «Радіоастрон»). Виконано радіолокацію об'єктів Сонячної системи (планет, астероїдів, які наближаються до Землі), вивчено радіозображення галактичних та позагалактичних джерел, здійснено картографування радіовипромінювання Галактики та побудовано карту радіояскравості досліджуваних областей неба. Проведено успішні експерименти з прийому телеметричних сигналів апаратів далекого космосу («Марс-Експрес» і «Розетта») та експерименти у рамках міжнародної РНДБ-мережі. Отримано дані спостережень каталогізованого «космічного сміття», вперше виявлено дрібні фрагменти «космічного сміття» на геостаціонарних орбітах.

Проект «Астро» (ГАО НАНУ). Розробляються унікальні прилади для перспективних астрономічних досліджень. Створюється наукова апаратура — ультрафіолетовий статичний Фур'є-спектрометр та спектрометр-поліяриметр — для російсько-українського космічного експерименту «Планетний моніторинг — Спектрометр-поліяриметр» на борту Міжнародної космічної станції. Використання цих приладів дозволить вивчати властивості газово-аерозольного шару планетних атмосфер, безатмосферні тіла Сонячної системи, інтенсивність випромінювання Сонця в УФ-діапазоні, здійснювати моніторинг Землі. Виготов-

Назва експерименту (Виконавець)	Завдання експерименту
«Обстановка» (ЛІЦ ІКД НАНУ-НКАУ)	Розробка та створення бортової системи збору даних про електромагнітну обстановку навколо МКС
«Планетний моніторинг — Спектрометр-полариметр» (ГАО НАНУ)	Моніторинг планет Сонячної системи та Землі з борту МКС
«Матеріал—Тертя» (ІПМ і СКТБ ФТІНТ НАНУ)	Дослідження матеріалів космічної техніки на тертя та знос
«Морфос-В» (ІМФ НАНУ)	Вирощування кристалів модельних речовин в умовах мікрогравітації
«Пента-Втома» (СКТБ ФТІНТ НАНУ)	Дослідження впливу факторів космічного простору на характеристики втоми матеріалів космічного призначення
«Трубка» (ІПМ НАНУ)	Розробка малогабаритних теплових труб для систем охолодження космічної апаратури
«Біополімер» (ІХВС НАНУ)	Розробка методів отримання полімерних матеріалів, стійких до біокорозії
«Біосорбент» пар (ІСПЕ НАНУ)	Створення вуглецевих сорбентів та їх використання у космічній медицині і біотехнології
«Біолабораторія-М» (ІБ НАНУ)	Дослідження біологічних ефектів мікрогравітації на клітинному та молекулярному рівнях
«Технологія» (ІЕЗ НАНУ)	Розробка основ отримання в космосі досконалих напівпровідникових і композитних матеріалів
«КПО» (ІЕЗ НАНУ)	Розробка конструкцій перетворюваного об'єму і технологій їх виготовлення
«Кільце» (ІКД НАНУ-НКАУ)	Вимірювання електромагнітних флюктуацій в іоносфері Землі

лено та випробувано макети ряду вузлів, блоків і оптичних елементів приладів, проводиться розробка програм і методик наземної обробки даних, виконано спостереження інфрачервоних спектрів земної атмосфери для визначення вмісту озону. Здійснено підготовку та виготовлення обладнання для проведення лазерного атмосферного комунікаційного супутникового експерименту. Реалізація результатів робіт матиме суттєве значення для дослідження природи кліматичних змін.

#### *Космічна біологія, фізика невагомості, технологічні дослідження*

В рамках проекту «Сегмент» (ВАТ «НВК «Курс» та кооперація інститутів НАНУ) проводиться підготовка до реалізації на борту Міжнародної космічної станції циклу космічних експериментів (КЕ) для вивчення впливу невагомості на живі об'єкти, фізико-хімічні процеси та властивості речовин. Роботи здійснюються згідно з «Довгостроковою програмою російсько-українських наукових досліджень і експериментів на російському сегменті МКС». Спільно з російськими організаціями розроблено методики орбітальних досліджень і наукову апаратуру, виконується наземне відпрацювання кількох бортових

експериментів (див. таблицю).

Результатом робіт стане отримання принципово нових знань в галузі фізики, біології, медицини, а також створення перспективних космічних і наземних технологій.

Завдання проектів медико-біологічного профілю «Клітина» і «Космобіологія» (ІБ НАНУ) — вивчення гравічувтивості живих істот на різних рівнях їх організації, механізмів адаптації до умов мікрогравітації, розробка космічного обладнання та біотехнологій. У цій області космічної науки Україна посідає одне з провідних місць у світі. У виконанні досліджень задіяно низку профільних організацій Національної академії наук, Академії медичних наук, університети.

Серед результатів робіт — принципово нова наукова інформація щодо причинних зв'язків між змінами в клітинах і змінами на рівні організму в цілому. Вперше на рівні нанорозмірних підсистем кісткової тканини визначено механізми демінералізації кісток, що дозволяє на нових принципах розробляти контрзаходи для гальмування демінералізації кісткової тканини як в умовах невагомості, так і при остеопорозі в земних умовах. Досліджено відповідь системи «вірус — рослина» на дію мікро-

гравітації, запропоновано нові моделі для вивчення її впливу на біологічні ритми в організмі людини, імунну та нервову систему, мікроциркуляцію крові. Розроблено технології культивування низки біооб'єктів для систем життєзабезпечення космонавтів в тривалих космічних подорожах.

Отримані результати є основою для з'ясування біологічної ролі гравітації в існуванні та функціонуванні біосфери Землі, внеском у розвиток гравітаційної та загальної біології.

#### *Системні дослідження*

Метою системних досліджень є вибір пріоритетів космічної діяльності з урахуванням міжнародних тенденцій і специфіки України для обґрунтування стратегічного планування, підвищення ефективності роботи галузі.

У рамках проекту «Система» (ІТМ НАНУ-НКАУ) розроблено можливі сценарії розвитку космічної діяльності України, методику оцінки ефективності проектів З(Н)КПУ. Сформовано проект нової Загальнодержавної космічної програми України на 2008—2012 рр. з його економічним обґрунтуванням, проект Програми співробітництва між Україною і Російською Федерацією в космічній сфері. Відповідно до завдань розвитку технологічного потенціалу галузі систематизовано стратегічно важливі і перспективні космічні технології, розроблено заходи щодо їх впровадження.

У проекті «Система-1» (ННК ІПСА НТУУ «КПІ» МОНУ та НАНУ) перспективи розвитку космічної діяльності в Україні розглянуто із застосуванням методології технологічного передбачення. На цій основі розроблено нові концепції побудови сценаріїв майбутнього космічної галузі, створено інформаційну платформу та інструментарій сценарного аналізу у вигляді комплекса математичних, програмних, логічних та організаційно-технічних засобів.

Мета проекту «Аналіз» (ІКД НАНУ-НКАУ) — науково-методичне забезпечення виконання З(Н)КПУ. Побудовано структурну цільову модель космічної діяльності в Україні як інструмент стратегічного і тактичного планування; для підтримки рішень з вибору перспективних напрямів та підведення підсумків виконаних робіт створено багатокритеріальні методики оцінки ефективності космічних проектів і програм. Ви-

конано цикл системних досліджень з актуальних питань ДЗЗ і космічної погоди, розроблено методику атмосферної корекції космічних знімків земної поверхні, створено наукові основи та виготовлено макети надчутливого оптокріогенного гравіметра та оптичного датчика для гіперспектрального оцінювання стану рослинності.

Метою проекту «Право» (МЦКП ІДП НАНУ) є подальше формування та вдосконалення національного космічного законодавства для вирішення актуальних завдань розвитку космічної галузі в сучасних внутрішніх та зовнішніх умовах. Здійснювався правовий супровід реструктуризації галузі, проведено науково-практичні експертизи низки проектів документів, питань ціноутворення на космічну продукцію, процедур і дій ряду підприємств і організацій. Забезпечено участь у роботі сесій Комітету ООН з використання космічного простору в мирних цілях та його Юридичного підкомітету, проведено симпозіум ООН — Україна з космічного права (листопад 2006 р.). Здійснювалась інформаційно-аналітична та видавнича діяльність. Видано збірник «Космічне право України» (випуск четвертий) та ряд томів багатотомного Тематичного зібрання «Космічне законодавство країн світу».

Інформаційно-аналітична підтримка реалізації завдань З(Н)КПУ забезпечувалась виконанням проектів «Інформація» (ТОВ «ІАЦ «Спейс-Інформ», ГАО НАНУ). Для інформування громадськості про поточні результати робіт здійснювалося регулярне видання журналу «Космічна наука і технологія», у 2004 і 2006 рр. випущено збірник «Космічні дослідження в Україні» у якості звіту для міжнародної організації COSPAR. Для популяризації досягнень української космонавтики здійснено ряд презентацій НКАУ, підготовлено та видано низку буклетів та ілюстративних матеріалів.

Роботи за проектом «Освіта» (НЦАОМУ) роблять внесок у вирішення нагальної для галузі проблеми підготовки молодих спеціалістів. Його мета — заличення студентів та старших школярів до роботи над конкретним космічним проектом — створенням українського молодіжного супутника (УМС). Проведено конкурси проектів, обговорено 60 конкурсних пропозицій молодіжних творчих колективів ВУЗів, підприємств України та СНД, проведено семінари та науково-практичні конференції, підготовлено

навчально-методичну літературу. Сформовано концепцію УМС-1 і УМС-2, розроблено ескізу і конструкторську документацію щодо створення УМС-1, виготовлено та випробувано дослідні зразки корисного навантаження супутника.

## 2. ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Один з основних пріоритетів З(Н)КПУ — розвиток національної системи спостереження Землі з космосу. Особлива значимість цього напряму обумовлена високою інформативністю сучасних систем ДЗЗ, можливістю оперативного та комплексного аналізу ситуацій в переплетенні природних, економічних і соціальних факторів. Супутникові дані використовуються для вирішення екологічних і природоресурсних задач, розвитку фундаментальних досліджень, в інтересах безпеки і оборони країни.

### *Створення та експлуатація космічної системи спостереження Землі «Січ»*

Роботи спрямовано на створення національного космічного угрупування ДЗЗ для забезпечення України власними супутниковими даними.

В рамках проекту «Січ-1М» (ДКБ «Південне») виготовлено супутник в комплектації службової та спеціальної апаратури, програмні та апаратні засоби наземного комплексу управління та наземного спеціального комплексу, проведено випробування космічного апарату та засобів наземної інфраструктури. 24 грудня 2004 р. здійснено запуск супутника українським ракетоносієм (РН) «Циклон-3» з космодрому Плесецьк. У результаті нерозрахункового режиму роботи третього ступеня РН супутник було виведено на нештатну орбіту, що скоротило період його активного функціонування. На основі даних наукової бортової апаратури КА «Січ-1М» вирішено низку завдань проекту «Варіант», проведено ряд прикладних досліджень, частково виконано програму льотно-конструкторських випробувань супутника.

Мета проекту «Мікросупутник» (ДКБ «Південне») — розробка, виготовлення та запуск космічного апарату МС-1-ТК. Проект здійснювався для відпрацювання мікроплатформи МС-1, перевірки нових технічних рішень. При розробці КА реалізовано низку нових техно-

логій: створення супутника в негерметичному виконанні, використання на борту астронавігаційної системи, мініатюризація та інтеграція бортового обладнання, введення бортового обчислювального комплексу для керування підсистемами КА, збільшення ресурсу його енергозабезпечення. Було виготовлено, випробувано та сертифіковано космічний апарат, підготовлено наземну інфраструктуру управління, здійснено запуск супутника спільно з КА «Січ-1М». Продедні льотно-конструкторські випробування підтвердили штатне функціонування ряду систем бортової апаратури. Створена наземна інфраструктура керування та прийому інформації може бути використана для роботи з іншими перспективними апаратами. Бортові системи, механічні і електричні прилади мікросупутника та отриманий досвід застосовуватимуться при розробці перспективних КА «Іоносат», УМС-1 та ін. в рамках проектів нової Загальнодержавної космічної програми України.

За проектом «Січ-2» (ДКБ «Південне») створюється малогабаритний КА МС-2-8 на базі платформи МС-2. Його розроблено в негерметичному виконанні з широким використанням полімерних і композиційних матеріалів. Супутник оснащено оптико-електронною апаратурою в п'яти спектральних діапазонах з просторовим розрізненням не більше 8 м. Космознімки з таким розрізненням необхідні для картографії, контролю стану агропромислових ресурсів, надзвичайних ситуацій. Розроблено конструкторську і експлуатаційну документацію на космічний апарат, бортові підсистеми, технологічне обладнання та контрольно-випробувальну апаратуру, створено програмно-алгоритмічне забезпечення, підготовлено виробництво, виготовлено дослідницькі та випробувальні стенді. Створено дослідні зразки підсистем супутника, проведено їх автономні та комплексні відпрацьовування, проведено статичні, динамічні, електрорадіотехнічні, вібропульсні, термовакуумні випробування космічного апарату.

### *Модернізація та експлуатація наземних програмно-технічних комплексів*

Завданнями З(Н)КПУ передбачено розвиток наземної інфраструктури, що забезпечує регулярний прийом інформації від космічних апаратів, її обробку, збереження і доведення до користу-

вача. Фахівцями ДП «Дніпрокосмос» проведено модернізацію програмно-технічного комплексу (ПТК) обробки даних в ЦПОСІ та КНП (м. Дунаївці), розроблено ПТК оперативного планування роботи бортової інформаційно-вимірювальної апаратури для космічних зйомок на замовлення споживачів з урахуванням прогнозу хмарності. Створено і передано в дослідну експлуатацію ПТК архівції даних ДЗЗ, що приймаються в ЦПОСІ та КНП. На цей час в базах даних архіву розміщено більше трьох тисяч зображень Землі, прийнятих з КА «Terra», NOAA, «Метеор-3М», забезпечується доступ віддалених споживачів до електронного каталогу по мережі Internet з можливістю вибору та замовлення необхідної інформації.

Метою проекту «Моніторинг-П» (ДНВЦ «Природа») є виконання замовлень користувачів на космічну інформацію, підвищення ефективності використання супутниковых даних. Для цього з застосуванням передових інформаційних технологій здійснено модернізацію автоматизованих робочих місць та програмно-технічного комплексу прийому й обробки даних. Це дозволило оперативніше виконувати заявки споживачів на космічні знімки, проводити їх тематичну інтерпретацію, здійснювати ведення бази даних архіву, підтримку Web-сторінки надання інформації. Сьогодні Україна забезпечена даними ДЗЗ, отриманими з космічних апаратів NOAA, «Meteosat», «Метеор-3М», «Terra», а також знімками з комерційних КА IRS, «Ikonos», «QuickBird» та ін. Розширено коло користувачів космічною інформацією та обсяги її надання.

За допомогою космічних знімків замовники вирішували такі задачі: створення карт ґрунтів, моніторинг параметрів водного середовища, вивчення територій гірничодобувних регіонів, оцінка врожайності сільськогосподарських культур, оцінка льодового покриву, прогнозування покладів метану вугільних родовищ, моніторинг магістральних трубопроводів, оцінка забруднення нафтопродуктами акваторій Чорного та Азовського морів, складання карт земельного фонду та ін. Значна увага надавалася поширенню сучасних технологій ДЗЗ на регіональному рівні. Проведено наради для користувачів Донецького, Причорноморського, Подільського, Слобожанського, Черкаського регіонів, Прикарпаття, Буковини та Рівненщини.

### *Створення та експлуатація системи геоінформаційного космічного забезпечення*

Космічні знімки є одним з джерел динамічних даних для ГІС — геоінформаційних систем, масштабне впровадження яких є світовою тенденцією. У сфері ГІС-аналізу лежить великий комплекс соціально-економічних і наукових задач управління ресурсами, територіального розвитку, екології, сільського господарства.

В рамках проекту «УМАКС» (ДП «Дніпрокосмос») виконано комплекс робіт щодо розбудови системи геоінформаційного забезпечення «КосмоГІС» НКАУ. Розроблено структуру, визначені функції та принципи інформаційної взаємодії сервіс-центрів «КосмоГІС».

Фахівцями ІКД НАНУ-НКАУ розроблено інформаційну підсистему забезпечення користувачів даними ДЗЗ, створено її Web-портал. В аспекті розбудови тематично орієнтованих сервіс-центрів розроблено і розпочато дослідну експлуатацію інформаційної підсистеми «Агрокосмос» для контролю аграрних ресурсів України, вченими МГІ НАНУ створено та введено в дію програмний комплекс та Web-сторінку інформаційної підсистеми «Аквакосмос» для моніторингу Чорного та Азовського морів. КосмоГІС розробляється відповідно до європейських стандартів з наступною інтеграцією до міжнародних систем GMES та GEOSS.

Мета проекту «Космокарта» (ДП «Дніпрокосмос») — розвиток методичної платформи використання ресурсів ДЗЗ, впровадження технологій зондування Землі в практику господарської та управлінської діяльності. Спільно із зацікавленими організаціями користувачів розроблено такі методики обробки даних: «Класифікація підстильної поверхні за покривними елементами ландшафту», «Дистанційний контроль снігового покриву», «Виявлення лісових та степових пожеж», «Пошук родовищ нафти та газу», «Оцінка стану озимих», «Картографування температури морської поверхні Азовського і Чорного морів», «Визначення видового складу та стану лісів», «Виявлення та контроль межі «лід — вода»». Створено програмно-технічний комплекс для відпрацювання розроблених методик та виконано попередні роботи з піdsупутникового забезпечення для калібрування даних. Розроблено проекти державних стандартів в галузі ДЗЗ,

проведено заходи щодо розширення міжнародного співробітництва, участі у реалізації спільніх проектів зі спостереження Землі.

**Проект «Антикриз»** (ДП «НДПІ «Союз») спрямовано на створення інформаційно-аналітичної системи (ІАС) НКАУ для оперативного моніторингу, виявлення, оцінки та вивчення небезпечних явищ і надання керівним органам цільової інформації для підтримки прийняття рішень, зокрема — в кризових ситуаціях. Предметом оцінки є надзвичайні ситуації природного та техногенного характеру, стан особливо важливих та потенційно небезпечних об'єктів, екологічні забруднення навколошнього середовища і можливі економічні збитки держави. Джерелами вхідної інформації є дані від супутників ДЗЗ, геофізичні дані та інформація від Системи контролю та аналізу космічної обстановки НКАУ. Проведено монтажні та пусконалагоджувальні роботи на об'єктах, створено фрагменти інформаційного (НКАУ) та аналітичного (НЦУВКЗ) центрів НКАУ зі складу ІАС, підсистему зв'язку та передачі даних; організовано та відпрацьовано взаємодію з іншими функціональними підсистемами НКАУ та з Урядовою інформаційно-аналітичною системою з надзвичайних ситуацій.

### 3. СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

В рамках виконання завдань З(Н)КПУ з розвитку наземної інфраструктури супутникових систем зв'язку, передачі даних та телерадіомовлення розширено Загальнонаціональну цифрову супутникову розподільчу мережу інформаційного забезпечення. Вона здійснює доставку українських програм телерадіомовлення через супутникові ретранслятори на передаючі центри ефірного мовлення України, на головні станції кабельного телебачення, а також на посольства і представництва України за кордоном. Розподільча мережа включає центральну передавальну супутникову станцію (ЦПСС) в Києві та супутникові приймальні станції у регіонах України.

В результаті виконання проекту «Сигнал-ТБ» (ДП «Укркосмос») прийнято в експлуатацію центральну передавальну станцію, в 2003—

2006 рр. завершено розгортання 41 приймальної станції. В установах України за кордоном за ці роки розбудовано та передано в експлуатацію 4 приймальні станції. ЦПСС забезпечує розповсюдження в цифровому форматі програм 16 телевізійних каналів. На сьогоднішній день послугами першої черги цієї супутникової мережі користуються 8 телекомпаній та Національна радіокомпанія України. Організовано трансляцію на територію України і 82 країни світу програм 8 телеканалів та 4 радіоканалів. З 2003 р. розпочала роботу в реальному часі телерадіокомпанія «Всесвітня служба іномовлення «Українське телебачення і радіомовлення». Створено Internet-версію каналу іномовлення, що дозволило розширити аудиторію на країни СНД, Європи, Америки, де мешкає більшість світової української діаспори.

Виконані роботи забезпечили впровадження сучасних цифрових супутниковых технологій до національної телерадіоіндустрії, сприяли підвищенню якості та розширенню обсягів мовлення.

**Проект «Мережа-В»** (ДП «Укркосмос») виконувався для забезпечення телекомунікаційними послугами відомчих центрів космічної промисловості та об'єктів космічної інфраструктури галузі. Створено дослідну ділянку відомчої телекомунікаційної мережі у складі регіональних станцій, розташованих у Харкові і Хмельницькому, і центру управління мережею у Києві. Організовано передачу даних по 2 супутниковых лініях, розпочато дослідну експлуатацію мережі.

**Проект «Лібідь-ГСО»** (ДП «Укркосмос») спрямовано на формування та міжнародно-правове забезпечення частотного ресурсу національних супутниковых мереж на геостаціонарній орбіті. Україна несе суттєві витрати за оренду закордонного супутникового сегменту, тому створення та запуск власного супутника зв'язку має принципове значення для стану та подальшого розвитку економіки телекомунікаційної галузі.

Розроблено пропозиції з використання національного частотно-орбітального ресурсу та ресурсу закордонних операторів, опрацьовано питання бізнес-плану для формування космічного сегменту Національної супутникової системи зв'язку та мовлення України.

#### 4. РОЗВИТОК НАЗЕМНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НАВІГАЦІЙНИХ ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

В рамках проекту «Навігація» (ВАТ «НДІРВ») створюється Система космічного навігаційно-часового забезпечення України. Вона призначена для високоточного позиціювання і навігації та підвищення на цій основі ефективності і безпеки функціонування транспорту, галузей промисловості та сільського господарства. Вона розробляється у вигляді розподіленої інформаційної системи, яка відповідає діючим і перспективним світовим стандартам з безпеки повітряних, наземних і морських перевезень. Задачами системи є здійснення моніторингу навігаційних полів глобальних навігаційних супутниковых систем GPS, ГЛОНАСС, а в майбутньому — GALILEO, формування та розповсюдження коригуючої інформації.

Створюються Центр контролю навігаційного поля та наземна мережа контролально-коригуючих станцій. Завершено розгортання трьох станцій у Харкові, Дунаївцях і Євпаторії, вони введені у дослідну експлуатацію, станція у Харкові інтегрована до складу навігаційної системи EGNOS. Сформовано стенд Центру контролю навігаційного поля, налагоджено канали зв'язку з контролально-коригуючими станціями, відправцювано механізм доставки інформації користувачам через Internet. Повне розгортання наземного сегменту забезпечить точність координатних визначень користувачів на рівні 0.02...0.2 м. Введення в дію та експлуатація космічної навігаційної системи сприятиме розвитку України як транзитної держави, оскільки через неї проходять три європейські транспортні коридори.

Метою проекту «Спостереження» (ДКБ «Південне») є створення та введення в дію Системи контролю та аналізу космічної обстановки (СКАКО) для забезпечення державних структур та інших споживачів даними про обстановку у навколоземному космічному просторі. Систему сформовано з використанням національних засобів спостережень за космічними об'єктами. Функціями СКАКО є виявлення можливої загрози національній безпеці, пошук та відстеження фрагментів «космічного сміття», визначення та прогнозування параметрів орбіт, балістичне забезпечення та візуалізація запусків і

польотів вітчизняних РН і КА на технічних засобах Головного інформаційного залу НЦУВКЗ.

Виконано дооснащення комплексів і елементів СКАКО, засобів сполучення між складовими системи, проведено державні випробування та введення СКАКО у дослідну експлуатацію. Це дозволяє Україні як суверенній космічній державі регулярно отримувати власні дані про космічну обстановку.

Мета проекту «Модернізація-С» (ДП «НДПІ «Союз») — створення складових частин та елементів Системи контролю та аналізу космічної обстановки. Проектом передбачено застосування передових технологій отримання, обробки та розповсюдження інформації, модернізацію програмно-технічних засобів та інженерних систем функціональних центрів і комплексів НКАУ.

Створено Центр контролю космічного простору, комплекси сполучення з окремими радіотехнічними вузлами та апаратно-програмний комплекс відображення інформації, систему зв'язку та передачі даних по виділених та комутованих каналах. Організовано канали доступу до Internet, створено комплексну систему захисту інформації, проведено модернізацію квантово-оптических систем «Сажень».

#### 5. КОСМІЧНІ КОМПЛЕКСИ

##### *Засоби виведення космічних апаратів*

Завданнями З(Н)КПУ є удосконалення вітчизняної ракетно-космічної техніки (РКТ) згідно з вимогами ринку транспортних космічних послуг, модернізація та виготовлення ракет-носіїв для запусків національних космічних апаратів.

Українсько-бразильський проект «Циклон-4» (ДКБ «Південне») є одним з основних для космічної галузі. Його мета — створення космічного ракетного комплексу (КРК) «Циклон-4» на бразильському космодромі Алкантара, що забезпечує низку можливостей для замовників пусків. У рамках цього проекту Україна створює ракету-носій нового покоління і бере участь у спорудженні наземного стартового комплексу. Підготовлено конструкторську документацію на РН, технологічне обладнання наземного комплексу та наземний комплекс у цілому. Проведе-

но роботи з підготовки стендової бази ДКБ «Південне» та виробництва ДП «ВО «Південмаш», розроблено комплексну програму експериментального відпрацювання вузлів РН, розпочато виготовлення окремих вузлів. Сформовано кооперацію підприємств для створення наземного комплексу. Підписано (2003 р.), ратифіковано Верховною Радою України (2004 р.) та введено в дію декретом президента Бразилії (2005 р.) Договір між Україною та Бразилією «Про довгострокове співробітництво щодо використання ракети-носія «Циклон-4» на пусковому центрі Алкантара», засновано спільне підприємство «Алкантара-Циклон-Спейс».

Мета проекту «Циклон-ТЕ» (ДКБ «Південне») — підготовка РН 11К68 N40Л для запуску космічних апаратів «Січ-1М» і МС-1-ТК з космодрому Плесецьк. Виконано роботи зі збільшення терміну експлуатації двигунів, приладів ракети-носія та запобігання руйнуванню місткостей при відокремленні супутника. Проведено комплексні випробування, здійснено оцінку можливості продовження терміну експлуатації РН.

Проектом «Циклон» (ДП «ВО «Південмаш») передбачено модернізацію потужностей підприємства, відновлення виробництва та виготовлення ракет-носіїв 11К68 для запусків космічних апаратів згідно з Програмою.

Відновлено технологічний ланцюг виробництва вузлів і агрегатів РН «Циклон-3», виготовлено двигуни і паливні баки, проведено перевірки приладів систем управління і телеметрії, виконано роботи з комплектації вузлів і агрегатів РН та з відновлення експериментальної бази ДКБ «Південне» для здійснення випробувань.

*Наземна інфраструктура космічних комплексів*  
Перехід до розробки і використання нового покоління супутників вимагає відповідного дообладнання та модернізації наземної інфраструктури. Програмою передбачено проведення ряду робіт щодо забезпечення працездатності та розвитку наземного сегменту.

Проект «Ресурс-1» (ВАТ «НВК «Курс») спрямовано на технічну підтримку та продовження терміну експлуатації наземного сегменту ракети-носія «Циклон-3», модернізацію стендового устаткування. Роботи пов’язані з модернізацією РН «Циклон-3», з перевищенням гарантійних термінів експлуатації та ресурсу обладнання

наземного сегменту. Здійснено ремонтно-відбудовочі заходи, виконано ревізії стану і оцінку працездатності стартової та регламентної апаратури, проведено комплектацію комплексного стенду і контрольно-випробувальної станції небохідними приладами, відновлено технологічне устаткування. Проведено випробування приладів і системи управління третього ступеню на всіх стадіях від виробництва до підготовки до запуску.

Проект «Управління» (ВАТ «НДІРВ») має за мету створення наземної мобільної системи телеметрії нового покоління для забезпечення запусків космічних апаратів вітчизняними ракетами-носіями на необладнаних трасах пусків. Вона призначена для прийому, реєстрації, обробки та відображення вимірюваної інформації з виведення корисного навантаження на заплановані орбіти. Мобільна станція створюється в рамках підготовки командно-вимірювальних засобів до робіт за проектами «Січ-2», «Січ-3» та ін., а також для забезпечення пусків супутників із бразильського космодрому Алкантара. Серед результатів робіт — розробка ескізного проекту, конструкторської документації та програмних модулів, виготовлення макетів устаткування та створення технологічного програмного забезпечення для їх випробувань.

#### *Нормативно-технічне забезпечення*

Розробка, виготовлення та використання ракетно-космічної техніки на рівнях виробників, постачальників і споживачів регулюються відповідно нормативно-технічною документацією. Багато розроблених раніше і діючих зараз документів не відповідають сучасним вимогам і реаліям. Задачами З(Н)КПУ є прийняття відповідних змін, гармонізація з міжнародними стандартами, участь у їх розробці та впровадження в Україні.

За проектом «Стандарт» (ДП «ЦС РКТ») розроблено комплекс нормативних документів, що регламентують основні положення системи стандартизації НКАУ, і ряд проектів національних стандартів. Організовано співробітництво з міжнародною організацією із стандартизації ISO щодо участі у розробці міжнародних стандартів. Технічний комітет ISO TC20 «Aircraft and space vehicles» надав Україні вищий статус представництва (P-member) у шести

підкомітетах. Виконано роботи з нормативно-технічного забезпечення міжнародного проекту «Циклон-4» та проектів, спільних з Роскосмосом. Суб'єктам космічної діяльності України надається на сайті НКАУ інформація про чинні нормативні документи та зміни до них.

Проект «Сертифікат» (ДНІЦСКТ) забезпечує впровадження та розвиток Української системи сертифікації космічної техніки (УкрССКТ). Адаптація законодавства України до європейського здійснюється шляхом розробки технічних регламентів. Спільно з підприємствами галузі розроблено проект Технічного регламенту з підтвердження відповідності виробів РКТ. В ході сертифікації систем управління якістю провідних підприємств галузі проводилось науково-практичне дослідне використання Правил УкрССКТ, їх доопрацювання та впровадження ряду Змін. Виконано роботи з сертифікації РН «Циклон-4», розроблено номенклатуру та визначено показники безпеки ракет-носіїв та їх складових частин при проектуванні, розробці, виготовленні та експлуатації, процедури оцінки відповідності РН та їх складових частин встановленим вимогам.

Проект «Якість» (ВАТ «Хартрон») спрямовано на створення та впровадження галузевої системи забезпечення якості ракетно-космічної техніки, підготовку відповідної документації для її оцінки. Розроблено Програму створення та впровадження галузевої системи управління якістю. У ході її реалізації підготовлено та впроваджено в організаціях галузі комплекс керівних нормативних документів, що регламентують структуру, зміст та порядок проведення робіт щодо збору та аналізу інформації, експериментального відпрацювання, аудиту, аналізу причин дефектів та відмов продукції, якості програмно-технічних комплексів тощо для забезпечення сучасного технічного рівня та надійності РКТ. Розроблено та впроваджено ряд методичних вказівок, настанов, стандартів галузевої системи управління якістю.

У рамках проекту «Супровід-Р» (ІТМ НАНУ-НКАУ) виконано комплекс робіт із системно-аналітичного і нормативно-технічного супроводу створення та експлуатації РКТ. Розроблено методики оцінки надійності РН за спектром характеристик, параметрів і показників. Методики використані ДКБ «Південне» при створенні КРК

«Циклон-4» та модернізації РН «Зеніт», це дозволяє скоротити строки та обсяги випробувань, покращити експлуатаційні характеристики носіїв. Проведено аналіз проектної документації КРК «Циклон-4» та програм експериментального відпрацювання складових частин РН і рушійних установок. В рамках досліджень із запобігання техногенному забрудненню космічного простору забезпечено участь України в роботі Міжнародного комітету з космічного сміття, розроблено нормативні документи щодо зменшення забруднення навколоземного простору.

## 6. РОЗВИТОК БАЗОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ І ПРОГРЕСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Завдання З(Н)КПУ спрямовано на технічне та технологічне оновлення космічної галузі, використання інноваційних рішень, випереджальний розвиток високих технологій і, у цілому, на забезпечення розробки виробів ракетно-космічної техніки світового рівня.

### *Космічне пристрій будування*

Метою проекту «Хвиля» (ВАТ «НДІРВ») є створення бортових та наземних радіотехнічних комплексів для забезпечення запуску та управління вітчизняними КА системи «Січ». Створено комплекси бортової та наземної апаратури для «Мікросупутника» та КА «Січ-1М», завершується розробка удосконалених радіотехнічних комплексів для КА МС-2-8. Спільна команда телеметрична радіолінія СКТРЛ МС-2-8 забезпечує у 32 рази більшу швидкість передачі інформації по лінії «земля-борт», підвищено захист від несанкціонованого доступу до КА, введено прийом та передачу повідомлень електронною поштою. Універсальна наземна станція прийому інформації УНСПІ-8.2, призначена для одержання в реальному часі радіолокаційних та оптических зображень земної поверхні, дозволяє збільшити швидкість передачі інформації у порівнянні з попереднім аналогом у 120 разів, забезпечує підвищення вихідної потужності бортової апаратури у сім разів, збільшення терміну її активного існування на орбіті до п'яти років. Пакетний радіозв'язок дозволяє використовувати електронну пошту для радіолюбительських, гуманітарних та просвітницьких цілей.

Проект «Рось-1» (ДКБ «Південне») націлено на розробку першої вітчизняної безплатформенної інерціальnoї навігаційної системи (БІНС) для перспективних систем керування ракетами-носіями, у тому числі — РН «Циклон-4». Для цього на базі лазерних гіроскопів та маятниково-акселерометрів створюється комплекс командних приладів. Розроблено конструкторську документацію, програмно-математичне забезпечення, здійснено підготовку дослідного виробництва. Виготовлено дослідні зразки приладів, створено методики та апаратуру для проведення випробувань.

*Матеріалознавство та технології  
для створення ракетно-космічної техніки*

Проект «Кrona» (ДКБ «Південне») спрямовано на підвищення характеристик РКТ шляхом розробки і впровадження нових технологій та матеріалів. Метою робіт є перехід до використання полімерних композиційних матеріалів та нових зварних з'єднань у конструкціях КА, розробка та впровадження неруйнівних методів контролю якості виробів. Створено та відпрацьовано технології виготовлення стільникових панелей фотоелектрических батарей, панелей теплоізоляції змінної товщини, тришарових теплових екранів, технології одержання зварних з'єднань типу «фітінг-стрингер» методом контактно-стикового зварювання, багатошарової композиції «стал-титан» методом зварювання вибухом та ін. За новими технологічними принципами створено ряд виробів РКТ. Досліджено властивості окремих матеріалів після впливу на них факторів космічного простору, для заміни дефіцитних імпортних матеріалів вітчизняними проведено випробування дослідних тканих, піно- та клейових матеріалів.

Завдання проекту «Техма» (ВАТ «УкрНДІТМ») — розробка та впровадження базових технологій заготівельного, механообробного, складального етапів виробництва ракет-носіїв та удосконалення технологічної бази їх створення. Виконано теоретичні та експериментальні дослідження з вимірювання об'єму паливних відсіків РН, розроблено технології нанесення жаростійкого покриття на камери згоряння ракетних двигунів, технології забезпечення необхідної чистоти порожнин ряду вузлів РКТ. Створено методики оптимізації конструктивних

параметрів силових панелей негерметичних корпусів КА та панелей сонячних батарей, підготовлено технічні рішення з удосконалення універсальних джерел живлення на різні значення струму. Розроблено комплекс технологій та устаткування для формування тришарових панелей з використанням полімерних матеріалів, зварювання стиків трубопроводів, відпрацьовано технологічні режими виготовлення зразків вуглеplастиків. Для підвищення якості виробів розроблено технологію автоматизованого неруйнівного контролю вузлів та конструкцій РН і універсальний дефектоскоп. Виконані роботи є базовим напрацюванням для впровадження у виробництво РН «Циклон-4», «Дніпро» та передачі в інші галузі промисловості.

Проект «Рось-4» (ІЕЗ НАНУ) націлено на розробку автоматизованих технологічних процесів та обладнання для зварювання елементів конструкцій РН. Відпрацьовано автоматизовану технологію контактно-стикового зварювання, налагоджено автоматизовану систему управління аргонно-дуговим зварюванням корпусів ракет «Циклон» та «Зеніт». Розроблено та введено в дію принципово нову комп’ютеризовану систему контролю для підвищення надійності та якості зварних з'єднань. Впроваджено у виробництво на ДП «ВО «Південмаш» машини та технологію контактно-стикового зварювання корпусів РН.

Проект «Технолог» (ДП «НДТП») спрямовано на підвищення якості, надійності та строків активного функціонування радіоелектронної апаратури для космічної техніки за рахунок нових технологічних рішень, технологій і матеріалів. Розроблено типові технології виготовлення кремнієвих і арсенід-галієвих фотоелектрических перетворювачів з покращеними характеристика-ми, створено технологію та засоби технологічного оснащення для збирання надлегких сонячних батарей з високими функціональними параметрами для КА типу МС-2-8. Визначено технічні рішення та технологію створення мало-габаритних багатофункціональних датчиків фізичних величин з високою точністю вимірювань для стендової і бортової апаратури РКТ. Розроблено та проведено випробування дослідних зразків припойів для монтажу апаратури КРК «Циклон-4», КА МС-2-8, оптимізовано технологічні процеси, розроблено технологічне оснащення та технологію виготовлення багатошарових товсто-

плівкових і друкованих плат. Розроблено нові полімерні матеріали з терміном працездатності у складі апаратури космічного призначення на рівні 15 років, організовано їх дослідне виробництво.

## **7. РОЗВИТОК ДОСЛІДНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ТА ВИРОБНИЧОЇ БАЗИ ГАЛУЗІ**

**Проект «База-У» (ДКБ «Південне»).** Стенди та обладнання експериментальної бази ДКБ «Південне» внесені до Державного реєстру унікальних об'єктів космічної діяльності. Вони дозволяють проводити в повному обсязі відпрацювання виробів ракетно-космічної техніки в умовах, максимально наближених до натурних, що сприяє мінімізації відмов РКТ з виробничо-технологічних причин. Проведено заходи із забезпечення та подальшого розвитку експериментальної бази, виконано реконструкцію та дооснащення окремих стендів, розширено можливості систем вимірювання і контролю проведення випробувань. Результати робіт дозволили забезпечити працездатність систем та можливість проведення пневмогіdraulічних, вогневих, міцнісних випробувань.

**Проект «Енергозбереження» (ДДПІ)** спрямовано на розробку комплексу енергозберігаючих заходів на підприємствах галузі. Досліджено динаміку виробництва підприємствами НКАУ

промислової продукції та динаміку споживання енергоресурсів і створено прогнози на 2006—2010 рр., проаналізовано енергосмість продукції та питому вагу вартості енергоресурсів в структурі її собівартості. Розроблено галузеву комплексну Програму енергозбереження на період до 2010 р., проведено експертизи програм та заходів підприємств щодо енергозбереження та аналітичну оцінку таких заходів при реконструкції виробничої та випробувальної бази ДП «ВО «Південмаш» під виробництво РН «Циклон-4».

Метою проекту «Ефективність» (ДДПІ) є методологічне забезпечення щодо створення економічно рентабельної галузі, сучасної ринкової інфраструктури та ефективного механізму управління підприємствами для кращого використання виробничих фондів, зменшення собівартості об'єктів РКТ. Для виконання цих завдань розроблено Програму реформування (реструктуризації) та розвитку космічної галузі. За результатами обстежень ряду підприємств визначено питомі показники ефективності їх роботи та діяльності галузі в цілому. Розроблено проекти програм реформування підприємств, пропозиції щодо оптимізації структури собівартості та виробництва, розвитку внутрішньогалузевої кооперації, організації централізованих виробничо-технологічних комплексів, створення галузевої системи підготовки кадрів.

## Місяць: другий дім у Сонячній системі

У 50-ту річницю космічної ери провідні космічні агентства світу знову повертаються до дослідження Місяця. Це одна з головних тем програми «Exploration» (в українській мові немає адекватного перекладу цього слова, яке означає «виконання досліджень небесних об'єктів безпосередньо автоматичними чи пілотованими космічними апаратами»).

З метою ознайомлення читачів журналу з глобальною стратегією досліджень Місяця поєднуємо тут частину 4 — «Місяць: другий дім у Сонячній системі» — відповідного документу «Глобальна стратегія досліджень: основи координаційного процесу», розробленого представниками 14 космічних агентств світу.

Місяць — перше космічне тіло, на якому люди вчитимуться жити поза Землею. Він знаходиться на відстані лише трьох діб польоту від Землі, має малу силу тяжіння і за наявності природних ресурсів є ідеальним місцем для підготовки людей і механізмів з метою подальшого проникнення у космос. Як відзеркалення розвитку Сонячної системи, що триває понад 4 мільярди років, та як місце для спостереження Землі і Всесвіту Місяць має надзвичайно велике значення для науки. Дослідження Місяця також покаже, чи дозволять людині жити у космосі наявні там ресурси.

У 1960-х роках автоматичні космічні апарати зі Сполучених Штатів Америки та Радянського Союзу почали дослідження Місяця. Перша м'яка посадка була здійснена у 1966 році радянським космічним апаратом «Луна-9». Потім відбулося ще декілька радянських та американських місячних експедицій, в тому числі з космічними апаратами, що обертаються навколо Місяця, місіями для отримання зразків та всюдиходами.

Протягом цього періоду на Місяць також опускалися шість команд «Аполлона», які доставляли зразки ґрунту на Землю. Таким чином, місячний ґрунт можна досліджувати в земних лабораторіях. З'ясувалося, що найстаріший ма-

теріал приблизно на мільярд років старший за найдавніші відомі земні породи. Зразки з Місяця забезпечать найточніше визначення віку поверхонь планет.

Дослідження, що матимуть сталий характер, розпочнуться з Місяця. Саме тут ми навчимося жити й працювати без підтримки з Землі і зможемо випробовувати технології, необхідні для пілотованих місій на Марс і далі.

Наукові дослідження Місяця складаються з трьох частин: «наука про Місяць», «наука з Місяцем» та «наука на Місяці». «Наука про Місяць» поєднує геологію, геохімію та геофізику Місяця, вона допоможе зрозуміти його історію. Сучасні теорії стверджують, що Місяць утворився, коли космічне тіло приблизно такого розміру, як Марс, наштовхнулось на молоду Землю, викинувши розпилені породи на орбіту Землі. З цього матеріалу пізніше сформувався Місяць.

Таким чином, Місяць — це безцінний свідок більшої частини історії розвитку Сонячної системи. Він відтворює цю історію повніше і чіткіше, ніж будь-яке інше космічне тіло. Наприклад, чи містили комети і метеорити, які бомбардували Землю і Місяць у ранні часи, початкові форми життя? Відповідь можна знайти на незайманій поверхні Місяця. Щоб зрозуміти інформацію, яка зберігається на Місяці, нам можуть знадобитися як поглиблені автоматизовані дослідження, так і складні спостереження за участю людей у тих місцях, що викликають великий науковий інтерес.

Для «науки з Місяця» буде корисною відсутність на ньому атмосфери та радіошумів, що дозволить використовувати його як стабільну платформу для спостереження Всесвіту. Наприклад, астрономи зацікавлені в будівництві на Місяці низькочастотного радіотелескопа для вивчення сигналів, що випромінюються при утворенні зірок мільярди років тому.

«Наука на Місяці» вивчатиме функціонування роботів, обладнання і людей у місячному середовищі. Вплив малої сили тяжіння, радіації, пилу,

мікрометеоритів і великих коливань температури на місячній поверхні призведе до численних проблем. Розуміння цих чинників допоможе інженерам при розробці матеріалів та конструкцій систем для довготривалого використання їх людьми у несприятливих умовах.

Щоб підтримувати присутність людини за межами Землі, ми повинні навчитися за допомогою «науки на Місяці» жити і працювати на інших космічних тілах. Вирішальним кроком стане визначення того, чи зможемо ми використовувати ресурси Місяця. Наприклад, кисень, добутий з місячного ґрунту, забезпечить не лише придатне для дихання повітря, а й, можливо, пальне для космічних кораблів.

Іншим пріоритетом буде розробка ефективних переробних технологій для зменшення споживання таких ресурсів, як повітря, енергія та вода. При цьому враховуватиметься досвід роботи МКС, що вчить нас правильно розпоряджатися цінними ресурсами Землі.

Навіть при використанні місячного середовища ми обов'язково маємо враховувати його специфічність та вразливість, вживати заходів для його захисту та збереження.

Місяць як найближча до нас «природна космічна станція» є ідеальним місцем для людства, щоб здійснити наступний крок у пошуках можливостей для подорожі на Марс і далі. Місяць знаходиться лише на відстані трьох діб льоту від Землі, тоді як подорож до Марса триває як

мінімум півроку, і затримка зв'язку з Місяцем становить лише півтори секунди проти десяти хвилин затримки зв'язку з Марсом.

Засоби транспортування, підтримки життєдіяльності та нових роботів можна випробовувати у складних умовах Місяця до того, як вони будуть використовуватися у більш тривалих місяцях. Крім того, дослідники розвиватимуть на Місяці навички та готуватимуть тіло і розум для тривалої подорожі, що чекає на них.

Місяць займає важливе місце у культурі багатьох народів, збуджуючи людську уяву. Це єдине космічне тіло, знайоме всьому людству як «місце», а не лише як світлова цяточка. Крім того, це те місце, яке прагнутийуть відвідати все більше людей.

Як і перші польоти на Місяць, що близько 40 років тому викликали захоплення сучасників, так і його подальші дослідження породжуватимуть ентузіазм та творчі устремління серед майбутніх поколінь у всьому світі.

Складні інформаційні технології сьогодення створять нові засоби, щоб донести до всіх людей відомості про космічні подорожі. Будь-хто зможе особисто взяти участь у місячній автоматичній або пілотованій місії завдяки технологіям віртуальної присутності. До цього залучатимуться й діти, і це буде заоочувати їх до навчання, аби стати вченими, інженерами, вчителями, підприємцями, дослідниками майбутнього.

Я. С. Яцків

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ

## Первые шаги международного сотрудничества в исследовании и освоении космоса (1957—1987 гг.)

(По материалам статьи «Яцків Я. С., Вест Р. Вехи космической эры»  
// Очерки истории естествознания и техники.—1987.—Вып. 33.—С. 30—42)

4 октября 1957 года весь мир был потрясен сигналами первого искусственного спутника Земли. Началась новая эра в жизни нашей планеты, и космос стал неотъемлемой частью этой жизни. Начиная с этого дня коренным образом изменилось наше представление и понимание *мира* как среды обитания человеческой цивилизации и *мира* как формы сосуществования различных государств, наций и народностей.

За прошедшие годы проблемы исследования и освоения космического пространства получили широкое развитие и охватили практически все сферы человеческой деятельности. В зависимости от назначения космические эксперименты можно условно разбить на следующие три группы: научные, хозяйствственные и военные. В свою очередь, каждая из групп охватывает большое число направлений, среди которых исследование Земли, Солнечной системы и других астрономических объектов космическими методами и средствами, как нам представляется, вписало наиболее яркие страницы в космическую летопись последних десятилетий.

Выгоды от научного и технического сотрудничества, не знающего ни национальных, ни дисциплинарных границ, становятся все более и более очевидными. Многие из космических проектов стали настолько дорогостоящими, что отдельные государства сталкиваются теперь с

трудностями согласования соответствующих статей расхода со своим бюджетом. Человечество с пониманием относится к позитивному опыту сотрудничества, которое имело и имеет место среди ученых многих стран в различных областях науки, в частности в изучении Антарктиды.

Международное сотрудничество в сфере космических исследований возникло одновременно с началом человеческой деятельности в этой области. Хотя оно и развивалось неравномерно в разные периоды времени, в настоящее время заметен беспримерный сдвиг в сторону более тесного сотрудничества. Эта тенденция, несомненно, должна преобладать в будущем. Попытаемся показать это на примерах истории исследований первых трех десятилетий космической эры.

Мы принадлежим к тому поколению, которое стало свидетелем эпохи драматических изменений в эволюции человечества. Наше детство проходило во время жесточайшей войны, которая закончилась лишь тогда, когда унесла десятки миллионов жизней и разрушила бесчисленные ценности. Эта катастрофа дала толчок попыткам достичь глобального межнационального взаимопонимания, что нашло свое отражение в исторических документах послевоенных лет, таких как Хартия ООН.

В силу этих и других причин нашему поколению также выпало счастье жить в период отно-

сительного потепления международного климата. Важную роль в этом сыграло международное общение и в еще большей степени осознание общей судьбы в этом мире уменьшающихся расстояний и ограниченных ресурсов. За это время условия жизни людей во всех частях света улучшились, и в то же время мы как никогда ранее попали в зависимость от различных негуманных технических изобретений человека. Нравится нам это или нет, но мы не можем пока избавиться от них.

Слишком легко забывается тот факт, что многие технологические успехи явились следствием военных исследований Второй мировой войны. Атомная техника и ЭВМ, сверх дальние ракеты приходятся родными детьми тех ужасных лет. Конечно, небольшие ракеты были известны давным-давно. Однако решение, каким образом запускать тяжелые ракеты на расстояния в сотни километров, было получено лишь к концу войны. Как и большинство изобретений человека, ракеты имеют и позитивное, и негативное применение. Можно расцветить небо прекрасными огнями салюта по праздникам, но можно и открыть огонь по мирным городам. Можно организовать службу розыска судов, находящихся в затруднительном положении, но можно также и пробивать стены фортификационных сооружений. Можно запускать спутники связи и исследовательские спутники, и переносить на другой континент за считанные минуты ядерные боеголовки.

Когда в середине 1957 г. при содействии Международного совета научных союзов (МСНС) начался Международный геофизический год (МГГ), космический полет все еще был только теоретической возможностью. А лишь тремя месяцами позже весь мир был буквально разбужен сигналами первого искусственного спутника Земли. Как и многие миллионы людей, мы внимательно наблюдали за движущейся в ночном небе светлой точкой, за которой вскоре последовали другие.

#### *Из воспоминаний очевидцев*

**P. Вест:** Мои однокашники и я были свидетелями завоевания неба, нам внушали страх и благоговение непосредственные измерения экстремальных условий ближнего космоса,

*открытие поясов заряженных частиц, первые попытки попасть на Луну и передать на Землю фотоснимки ее невидимой стороны. Когда одна из газет Копенгагена организовала первое пробное соревнование на тему: «Зачем Вы хотите полететь в космос?», я ответил, может быть, слишком просто: «Из любопытства». Мой ответ не был отмечен главным призом, но по крайней мере был опубликован, и я до сих пор думаю, что этот ответ был более честным, чем другие, вызывавшие к различным возвышенным идеалам.*

**Я. Яцкив:** Будучи студентами астрономо-геодезической специальности, мои сокурсники и я не сразу осознали, какое мощное средство глобальных исследований Земли рождается на наших глазах. Нас больше волновали проблемы невесомости, сверхзвуковых скоростей и других преимуществ космического полета. И только в конце 1950-х годов я понял, какие невиданные перспективы дает человеку возможность посмотреть на Землю со стороны, охватив единым взором ее еще недавно казавшиеся огромными пространства.

А что дальше? Другие планеты и миры... Любопытно!

По-видимому, это «любопытство» отражало то постоянное стремление к познанию, которое побуждает человека интересоваться тем, как возник и стал таким, каким мы его наблюдаем, окружающий нас мир. Что представляют собой составные части Вселенной и что произойдет с ними в будущем? Это основополагающие проблемы современного естествознания, в решение которых весомый вклад вносят космические исследования.

#### **ОСНОВНЫЕ ВЕХИ КОСМИЧЕСКОЙ ЭРЫ**

В первые же дни космической эры более 200 станций оптических наблюдений искусственных спутников Земли (ИСЗ) в 20 странах приступили к своей нелегкой, но увлекательной работе. Основной целью этих наблюдений было не потерять в безбрежном пространстве первых космических посланцев Земли.

В отличие от обычных небесных тел, которые доступны наблюдениям днем (Солнце) или ночью (звезды, планеты), ИСЗ наблюдаются только в недолгие утренние или вечерние часы, когда поверхность Земли погружена в темноту, а сам спутник, находясь на большой высоте, еще освещен Солнцем. Такие наблюдения, выполненные в различных местах земного шара, позволяют вычислить эфемериду спутника, т. е. его положение в каждый заданный момент времени.\*

Оказалось, что изучение движения спутников и эволюции их орбит позволяет решать ряд важных задач геодезии и геофизики по установлению систем координат, изучению гравитационного поля Земли и т.п. На смену визуальным и фотографическим наблюдениям ИСЗ со временем пришли высокоточные лазерные измерения расстояний до ИСЗ, а также их радиоинтерферометрические наблюдения.

Отражая глобальный характер проблемы, все эти годы более-менее успешно развивалось международное сотрудничество в рамках Международного астрономического союза (МАС), Международной геодезической ассоциации (МГА) и Международного комитета по мирному использованию и исследованию космического пространства (КОСПАР).

Особое внимание былоделено исследованию Луны и обмену данными между СССР и США по лунным проектам.

В это же время в конце 1960-х годов началась «космическая гонка», и из-за национального престижа и военных интересов особого сотрудничества двух великих космических держав не было, по крайней мере в области вывода полезной нагрузки на орбиту. Тем не менее результаты многих измерений в космосе вскоре стали общепринятыми, в частности, благодаря регулярным контактам через КОСПАР, образованный в 1958 г., Международную федерацию астронавтики (МАФ) и другие научные союзы. Следует, однако, указать, что было и косвенное сотрудничество. Подразумеваемое соперничество в космосе стимулировало приток людских и материальных ресурсов для национальных космических программ СССР и США. Поэтому даже западноевропейские страны почувствовали

необходимость начать подготовку собственных независимых космических проектов.

### 1961—1984 гг.

А затем голос, принадлежащий первому космонавту СССР Ю. А. Гагарину, который мы услышали по радио 12 апреля 1961 г., возвестил начало пилотируемого исследования космоса. Он облетел земной шар менее чем за 2 ч и благополучно приземлился на территории своей родной страны.

#### *Из воспоминаний очевидцев*

**Я. Яцкив:** Такого всеобщего ликования мне больше не приходилось видеть в жизни. Обаятельная гагаринская улыбка, его слова на старте «Ну, поехали!», его мысли о том, что Земля такая удивительно красивая и крохотная, и что ее нужно беречь, стали символами нашей страны 1960-х годов.

**Р. Вест:** Годом позже во время посещения Ю. А. Гагарином г. Копенгагена моему учителю небесной механики была представлена честь взять интервью у знаменитого космического путешественника. Я припоминаю один из вопросов: «Было ли Вам страшно из-за риска приземлиться на крышу дома?» Последовал остroумный ответ: «Моя страна настолько обширна и расстояния между зданиями настолько велики, что мне и в голову не приходила мысль о таком риске!»

Немедленным результатом первого пилотируемого полета явилось решение США в 1961 г. начать одну из самых честолюбивых научно-технических программ из когда-либо предпринимавшихся. Американский президент заявил, что «...мы полетим на Луну в этом десятилетии» и задействовал громадные национальные ресурсы, сравнимые только с затратами на Манхэттенский проект. Были построены улучшенные космические «капсулы»; за одноместными космическими аппаратами (КА) «Меркурий» последовали КА «Джемини» и «Аполлон», рассчитанные на двух и трех астронавтов соответственно. Совершенствовалась методика управления полетами.

\* С целью координации этих работ в 1958 г. в соответствии с программой Международного геофизического года была создана специальная «Служба спутников».

За эти годы в СССР были установлены новые рекорды продолжительности полета, и был совершен первый выход космонавта СССР А. А. Леонова в открытый космос.

И вот ранним утром 21 июля 1969 г. (в Европе) голос первого человека, ступившего на другое небесное тело — Луну, преодолев почти 400 тыс. км, достиг Земли. Этот голос принадлежал гражданину США астронавту Армстронгу. Это был новый гигантский скачок в освоении космоса.

#### *Из воспоминаний очевидцев*

**P. Вест:** Той незабываемой ночью я сидел в студии Датской радиовещательной корпорации и наблюдал за фантастическими кадрами на телевизорах, слушая голоса астронавтов через левый наушник и голос программы «Радио-Москва» через другой. Вместе с коллегами других отраслей науки я комментировал этот исторический момент под аккомпанемент искренних и откровенных аплодисментов в моем правом наушнике.

**Я. Яцкив:** Это известие, фантастическое по своему содержанию, было как отрезвляющий холодный душ. Стало понятным, что СССР проиграл космическую гонку за Луну.

В результате осуществления космических полетов КА «Аполлон» многочисленные лаборатории всего мира получили богатый материал и возможность непосредственно изучить образцы лунных пород. А когда СССР чуть позже осуществил посадку трех автоматических станций на наш естественный спутник и доставил на Землю еще немного более мелких образцов, произошел обмен лунным материалом, позволивший провести подробный сравнительный анализ пород с обширной территорией.

В то же время продолжалась интенсивная работа космонавтов и астронавтов на земных орбитальных трассах. И наконец, в июле 1975 г. американский и советский экипажи встретились на орбите в совместном полете «Союз—Аполлон». Кроме сбора научной информации, полет продемонстрировал совместимость спасательного космического оборудования. Такая деятельность стала практическим воплощением Соглашения

ООН по розыску астронавтов, возвращению как людей, так и космических объектов, вошедшего в силу в 1968 г. Это важное Соглашение явилось последовательным выполнением Договора ООН по открытому космосу от 1967 г., первого главного международного документа, регулирующего использование космического пространства.

Между тем исследование Солнечной системы беспилотными аппаратами достигло впечатляющих успехов. Следующей после Луны мишенью космических исследований стала Венера, которую иногда на Западе называют «русской», имея в виду тот факт, что СССР направил в космос для изучения «утренней» планеты 18 автоматических станций.

Широкомасштабные исследования тел Солнечной системы выполнили американские КА серии «Маринер». Полномасштабное исследование Марса состоялось в 1976 г., когда американские орбитальные аппараты «Викинг-1» и «Викинг-2» изучили всю поверхность, а посадочные ступени подробно исследовали почву.

Планеты-гиганты были всесторонне изучены КА «Вояджер» в 1979—1981 гг. Станции типа «Пионер» и «Вояджер» были первыми рукотворными объектами, покидающими Солнечную систему, и поэтому они несут на своем борту таблички с закодированной информацией о нашей земной цивилизации.

Обширная научная информация, полученная в ходе этих экспериментов, позволила поставить на качественно новый уровень исследования происхождения и эволюции Солнечной системы, привела к рождению новой области науки — сравнительной планетологии. Эта информация, благодаря международному сотрудничеству ученых, была предметом взаимного обмена и обсуждения на различных форумах.

#### **1985—1986 гг.**

Что же особенное произошло в эти годы, позволившее нам выделить их на фоне десятилетий кропотливого труда в области космических исследований? Как никогда ранее прозвучали в эти годы призывы глав правительств, деятелей науки и культуры и всех здравомыслящих людей к мирному освоению космоса. Уникальное сотрудничество по исследованию знаменитой кометы Галлея воплотило эти призывы в жизнь, и идея мирных космических исследований, несомненно,

доминировала над различного рода ухищрениями типа «звездных войн».

На основе точных измерений было предсказано, что комета Галлея в очередной раз возвратится к Земле и Солнцу в 1985—1986 гг. Интересно, что уже в 1910 г. (год предпоследнего визита кометы в Солнцу) предпринимались попытки скоординировать все наблюдения кометы. Но они не имели успеха, так как многие астрономические обсерватории были не в состоянии согласовать вопросы о правах на полученные данные и не было соответствующих советов и союзов. Для того чтобы избежать подобных недоразумений в этот раз, еще в конце 1970-х годов начались дебаты по учреждению международного органа, который бы координировал наблюдения нового прохождения кометы Галлея. В результате была создана организация «Международная вахта кометы Галлея» (IHW), одобренная МАС в августе 1982 г. Она была организована на базе двух руководящих центров — в Пасадене (США) и Бамберге (ФРГ). Региональной частью IHW была советская программа наземных наблюдений кометы Галлея (СОПРОГ). В IHW участвовало более 1000 астрономов-профессионалов и любителей из 54 стран мира. Комета снова была обнаружена с помощью 5-м Паломарского телескопа 16 октября 1982 г., далеко за пределами орбиты Сатурна. К этому времени комета была очень слаба и имела величину 24,5<sup>m</sup>, что в 25 млн раз слабее объекта, видимого невооруженным глазом.

В 1983—1986 гг. комета уже регулярно наблюдалась с Земли, за исключением того времени, когда она была скрыта от нас Солнцем. По мере ее приближения к Солнцу и увеличения ее яркости включалось в работу все больше и больше телескопов и другой техники. Никакая другая комета еще не изучалась так досконально.

С приходом космического века и после первых успешных полетов на другие планеты идеи 1960-х годов о будущих полетах к кометам стали как нечто само собой разумеющееся. С самого начала стало ясно, что было бы хорошо скоординировать космические исследования таким образом, как IHW сделала с работой наземных наблюдателей, и что необходимо тесное сотрудничество между этими двумя направлениями исследований небесного объекта. Четыре

агентства, запланировавших полеты космических аппаратов, решили создать Консультативную группу космических агентств (IACG), состоящую из административных и научных представителей. Таким образом, в 1981 г. впервые было установлено прямое сотрудничество между Европейским космическим агентством (ЕКА), Интеркосмосом, Японским институтом космоса и астронавтики (ИКАН) и НАСА. Первое учредительное собрание IACG состоялось в Падуе (Италия).

Первым аппаратом, достигшим кометы, был Международный кометный зонд (МКЗ, НАСА), который пролетел сквозь хвост периодической кометы Джакобини-Циннера 11 сентября 1985 г. Этот аппарат использовался ранее для контроля состояния плазмы в магнитосфере Земли, а затем был направлен навстречу комете Галлея. Была проведена серия остроумных маневров, включавшая пролет всего в нескольких километрах от поверхности Луны. Аппарат МКЗ, послав на Землю данные измерений плазмы и магнитного поля, продолжил свой путь далее в космос, где и прошел 25 марта 1986 г. на расстоянии 28 млн километров от кометы Галлея. Японские аппараты «Суйсей» («Комета») и «Сакигаке» («Пионер») прошли вдоль кометы Галлея 8 и 11 марта соответственно и измерили взаимодействие с ней солнечного ветра. Из-за жестких ограничений по массе они не были оборудованы защитными покрытиями от разрушающего воздействия космической пыли, как космические аппараты «Веги» и «Джотто», и изучали комету с большого расстояния.

Из пяти космических проектов наиболее сложным был проект «Венера—Галлей», или сокращенно ВЕГА, в котором, кроме СССР, принял участие ряд «социалистических» и западноевропейских стран. Руководил проектом Р. З. Сагдеев.

В соответствии с этим проектом два космических аппарата следом друг за другом полетели сначала к Венере, оставили в ее атмосфере аэростатные зонды, а на поверхности — спускаемые модули, и, пройдя путь длиною около одного миллиарда километров, встретились с кометой Галлея. По техническому заданию эта встреча должна была произойти на расстоянии 150 млн км от Земли и около 10 тыс.км от ядра кометы при относительной скорости встречи

около 80 км/с. Чтобы выполнить это задание, потребовалось объединить усилия многих обсерваторий мира по определению координат кометы Галлея и вычислению ее эфемериды. В СССР в этой работе приняло участие более 30 наблюдательных станций под руководством Главной астрономической обсерватории АН УССР в рамках программы СОПРОГ. Задание было выполнено: аппараты «Вега-1» и «Вега-2» пролетели вблизи ядра кометы на расстояниях около 9 и 8 тыс. км соответственно. Полученная с помощью КА «Вега» информация о положении кометы (точность около  $\pm 50$  км) вместе с данными измерений положений самих космических аппаратов, выполненных станциями дальней космической связи США с рекордной точностью  $\pm 40$  км, послужила основой еще одного уникального проекта — «Лоцман». Он был теоретически обоснован в рамках IACG и реализован в ЕКА при управлении КА «Джотто».

В результате тесного взаимодействия в дни, когда обе «Веги» находились вблизи кометы, специалисты ЕКА получили возможность нацелить «Джотто» с небывалой до этого точностью  $\pm 50$  км, т. е. в 10 раз большей, чем если бы навигация основывалась только на наземных наблюдениях. На самом деле «Джотто» прошел всего в пределах  $\pm 15$  км от расчетной точки, т. е. на расстоянии всего 605 км от ядра кометы. Этот замечательный подвиг был бы невозможен, не будь сотрудничества в рамках проекта «Лоцман» между НАСА, «Интеркосмосом» и ЕКА.

#### *Из воспоминаний очевидцев*

**Я. Яцкив:** Мне посчастливилось быть свидетелем волнующих минут встречи «Веги-1» с кометой Галлея. В эти исторические дни в Институте космических исследований АН СССР собрались известные ученые из многих зарубежных стран. Среди них такие видные астрономы, как Ф. Уиппл — крупнейший кометолог, создатель ледяной модели кометного ядра, исследователи планет К. Саган, В. И. Мороз, М. Я. Маров, руководители IHW Юрген Рае, Дж. Брандт и др.

4 марта начались первые прямые телепередачи из космоса, когда «Вега-1» находилась на расстоянии 14 млн км от ядра кометы, — были получены изображения головы кометы

с распределением яркости в ней в условных цветах, передавались данные об обстановке в межпланетном пространстве и солнечном ветре. 5 марта телепередача производилась уже с расстояния 7 млн км. Но до ядра еще было довольно далеко, чтобы можно было рассмотреть его контуры. Было только видно, что центральная часть головы кометы, где находится ее ядро, была наиболее яркой. Эти передачи показали работоспособность всей аппаратуры и позволили выбрать для нее оптимальный режим работы. И наконец, наступил решающий момент, когда космический аппарат-первоходец вошел внутрь головы кометы Галлея, и его приборы вступили в непосредственный контакт с кометным веществом, а основная астрокамера с фокусным расстоянием 120 см начала фотографировать внутренние части головы кометы, находясь непосредственно в самой газопылевой атмосфере кометы.

«Есть ядро кометы Галлея», — комментирует заместитель руководителя проекта ВЕГА профессор А. А. Галеев.

**R. Вест:** Встреча «Джотто» с кометой транслировалась по телевидению на огромную аудиторию, насчитывающую по приблизительным оценкам 500 млн человек, что бывает крайне редко, даже если принимать во внимание важнейшие спортивные или политические события. Очень редко можно найти столь широкое внимание общества к современной науке. Как только на телезрнерах вспыхнули изображения кометы, миллионы телезрителей наравне с разработчиками проекта имели возможность наблюдать это зрелище. Ведь ставилась задача, эквиалентная возможности получить отчетливые снимки лица пилота самолета «Конкорд», мчащегося со сверхзвуковой скоростью на высоте 30 м! Но изображения продолжали поступать и обрабатываться мощным компьютером. Вскоре стало возможным наблюдение темного ядра на ярком фоне окружающих газа и пыли. Пыль сконцентрировалась в узких джетах (струях), вырывающихся из определенных точек поверхности ядра. По данным наземных наблюдений в дни перед встречей аппарата с кометой было высказано предположение об

умеренной активности ядра. Тем не менее весь мир явился свидетелем того, как «Джотто» вошел прямо в струю частичек пыли за 15 с до своего минимального сближения с ядром. Аппарат получил удар большой частицей и начал колебаться. Хотя радиоконтакт был кратковременно утерян и камера прекратила функционировать, прием вскоре был восстановлен. Большая часть экспериментального материала заключительной фазы полета к комете была сохранена благодаря эффективным действиям специалистов по управлению КА.

Спустя год после встречи с кометой, когда она быстро улетела в далёкое пространство, все были согласны, что международное сотрудничество имело несомненный громадный успех. Тесные контакты на встречах и специально разработанные каналы связи позволили быстро обмениваться информацией с пользой для общего дела. Появилась возможность увеличить научную отдачу нескольких экспериментов благодаря знаниям, полученным другими исследователями. Международное сотрудничество предоставило возможность ученым и специалистам лучше узнать друг друга, и, что не менее важно, сотрудничающие стороны должны были сгладить «острые углы» для достижения эффективного результата.

#### ПЕРСПЕКТИВЫ МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА В ОБЛАСТИ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Огромное количество спутников и космических аппаратов первых десятилетий космической эры выполняли различные задания. Спутники связи

обеспечивали работу тысяч телефонных и телевизионных каналов; метеоспутники передавали нескончаемый поток подробных снимков, позволяющих предсказывать погоду точнее, чем раньше. Другие спутники изучали океаны и континенты, обеспечивая при этом потрясающее количество нужной информации от карт геологических ресурсов до карт агрокультур, от карт растущих городов до карт океанских течений и сосредоточений льдов в морях. Некоторые спутники служили навигационным целям и позволяли определять местоположение объектов с точностью до нескольких метров в любое время, в любой точке поверхности Земли.

По мере того как все большее число стран начинало заниматься космическими исследованиями и разрабатывало свои собственные программы, опыт в космической технологии уже не стал привилегией двух первых космических держав. Все это накладывает свой отпечаток на прогнозирование будущего мирного сотрудничества в космосе, которое вступит в свою более высокую фазу, если, конечно, предположить, что не произойдет никаких глобальных катастроф. С этой точки зрения важное место занимает политический климат на планете и стремление людей не допустить распространения гонки вооружений на космос.

Космические исследования — важная и очень впечатляющая часть науки, включающая естественное продолжение изучения Земли, начатое еще предыдущими поколениями людей. Как показал опыт с кометой Галлея, сейчас немногие другие отрасли науки имеют такое прямое воздействие на воображение всех людей. И если Вы являетесь свидетелями плодотворного, истинно международного сотрудничества там, в космосе, разве Вы не чувствуете в себе желания найти общий язык здесь, на Земле?!

УДК 574.5.08.+541.128.7

Г. К. Коротаев<sup>1</sup>, В. В. Пустовойтенко<sup>1</sup>, Ю. В. Терехин<sup>1</sup>,  
В. И. Драновский<sup>2</sup>, С. С. Кавелин<sup>2</sup>, Ю. Д. Салтыков<sup>2</sup>,  
О. Л. Емельянов<sup>2</sup>, В. Н. Цымбал<sup>3</sup>, В. Б. Ефимов<sup>3</sup>,  
А. С. Курекин<sup>4</sup>, В. А. Комяк<sup>4</sup>, А. П. Пичугин<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Морський гідрофізичний Інститут Національної академії наук України, Севастополь

<sup>2</sup>Державне конструкторське бюро «Південне», Дніпропетровськ

<sup>3</sup>Центр радіофізичного зондування Землі Національної академії наук  
та Національного космічного агентства України ім. А. І. Калмикова, Харків

<sup>4</sup>Інститут радіофізики та електроніки Національної академії наук України, Харків

<sup>5</sup>Науковий центр оперативного моніторингу Землі, Москва, Росія

## Тридцать лет отечественной спутниковой океанологии.

### 1. Космическая система «Океан» — «Січ»

*Надійшла до редакції 13.08.07*

У травні 2007 р. виповнилося 30 років з моменту прийняття Постанови про розробку і створення в СРСР державної космічної експлуатаційної системи дослідження природних ресурсів Землі «Ресурс» та її космічної підсистеми «Океан». У статті розглядаються основні етапи створення океанографічної підсистеми «Океан» і внесок фахівців України в ці роботи. Розглянуто океанографічні космічні апарати і особливості їхніх інформаційно-вимірювальних комплексів. Аналізуються можливості РЛС БО, яка встановлюється на вітчизняних космічних апаратах типу «Січ», вперше запущеної на борту космічного апарату «Космос-1500». Розглядаються деякі підсумки виконаних робіт і основні напрями розвитку робіт у області супутникової океанології в найближчій перспективі.

#### ВВЕДЕНИЕ

На рубеже 60-х и 70-х годов XX века были приняты решения, определившие пути развития отечественной спутниковой океанологии: в 1976 г. принято решение о разработке экспериментальных отечественных океанографических КА «Океан-Э» [20], 5 мая 1977 г. принято постановление правительства СССР, предусматривающее разработку и создание государственной космической эксплуатационной системы исследования природных ресурсов Земли «Ресурс» и ее космической подсистемы «Океан» [25]. С

этого времени работы в области дистанционного зондирования Земли и Мирового океана с использованием средств и методов космической техники получили поддержку на государственном уровне, и эту дату можно считать отсчетной точкой в истории отечественной спутниковой океанологии.

Использование методов и средств космической техники вывело морские науки на новый уровень. Во-первых, появилась возможность наблюдения практически любых районов Мирового океана, а во-вторых — стало возможным перейти от изучения фрагментов процессов и явле-

ний, протекающих на поверхности и в толще вод Мирового океана, к их анализу в целом. Особое место среди средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) занимают радиофизические: методы радиолокации и радиометрии. Не вдаваясь в детали, отметим их важную особенность — возможность наблюдения поверхности морских акваторий независимо от времени года, суток и местных погодных условий.

К началу работ по созданию космической подсистемы «Океан» усилиями отечественных [4, 34] и зарубежных [37] радиофизиков были установлены и изучены основные закономерности явления рассеяния радиоволн взволнованной морской поверхностью, в ряде академических и отраслевых научно-исследовательских институтов страны сформировались коллективы, занимающиеся развитием средств и методов радиофизического зондирования морской поверхности. На стыке океанографии, радиофизики и радиолокации сформировалось новое направление в области изучения физики морских процессов — радиоокеанография [28], а в последующем — и спутниковая гидрофизика (океанология) [23].

Говоря о развитии отечественной спутниковой океанологии, отметим, что первая попытка использования радиофизических систем для получения из космоса геофизической и океанографической информации была предпринята в 1968 г. запуском космического аппарата (КА) «Космос-243» с многочастотным радиометрическим комплексом ДЗЗ на борту [5]. Второй аналогичный КА «Космос-384» был запущен в 1970 г. Полученные в этих работах результаты показали высокую эффективность радиофизических систем как средств мониторинга морских акваторий и поверхности суши в региональном и глобальном масштабах.

- Не приуменьшая значения проведенных работ и важности полученных при этом результатов, отметим их демонстрационный характер. В это время еще отсутствовала четко сформулированная программа космических исследований Мирового океана, радиофизические комплексы были установлены на борту КА фотографического наблюдения типа «Зенит-2М» с параметрами орбиты соответственно: наклонение — 71.3° (72.9°), перигей — 210 (212) км и апогей — 319 (314) км, которые не являются оптимальными для океанографических и природоресурсных КА. Спутники запущены соответственно 23.09.1968 и 12.10.1970 гг.

- Заметим, что в США КА NIMBUS-5, оснащенный сканирующим радиометрическим комплексом ESMR, был запущен только 11.12.1972 г. Он выведен на орбиту с параметрами: наклонение — 99.95°, перигей — 1091 км, апогей — 1105 км [8].

В 1971 г. Морским гидрофизическим институтом АН УССР (МГИ АН УССР, ныне — МГИ Национальной академии наук Украины) впервые была осуществлена передача океанографической информации непосредственно с автоматической буйковой станции (АБС) «Скат» [2] через активный ретранслятор (созданный специалистами института), установленный на борту КА «Космос-426», на береговой центр управления и обработки информации. Работы продолжались более семи месяцев и подтвердили перспективность метода, существенно повышающего оперативность получения океанографических данных [14]. В Украине это был первый опыт совместной работы океанологов МГИ АН УССР и разработчиков космических аппаратов и систем Конструкторского бюро «Южное».

- Запущенный на орбиту 04.06.1971 г. КА «Космос-426», так же как и КА «Космос-243» и «Космос-384», не был специализированным океанографическим. Это был КА типа «ДС-У2-К», предназначенный для исследования потоков заряженных частиц и всплесков космического излучения. В соответствии с целевым назначением он был выведен на орбиту с параметрами: наклонение — 74°, перигей — 394 км, апогей — 2012 км [8].

## ГЛАВНЫЕ КОНСТРУКТОРЫ

Развитие столь наукоемкого направления как спутниковая океанология невозможно без объединения усилий специалистов многих научных, проектных и производственных организаций. Отечественная спутниковая океанология не могла бы состояться без участия коллектива КБ-3 КБ «Южное» и его главных конструкторов: В. М. Ковтуненко — под его руководством разработан эскизный проект подсистемы «Океан» и созданы первые океанографические КА «Океан-Э», Б. Е. Хмырова — он руководил созданием океанографических КА «Океан-ОЭ», С. Н. Конюхова (в настоящее время — академик НАН Украины, Генеральный конструктор ГКБ «Южное») — под его руководством КА «Океан-ОЭ» введены в опытную эксплуатацию (они получили наименование «Океан-О1») и начата разра-

ботка океанографического КА «Океан-О». В последние годы работами по созданию «морских» КА руководил член-корреспондент НАН Украины В. И. Драновский — под его руководством завершено создание КА «Океан-О», созданы КА «Січ-1» и «Січ-1М», начата разработка КА нового поколения.

Спутниковая океанология не могла состояться без участия ведущих специалистов академических научно-исследовательских и производственных организаций: Б. А. Нелепо (академик АН УССР, в те годы — директор МГИ АН УССР, научный руководитель работ), Н. А. Арманда (заместитель директора ИРЭ АН СССР, Председатель Совета по распространению радиоволн АН СССР, профессор, руководитель работ по спутниковой тематике в ИРЭ АН СССР), А. И. Калмыкова (в те годы — кандидат физико-математических наук, научный руководитель работ по созданию спутниковой РЛС БО, в последующем — доктор физико-математических наук, профессор, организатор и первый руководитель Центра радиофизического зондирования Земли НАНУ-НКАУ), Ю. В. Терехина (кандидат технических наук, в те годы — ответственный исполнитель работ по спутниковой тематике в МГИ АН УССР), Г. В. Смирнова (в те годы — кандидат физико-математических наук, директор СКТБ МГИ АН УССР, ныне — академик РАН), В. П. Шестопалова (академик АН УССР, в те годы — директор ИРЭ АН УССР), И. М. Балаклицкого (в те годы — директор СКТБ ИРЭ АН УССР), А. С. Селиванова, Ю. М. Тучина и многих других. Она не состоялась бы без участия специалистов научно-исследовательских, проектных и производственных организаций многих ведомств страны, без участия конструкторов, инженеров, техников и испытателей, вдохнувших жизнь в проекты научных и обеспечивших надежность работы средств ДЗЗ и космических аппаратов.

Современный этап развития работ в области спутниковой океанологии в Украине неразрывно связан с именами Г. К. Коротаева (доктор физико-математических наук, профессор, научный руководитель работ в области спутниковой океанологии в МГИ НАН Украины на протяжении последних 15 лет, Национальный координатор и член Управляющего комитета программы «Black

Sea GOOS»\*), В. Н. Еремеева (академик НАН Украины, Генеральный директор Океанологического центра НАН Украины), В. И. Лялько (член-корреспондент НАН Украины, директор Центра аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины), В. Н. Цымбала (директор ЦРЗЗ НАНУ-НКАУ им. А. И. Калмыкова), В. А. Иванова (член-корреспондент НАН Украины, директор МГИ НАН Украины), В. Н. Кудрявцева (доктор физико-математических наук, руководитель работ в области морской радиолокации в МГИ НАН Украины), А. Л. Макарова (с 2005 г. Главный конструктор КБ-3 ГКБ «Южное») и многих других.

#### КОСМИЧЕСКАЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА «ОКЕАН».

##### КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «ОКЕАН-Э»

Создание океанографической космической подсистемы «Океан» начато проведением космического эксперимента «Океан-Э», основными задачами которого являлись [17, 21]:

- отработка методики синхронных дистанционных измерений параметров океана и атмосферы над ним в различных диапазонах электромагнитных волн;
- разработка методов калибровки данных дистанционного зондирования по результатам прямых (контактных) подспутниковых измерений гидрометеорологических параметров;
- создание методик обработки данных спутниковых измерений, разработка соответствующих алгоритмов и программ;
- развитие методов интерпретации океанографической спутниковой информации и т. д.

Научное руководство экспериментом и функции Головной организации по бортовому информационно-измерительному комплексу (БИИК) океанографических КА в этих работах были возложены на МГИ АН УССР, а функции головной организации по КА в целом — на КБ «Южное». При подготовке эксперимента сотрудниками МГИ АН УССР в содружестве со специалистами ИРЭ АН УССР, КБ «Южное» и ряда других организаций, на основе всестороннего анализа возможностей обзора акватории Мирового океана с помощью спутниковых комплексов

\* Black Sea Global Ocean Observing System — Черноморский сегмент глобальной системы наблюдения океана.

ДЗЗ, информационных возможностей КА, возможностей радиоканалов передачи информации и мощности существующих вычислительных средств и многих других факторов, были определены оптимальная конфигурация спутниковых систем дистанционного зондирования и структура космического и наземного сегментов космической наблюдательной океанографической подсистемы «Океан».

С целью сокращения сроков разработки за основу КА «Океан-Э» был принят хорошо зарекомендовавший себя КА семейства «Целина» [15, 25] и имеющаяся инфраструктура обеспечения его эксплуатации. Запуски КА «Океан-Э» («Космос-1076», «Космос-1151») осуществлены в 1979 и 1980 гг. соответственно [8, 15, 18, 25]. В состав многофункционального БИИК, устанавливаемого на борту этих КА, входили [20]: поляризационный радиометр СВЧ-диапазона «РАДОН» (подобный работавшему в космосе на борту КА «Космос-243» и «Космос-384»); спектрометр ИК-диапазона 174К1; фотометр видимого диапазона «Цвет»; аппаратура вызова абонентов АВА и сбора информации БУКАЗ-КА, а также блок управления работой исследовательской аппаратуры БУК-ИА\*. Кроме этого, в состав БИИК КА «Космос-1151» вошел радиолокационный прибор «Сигма-А»\*\*, по сути представлявший собой макет основных функциональных систем и узлов будущей спутниковой РЛС БО (радиолокационной станции бокового обзора).

В качестве основных районов съемок для отработки методик определения параметров морской поверхности и атмосферы по данным ДЗЗ были выбраны акватории северных частей Атлантического и Индийского океанов, где проведение подспутниковых работ обеспечивалось экспедициями на НИС «Михаил Ломоносов», «Академик Вернадский» и «Молдавия», а также Арктический бассейн, в котором наблюдения за ледовым покровом обеспечивалось Арктическим и Антарктическим научно-исследовательским институтом (ААНИИ).

В ходе эксперимента «Океан-Э» были отработаны методы измерений гидрофизических параметров в СВЧ-, ИК- и видимом диапазонах спектра электромагнитных волн, уточнены физические представления о связях величин, изме-

ряемых с КА, с гидрофизическими параметрами, получены оценки точности измеряемых величин. Это позволило определить требования как непосредственно к платформам эксплуатационных океанографических КА, так и к составу спектральных каналов перспективной зондирующей аппаратуры, обеспечивающему ее максимальную эффективность. Результаты работ опубликованы в монографиях [22, 23] и в журналах «Исследование Земли из космоса», «Морские гидрофизические исследования», «Океанология».

#### КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ «ИНТЕРКОСМОС»

Практическая отработка элементов подсистемы «Океан» была проведена также и на КА типа АУОС-3-Р-П-ИК («Интеркосмос-20», «Интеркосмос-21»), запущенных в 1979 и 1981 гг. [8, 17, 25]. С их помощью был получен уникальный массив информации об оптических характеристиках морской воды. Измерения проводились практически непрерывно на протяжении 16 месяцев, что позволило: проверить принципы атмосферной коррекции для широкого диапазона состояния атмосферы и океана, солнечного освещения; построить карты распределения оптических свойств Мирового океана в глобальном масштабе на основе измерений из космоса и т. д. После запуска КА «Интеркосмос-21» на орбите впервые была создана система из двух одновременно работающих океанографических КА («Космос-1151» и «Интеркосмос-21»), что существенно повысило информативность космической наблюдательной системы.

Результаты этих работ стали фундаментом для последующей разработки принципов усвоения спутниковой информации в гидродинамических моделях Черного моря [19].

#### КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «КОСМОС-1500». РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СТАНЦИЯ БОКОВОГО ОБЗОРА

Положительные результаты эксплуатации КА «Океан-Э» стали основой для создания океано-

\* «Цвет» и БУК-ИА разработаны в МГИ АН УССР, изготовлены в СКТБ института.

\*\* Совместная разработка МГИ АН УССР и ИРЭ АН УССР, изготовление — СКТБ МГИ АН УССР и ИРЭ АН УССР.

графических КА нового класса — оснащенных панорамными системами ДЗЗ, ориентированными на получение снимков подстилающей поверхности. Научное руководство работами на этом этапе создания подсистемы «Океан» было поручено МГИ АН УССР. Головным разработчиком комплекса радиофизической аппаратуры (РФА) в составе радиолокационной станции бокового обзора и радиометра (РМ08) стал ИРЭ АН УССР, а функции головной организации по КА в целом, как и ранее, были возложены на КБ «Южное».

Идея разработки РЛС БО и ее постановки на борт отечественных океанографических КА принадлежит А. И. Калмыкову и базируется на результатах проведенных в ИРЭ АН УССР более чем 35-летних исследований основных закономерностей рассеяния радиоволн взволнованной морской поверхностью. Их результатом стало создание электродинамической модели поверхности, формирующей радиолокационный (РЛ-) сигнал (двухмасштабная модель [4, 34]\*), и разработка физических основ РЛ-зондирования морской поверхности, поверхности суши, материковых и морских льдов. Адекватное физическое представление о процессах формирования РЛ-сигнала различными видами подстилающей поверхности позволило А. И. Калмыкову и руководимому им коллективу, в содружестве со специалистами других организаций, в сжатые сроки разработать и создать комплекс РФА и его ядро — РЛС БО космического базирования.

Перед разработчиками подсистемы «Океан» стояла задача создания экономичной и удобной в эксплуатации РЛС, способной обеспечить обзор морских акваторий и оперативную доставку снимков потребителю. Технической основой РЛС БО стали разработки ИРЭ АН УССР в области создания экспериментальных радиоокеанографических РЛ-систем и разработки МГИ АН УССР в области создания автоматизированных систем обработки информации. Это позволило оптимизировать основные параметры РЛС БО, достичь высокой контрастно-фоновой чувствительности и оперативности доведения получаемой информации до потребителей в виде уже

привычных ему снимков поверхности.

РЛС БО имела пространственное разрешение, сопоставимое с разрешением метеорологических систем МСУ-М (СССР, КА «Метеор»), AVHRR\*\*, (США, КА NOAA), а в последующем — и SeaWiFS\*\*\* (США, КА SeaStar), что облегчало сопоставление и комплексную обработку получаемой океанографической информации. Параметры РЛС БО обеспечивали уверенное наблюдение морской поверхности в полосе шириной от 450 до 500 км (в зависимости от метеорологических условий) и многолетних льдов в полной полосе обзора.

При выборе расположения полосы обзора РЛС БО относительно трассы КА приоритет был отдан наблюдению ледовых полей в Арктическом бассейне, в связи с чем полоса обзора была расположена слева от трассы КА.

- Заметим, что к этому времени в космосе уже работали системы РЛ-наблюдения морской поверхности. С 1975 г. в штатной эксплуатации находился КА УС-А (RORSAT — Radar Ocean Reconnaissance Satellites — спутник радиолокационного наблюдения океана) [8, 25, 29, 36]. КА этого типа известны как КА «Космос» с различными текущими номерами. Для обеспечения оптимальных условий РЛ-наблюдения морских акваторий они запускались на низкие орбиты, в связи с чем имели малое время жизни. Для поддержания системы в рабочем состоянии требовался систематический запуск новых КА. Энергоснабжение КА обеспечивалось ядерной энергетической установкой. Сняты с эксплуатации в 1988 г. [8].
- 27.06.1978 г. с космодрома Ванденберг был запущен специализированный морской КА «Seasat» [35] (наклонение орбиты 108°, период обращения 100.4 мин, перигей 710 км, апогей 850 км [11]). На борту КА был установлен многофункциональный РЛ-комплекс, в том числе РЛС БО с синтезированием апертуры (PCA) приемной антенны. Она обеспечивала наблюдение морской поверхности в полосе шириной 100 км при пространственном разрешении около 25×25 м. Синтезирование изображения в то время осуществлялось на наземных средствах обработки данных. Это требовало использования широкополосных каналов передачи информации, вследствие чего PCA могла работать только в зонах радиовидимости приемных станций. Все это исключало возможность ее использования для оперативного наблюдения произвольных районов Мирового океана. КА проработал до 10 октября 1978 г. Причина выхода из строя — замыкание [35].
- Необходимо также отметить, что разработка РЛС БО для КА «Океан-ОЭ» не была в то время единственной разра-

\* Работы по созданию модели отмечены, несмотря на годы «холодной войны» между СССР и США, дипломом Общества американских радиоинженеров.

\*\* Advanced Very High Resolution Radiometers — усовершенствованный сканер высокого разрешения.

\*\*\* Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor — прибор наблюдения цветовых полей.

Рис. 1. Космический аппарат «Океан-ОЭ» («Космос-1500»):  
1 — корпус КА, 2 — солнечные батареи, 3 — поворотные панели, 4 — антенна РЛС БО, 5, 6 — блоки аппаратуры комплекса ДЗЗ, 7 — выдвижная штанга, 8 — гравитационный стабилизатор

Рис. 2. Вывод каравана судов из ледового плены в проливе Лонга: а — фрагмент РЛ-изображения района, полученного с помощью РЛС БО КА «Космос-1500» 20.10.1983 г.; б — тематическая карта района. Цифровые обозначения: 1 — тонкий лед, 2 — однолетний лед, 3 — толстый многолетний лед, крестик — место ледового плены каравана, сплошная линия — маршрут выхода из ледового плены

Рис. 3. КА «Океан-О»: 1 — антенны РЛС БО (правого и левого борта), 2 — антenna радиометра Р-600, 3 — антенная система сканера ДЕЛЬТА-2П, 4 — солнечная батарея

Рис. 4. КА «Січ-1М»: 1 — антenna РЛС БО, 2 — антenna РМ08, 3 — солнечные батареи, 4 — сканер МТВЗА-ОК, 5 — гравитационный стабилизатор, 6 — микроспутник

Рис. 5. Фрагмент одного из первых РЛ-изображений, полученных с помощью РЛС БО КА «Січ-1М». Виток № 1370, дата съемки 23.05.05 г. Режим расширенной полосы обзора (700 км)

боткой спутниковой РЛС: параллельно с ней создавались РСА для установки на КА типа «Ресурс-О» и «Алмаз». РСА «Траверс» была установлена борту КА «Ресурс-О» № 1, запущенного как «Космос-1689» в 1985 г. [26], и больше на КА этого типа не устанавливалась [32]. В последующем она вошла в состав модуля «Природа» долговременной орбитальной космической станции (ДОС) «Мир». Вторая РСА, требовавшая для обеспечения своей работы мощностей энергетической установки ДОС, была запущена в космос только в 1987 г. на борту КА «Космос-1870» и повторно — в 1991 г. на борту КА «Алмаз-1» [6, 8].

Применение на борту КА «Океан-ОЭ» радиотелевизионного комплекса (РТВК) разработки РНИИ КП (г. Москва), аналогичного уже применявшемуся на метеорологических КА «Метеор», обеспечивало возможность непосредственного получения РЛ- и радиотепловых снимков поверхности широкому кругу потребителей — снимки передавались в стандарте АРТ\* и принимались как на специализированных центрах приема и обработки спутниковой информации Госкомгидромета СССР (частотный диапазон 466 МГц), так и в сети автономных пунктов приема спутниковой информации (АППИ), работавших в частотном диапазоне 137 МГц. К моменту запуска КА такие АППИ были развернуты и в институтах Академии наук Украины: МГИ АН УССР и ИРЭ АН УССР.

При создании РЛС БО пришлось преодолеть многие проблемы организационного и технического характера. Отсутствие в академических институтах соответствующей производственной базы потребовало привлечения потенциала проектных и промышленных предприятий Украины. Так, антенну для РЛС БО смогли изготавливать только на одном из многих машиностроительных предприятий Харькова, радиотехнической промышленностью Украины специально для РЛС БО был разработан новый тип высоковольтного разъема. Оригинальная конструкция антенного блока, позволяющая развернуть в космосе антенну, состоящую из пяти сегментов, и стабилизировать ее геометрию в полете, создана специалистами КБ «Южное». Отработка конструкции РЛС БО проведена на испытательной базе производственного объединения «Южный машиностроительный завод».

Остановимся в нескольких словах на некоторых особенностях КА «Океан-ОЭ», внешний вид

которого показан на рис. 1. Конструктивно-компоновочная схема КА [11, 27] выполнена так, чтобы в полете его корпус 1 был ориентирован вертикально, а днище при этом обращено к Земле. Энергоснабжение КА обеспечивается двумя солнечными батареями 2, ориентируемыми в полете на Солнце. Корпус представляет собой герметичный контейнер, внутри которого размещены электронные блоки аппаратуры ДЗЗ и служебных систем КА, требующие для своей работы определенных климатических условий. К днищу корпуса с помощью поворотных механизмов прикреплены четыре панели объемно-ферменной конструкции 3, на которых размещены антенные системы 4—6 аппаратуры комплекса ДЗЗ, электронные блоки РФА и другой аппаратуры ДЗЗ, антенны служебных систем КА, датчики системы ориентации и другие устройства. После начального успокоения КА и его предварительного ориентирования из корпуса на штанге 7 в рабочее положение выдвигается гравитационный стабилизатор 8, образующий с корпусом КА гравитационный диполь. Система успокоения ориентации и стабилизации (СУОС) КА в полете обеспечивает точность ориентации: по тангажу и по рысканию — от 5 до 7°, по крену — не хуже 3°.

В состав БИИК КА «Океан-ОЭ» были включены [11, 19, 27]:

- РЛС БО с реальной апертурой приемной антенны, работающая в сантиметровом диапазоне радиоволн;
- сканирующий радиометр РМ08, работающий в 8-миллиметровом диапазоне радиоволн;
- специальный процессор бортовой обработки сигнала, управления и синхронизации (Б УОС);
- комплекс РТВК в составе многозонального сканирующего оптико-механического устройства малого разрешения (МСУ-М) и радиопередающего комплекса, работающего в метровом и дециметровом диапазонах радиоволн — частотные диапазоны 137 и 466 МГц соответственно;
- трассовый СВЧ-радиометрический комплекс;
- система сбора и передачи информации (ССПИ) «Кондор» для сбора данных с буйковых станций и других платформ и их передачи

\* Automatic Picture Transmission — автоматическая передача изображений.

Таблица 1. Запуски океанографических КА по программам «Океан» и «Сич»

Дата запуска КА	Дата прекращения работы КА	Наименование и тип КА	Период обращения, мин	Наклонение, град	Перигей, км	Апогей, км	Литературный источник
Программа «Океан»							
12.02.79	31.03.80	«Космос-1076» («Океан-Э» № 1)	97	82	647	678	[8, 25]
01.11.79	?	«Интеркосмос-20» (АУОС-З Р-П-ИК)	94.4	74	467	523	[8, 25]
23.01.80	13.10.81	«Космос-1151» («Океан-Э» № 2)	97.8	82.5	650	678	[8, 25]
06.02.81	?	«Интеркосмос-21» (АУОС-З Р-П-ИК)	94.5	74	475	520	[8, 25]
28.09.83	16.07.86	«Космос-1500» («Океан-ОЭ» № 1)	97.8	82.5	648	680	[8, 25]
28.09.84	05.12.86	«Космос-1602» («Океан-ОЭ» № 2)	97.8	82.5	648	679	[8, 25]
28.07.86	24.10.88	«Космос-1766» («Океан-О1» № 1)	97.8	82.5	647	679	[8, 25]
16.07.87	03.05.89	«Космос-1869» («Океан-О1» № 2)	97.8	82.5	648	680	[8, 25]
05.07.88	14.06.90	«Океан» («Океан-О1» № 3)	97.8	82.5	651	680	[8, 25]
09.06.89	?	? («Океан-О1» № 4)		авария 3-й ступени РН			[8]
28.02.90	18.07.91	«Океан-2» («Океан-О1» № 5)	97.3	82.5	618	645	[8, 25]
04.06.91	04.01.94	«Океан-3» («Океан-О1» № 6)	97.3	82.5	620	655	[8, 25]
11.10.94	?	«Океан-4» («Океан-О1» № 7)	97.7	82.55	632	666	[8, 25]
17.07.99	?	«Океан-О»	94	98		675	[8, 25]
Программа «Сич»							
31.08.95	15.01.04	«Сич-1» («Океан-О1» № 8)	97.73	82.53	632	669	[1, 8, 25]
24.12.04	08.08.05	«Сич-1М»	93.8	82.56	281	640	[8, 10]

в центры приема информации;

- блок управления комплексом аппаратуры ДЗЗ (БУК-ИА).

Первый из КА «Океан-ОЭ», получивший название «Космос-1500», был запущен 28 сентября 1983 г. (табл. 1). Основными задачами запуска являлись [3, 17, 27]:

- отработка методов дистанционного зондирования Мирового океана и поверхности Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства и науки;
- проведение оперативной съемки ледовых покровов Арктики и Антарктиды для обеспечения навигации в замерзающих районах Мирового океана;
- отработка новых видов информационно-измерительной аппаратуры и т. д.

На КА «Космос-1500» впервые был создан режим формирования «совмещенного кадра», когда на одном фотобланке размещались снимки подстилающей поверхности, получаемые с по-

мощью трех разных приборов: РЛС БО, РМ-08 и одного из каналов МСУ-М. Кроме этого предусматривались и автономные режимы работы, когда на фотобланк выводилась информация РЛС БО и РМ08 или только информация РЛС БО. Это позволяло, с одной стороны, сохранять ресурс сканера МСУ-М при съемках в темное время суток, а с другой — реализовать потенциально пространственное разрешение РЛС БО даже при использовании для передачи информации узкополосного радиоканала, работающего метровом диапазоне. Кроме этого, был сохранен и «стандартный» режим съемки только с помощью сканера МСУ-М (аналогичный использовавшемуся в то время на КА «Метеор»).

Для облегчения визуального анализа снимков, получаемых с помощью РФА, БУОС обеспечивал квазилинейную расстановку пикселей (элементов изображения) по поверхности, стабилизацию угла наблюдения ближней границы полосы обзора и ширины полосы обзора, а следова-

тельно, и масштаба РЛ-изображения подстилающей поверхности поперек полосы обзора [9, 12, 27]. При этом в совмещенном режиме масштаб изображений поверхности, получаемых с помощью РЛС БО и РМ08, был приведен к масштабу оптических изображений.

#### «КОСМОС-1500» — КОСМИЧЕСКИЙ ЛОЦМАН АТОМОХОДОВ

Ко времени запуска КА «Космос-1500» на Северном морском пути сложилась кризисная ситуация: в проливе Лонга во льдах был «затерт» караван из 22 судов с грузами стоимостью около 8 миллиардов долларов США [30], необходимыми для районов Крайнего Севера. Уже был раздавлен льдами и утонул теплоход «Нина Сагайдак», возникла реальная угроза полной утраты каравана. РЛС БО КА «Космос-1500» стала единственным средством\*, позволявшим в условиях полярной ночи регулярно проводить обзор как непосредственно пролива Лонга, так и прилегающих районов Северного Ледовитого океана. Уже первые РЛ-изображения района бедствия (одно из них приведено на рис. 2) показали, что ситуация не столь трагична — в 100 км севернее места расположения каравана, у острова Врангеля, была обнаружена обширная полынь, а в тяжелых многолетних льдах — системы широких трещин и разводий, по которым можно было провести караван к этой полыне. Штаб спасательной операции, после некоторых колебаний, прислушался к мнению радиофизиков и принял адекватные решения, обеспечившие спасение каравана.

Во второй раз КА «Космос-1500» выступил в качестве «космического лоцмана» в 1985 г. при обеспечении вывода из ледового плены Антарктиды научно-экспедиционного судна «Михаил Сомов». На спасение был направлен ледокол «Владивосток», на борту которого был развернут АППИ, обеспечивающий оперативный прием РЛ-снимков, что позволяло ежедневно разрабатывать наиболее рациональный план движения ледокола во льдах. На завершающей фазе операции на РЛ-изображениях была обнаружена широкая трещина в тяжелых льдах, протянувшаяся к дрейфовавшему судну. По ней ледокол

дошел до «Михаила Сомова», освободил его ото льда и вывел из ледового массива [13]. В 1991 г. «Михаил Сомов» вновь попал в ледовый плен Антарктиды. Однако в этот раз дрейф проходил в летнее, светлое время, льды были не столь тяжелыми, и судно смогло освободиться из плены самостоятельно. При этом общее наблюдение района осуществлялось оптическими средствами с борта КА «Метеор», «Ресурс», общее радиолокационное — с борта КА «Океан-01», детальное радиолокационное — с помощью РСА, установленной на борту КА «Алмаз-1» [6]. Заметим, что и в последующем РЛ-информация, получаемая с помощью КА «Океан-01», неоднократно использовалась для обеспечения транспортных операций в Арктике и Антарктиде.

Результаты эксплуатации РЛС БО на борту КА «Океан-0Э» подтвердили ее высокую эффективность как инструмента для всепогодного наблюдения поверхности морских акваторий и ледовых полей и стали основой для организации в сжатые сроки ее промышленного изготовления. Первая РЛС БО промышленного изготовления (НИИРИ, г. Харьков) была запущена в космос 26 мая 1986 г. в составе БИИК КА «Космос-1766».

Основные итоги эксплуатации КА «Океан-0Э» подробно рассмотрены в монографии [27] и в статьях тематического выпуска журнала «Исследование Земли из космоса» [9]. Результаты работ показали, что получаемая с помощью КА типа «Океан-0Э» информация может успешно использоваться в качестве информационного обеспечения при решении многих научных и народнохозяйственных задач. 6 февраля 1985 г. Постановлением правительства СССР КА «Океан-0Э» были приняты в опытную эксплуатацию под индексом «Океан-01» [25].

Для ознакомления широких кругов общественности с достижениями в области спутниковой океанологии океанографические КА включались в состав экспозиций на ВДНХ УССР (КА «Интеркосмос-21») и ВДНХ СССР (КА «Космос-1500»).

Создание и сдача в опытную эксплуатацию КА океанографической подсистемы «Океан» отмечена присуждением коллективам ее создателей Государственных премий СССР и Украины и награждением большой группы участников

\* Для КА УС-А, наклонение орбиты которых составляло 65° [8], район катастрофы находился вне поля обзора.

этой работы, в том числе — специалистов КБ «Южное», МГИ АН УССР и ИРЭ АН УССР, орденами и медалями СССР.

#### КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «ОКЕАН-01»

В период с 1986 по 1994 гг. на орбиту было выведено шесть КА «Океан-01» (данные о запусках приведены в табл. 1). Разработка получила высокую мировую оценку — результаты работ широко освещены в мировой научной печати, КА экспонировался на международном авиакосмическом салоне в Ле-Бурже (Франция) [25]. Конструкция и характеристики КА «Океан-01» соответствовали конструкции и характеристикам КА «Океан-0Э». И хотя состав БИИК КА «Океан-01» от запуска к запуску претерпевал некоторые изменения [17, 20], ключевым его элементом оставался комплекс радиофизической аппаратуры: РЛС БО, радиометр РМ08 и специальный процессор бортовой обработки сигнала, управления и синхронизации БУОС.

#### КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «ОКЕАН-0»

Полученный опыт эксплуатации КА типа «Океан-Э», «Океан-0Э» и «Океан-01» дал возможность с большим пониманием подойти к формированию требований к эксплуатационной океанографической системе и приступить к разработке более совершенного океанографического КА, получившего название «Океан-0». (Постановление о начале разработки КА принято правительством СССР 6 февраля 1985 г. [25]). Его целевым назначением было обеспечение глобальной съемки акватории Мирового океана и прилегающих районов суши в оптическом, ИК- и СВЧ-диапазонах с низким, средним и высоким пространственным разрешением для изучения Мирового океана и суши в интересах народного хозяйства и наук о Земле [17, 25]. Для этого на борту КА был установлен многофункциональный БИИК, в состав которого входили:

- радиофизическая аппаратура активного и пассивного зондирования — РЛС БО (два комплекта: право- и левостороннего обзора), многоканальный сканирующий СВЧ-радиометр «Дельта-2П», трассовые СВЧ-радиометры ше-

стисантиметрового (Р-600) и двухсантиметрового (Р-225) диапазонов;

- оптико-электронная (видимого и ИК-диапазонов) аппаратура — многоканальные сканирующие устройства высокого (МСУ-В), среднего (МСУ-СК) и малого (МСУ-М) разрешения, трассовый поляризационный спектрорадиометр видимого диапазона «Трассер»;
- радиотелевизионный комплекс (РТВК-М);
- бортовая аппаратура ССПИ «Кондор-2М»;
- высокоскоростная радиолиния передачи информации.
- Используемая в отечественной практике классификация приборов ДЗЗ по пространственному разрешению (М — малое, С — среднее и В — высокое) отличается от классификации, действующей в настоящее время на мировом рынке спутниковой информации:
  - а) сверхнизкое разрешение — 1 км и более;
  - б) низкое разрешение — от 1 км до 40 м;
  - в) среднее разрешение — от 40 до 5 м;
  - г) высокое разрешение — от 5 до 2 м;
  - д) сверхвысокое разрешение — лучше 2 м.
- По этой классификации отечественные спутниковые приборы ДЗЗ попадают в категории приборов сверхнизкого (радиометры СВЧ-диапазона), низкого (сканеры оптического и инфракрасного диапазонов, РЛС БО) и среднего (сканеры оптического и инфракрасного диапазонов) пространственного разрешения.

Разработка КА «Океан-0», внешний вид которого показан на рис. 3, была завершена в начале 1990-х годов. В отличие от КА «Океан-01» при его создании применена конструктивно-компоновочная схема с горизонтальным расположением продольной оси в полете. Это позволило разместить крупногабаритные антенные системы (1—3 и др.) аппаратуры ДЗЗ, не используя при этом поворотные устройства. Характерной особенностью силуэта КА является и расположенная в верхней полусфере солнечная батарея 4 [17].

КА «Океан-0» имел более мощную, в сравнении с КА «Океан-01», систему энергоснабжения, что позволяло проводить синхронную съемку с помощью всех установленных на его борту средств ДЗЗ. Система СУОС КА обеспечивала точность ориентации 10' при угловой скорости стабилизации 0.0015 град/с [24].

Заметим, что «космическая судьба» КА «Океан-0» по разным причинам была нелегкой — в течение нескольких лет он ожидал своего запуска, сроки пуска уже находящегося на старте

Таблица 2. Состав и основные параметры бортового информационно-измерительного комплекса КА «Січ-1»

Наименование прибора	Рабочий диапазон	Ширина полосы обзора	Пространственное разрешение, км	Передача информации
РЛС БО	Сантиметровый	450 км (5.7°)	2.5×1.3	
РМ-08	Миллиметровый	550 км (7.0°)	25×25	
МСУ-М	0.5—0.6 мкм 0.6—0.7 мкм 0.7—0.8 мкм 0.8—1.0 мкм	1900 км (24.2°)	1.5×1.5 в надире 1.8×1.7 на краю полосы обзора	
МСУ-С	0.57—0.70 мкм 0.70—0.82 мкм	1370 км (17.4°)	0.345×0.345 в надире 0.815×0.515 на краю полосы обзора	Только по радиоканалу дециметрового диапазона

КА неоднократно переносились — при этом был поставлен своеобразный «рекорд» продолжительности нахождения ракеты-носителя на пусковом столе (11 суток) [24]. В конечном итоге КА был запущен только 17 июля 1999 г. Через несколько месяцев (в феврале 2000 г.) он был «поврежден в результате столкновения с метеоритом или фрагментом какого-то космического объекта» [8]. Время работы КА пришлось на период наивысшей активности Солнца, что потребовало поиска неординарных решений по управлению КА в условиях сильных изменений параметров атмосферы [33]. Тем не менее, срок работы КА на орбите превысил его гарантийный ресурс.

С точки зрения развития отечественной спутниковой океанологии весьма важно то, что на борту КА «Океан-О» впервые в отечественной практике был установлен сканер, работающий в тепловом ИК-диапазоне и обладающий более высоким, чем сканер AVHRR КА NOAA пространственным разрешением. Это позволяло если не конкурировать, то по крайней мере дополнять данные NOAA.

#### КОСМИЧЕСКАЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА «СІЧ». КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «СІЧ-1»

Космическая наблюдательная система (КС) «Січ» создается Украиной в соответствии с Национальной (общегосударственной) космической программой. Эффективное использование собст-

венной научной и производственной базы и имеющихся заделов позволило заметно сократить сроки разработки и запустить первый из КА КС «Січ», получивший название «Січ-1» [8, 16, 17] (см. табл. 1), уже 31 августа 1995 г.

КА «Січ-1» был ориентирован на оперативное получение информации о процессах и явлениях, протекающих на морской поверхности и вблизи ее, в атмосфере, в ледовых массивах и на суше. Обеспечивалось это применением многофункционального БИИК, организацией бортовой обработки информации и передачей ее по радиоканалам, работавшим в частотных диапазонах 137 и 466 МГц. В Украине прием получаемой информации осуществлялся как в центральном приемном пункте КС (г. Евпатория), так и в сети АППИ потребителей (МГИ НАН Украины, ЦРЗЗ НАНУ-НКАУ и организации других ведомств).

Состав и основные параметры средств ДЗЗ, входящих в БИИК КА «Січ-1», перечислены в табл. 2. Ширина полосы обзора приборов в градусах определена для района средней полосы Черного моря (по 45° с. ш.).

КА «Січ-1» активно работал на орбите 8 лет 4 месяца и 15 дней (при гарантийном сроке 6 месяцев!). Работы с ним были прекращены 15 января 2004 года [1]. За это время проведена съемка морских акваторий и суши в интересах потребителей Украины (42 научные и научно-исследовательские организации различных министерств и ведомств) и России и получен большой объем интересных данных. Важным резуль-

татом его работы стало дальнейшее совершенствование методик анализа и интерпретации данных ДЗЗ, осуществление шагов по практическому использованию получаемой информации в различных отраслях хозяйства Украины. Некоторые примеры использования информации, получаемой с помощью КС «Океан» — «Січ», в интересах решения фундаментальных и прикладных задач будут рассмотрены во второй части статьи.

С точки зрения развития непосредственно КС итогом работ с КА «Січ-1» стало [1]: создание на базе НЦУИКС (Национальный

центр управления и испытаний космических средств, г. Евпатория) наземной инфраструктуры управления КА с отработкой одноточечной, вследствие особенностей географического расположения Украины, технологии управления;

формирование наземного специального комплекса приема и обработки информации ДЗЗ в составе главного (г. Дунаевцы) и региональных пунктов приема и обработки информации и центра архивации информации ДЗЗ (на базе ГНПЦ «Природа»);

отработка замкнутого цикла управления космической системой, что обеспечивает Украине независимость в получении, обработке и тематической интерпретации аэрокосмических данных наблюдения как собственной территории, так и других районов Земли.

В 1999 г. работы по созданию и эксплуатации первого этапа КС «Січ» в составе КА «Січ-1» и наземной инфраструктуры отмечены присуждением коллективам разработчиков, изготавителей и эксплуатирующих организаций Государственной премии Украины.

#### КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «СІЧ-1М»

Следующим шагом в развитии отечественной океанографической КС «Січ» стал КА «Січ-1М» [7, 17, 25]. Он являлся многоцелевым аппаратом, предназначенным для наблюдения поверхности Земли в видимом, ИК- и СВЧ-диапазонах в интересах хозяйственной деятельности и проведения научных исследований в различных об-

ластях физики моря и атмосферы Земли.

Для достижения этого на борту КА установлены:

- РЛС БО с улучшенными характеристиками;
- сканирующий радиометр РМ08;
- два комплекта усовершенствованных многоспектральных сканирующих устройств типа МСУ-ЭУ;
- температурно-влажностный зондировщик атмосферы и океана МТВЗА-ОК для комплексного обзора в видимом, ИК- и СВЧ-диапазонах спектра электромагнитных волн с широкой полосой обзора (2000 км);
- комплекс приборов «Вариант» для исследования тонкой структуры электрических токов, низкочастотных электрических и магнитных полей в плазме ионосферы.

Для передачи информации с борта КА на сеть наземных приемных станций на его борту установлены две цифровые, работающие в частотных диапазонах 8.2 и 1.7 ГГц, радиолинии передачи данных. Одновременно с этим сохранен и радиоканал, работающий в частотном диапазоне 137 МГц.

Внешний вид КА «Січ-1М» показан на рис. 4 [7]. Внешне он похож на КА типа «Океан-01» (см. рис.1). Однако в связи с размещением в верхней части корпуса вращающейся антенной системы прибора МТВЗА-ОК 4, штанга гравитационного стабилизатора 5 несколько смешена относительно его оси симметрии.

Запущенный 24 декабря 2004 г. КА вышел, к сожалению, на нерасчетную эллиптическую орбиту (апогей 640 км, перигей 281 км, период обращения 93.8 мин, наклон орбиты 82.56° [8]). Несмотря на нештатную орбиту и краткий срок эксплуатации (работы с КА были прекращены 8 августа 2005 года [10]), были проведены РЛ-съемки отдельных морских акваторий и прилегающих к ним районов суши. Они проведены как в стандартном режиме работы РЛС БО (ширина полосы обзора 450 км), так и в режиме расширенной до 700 км полосы обзора. На рис. 5 в качестве примера показан один из РЛ-снимков, полученных с помощью КА «Січ-1М». Снимок охватывает территорию России, Белоруссии, Украины, Молдовы, частично Турции и Болгарии и акваторию Черного моря. При обработке выполнена коррекция сигнала по наклонной дальности и яркости.

Рассматривая запуск КА «Січ-1М» как один из этапов летно-конструкторских испытаний модифицированного КА и его комплекса ДЗ3, отметим важное для нас обстоятельство: проведенные работы подтвердили работоспособность РЛС БО и в новом режиме — в режиме расширенной полосы обзора.

#### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КА МОНИТОРИНГА МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

В настоящее время Украина приступила к реализации четвертой за свою историю Общегосударственной космической программы на 2008–2012 годы.

Ее выполнение позволит:

- создать на орбите постоянно действующую систему отечественных КА геофизического мониторинга «Січ», обеспечить ее эксплуатацию и использование получаемой информации;
- создать национальную систему геоинформационного обеспечения как часть европейской (GMES) и мировой (GEOSS) систем наблюдения за Землей\*;
- усовершенствовать систему координатно-временного и навигационного обеспечения Украины с участием Российской Федерации и ЕС и т. д.

Космической программой предусматривается создание на базе усовершенствованных платформ перспективных КА наблюдения Земли. Среди них [17]:

- МС-2-8 («Січ-2»), на борту которого предполагается установить сканер оптического диапазона с разрешающей способностью около 8 м;
- «Січ-3-О», на борту которого предусматривается установка оптико-электронного устройства высокого разрешения, обеспечивающего детальность при съемке в надир лучше 1 м;
- «Січ-3-Р», на борту которого предусматривается установка РЛ-системы с высокой разрешающей способностью на местности [31].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На рубеже 80-х и 90-х годов ХХ столетия была создана отечественная система оперативного мониторинга Мирового океана «Океан». Ведущая роль в ее создании принадлежит специалистам академических и отраслевых научно-исследовательских институтов, проектно-конструкторских организаций и промышленных предприятий Украины. Полученный опыт эксплуатации системы показал, что круг задач, решение которых возможно на основе использования спутниковой информации, весьма широк и охватывает различные области фундаментальных и прикладных наук о Земле и Мировом океане: океанологию, метеорологию, гидрологию, экологию, транспорт, добычу полезных ископаемых и т. д.

Космическая океанология как одно из направлений использования спутниковой информации постоянно развивается и совершенствуется в техническом и методическом плане. Совершенствуются и средства получения информации, и методы обработки и усвоения данных: создаются системы автоматизированной обработки, структурного и текстурного анализа получаемых изображений, классификации образов, комплексной обработки информации, получаемой с помощью систем ДЗ3, работающих в оптическом, ИК- и СВЧ-диапазонах и т.д.

Для современных спутниковых РЛ-систем ДЗ3 характерна тенденция к дальнейшему улучшению их пространственного и радиометрического разрешения, обеспечивающая в перспективе переход к радиовидению, т.е. к получению РЛ-образов природных явлений и объектов, детально выявляющих их форму. Разрабатываемые перспективные средства ДЗ3, в том числе радиолокационные, интегрируются в геоинформационные системы, гидрометеорологические и геофизические модели разного уровня.

В современном мире дистанционное зондирование Земли из космоса как одно из направлений космической деятельности развивается во многих странах мира. Не является исключением и Украина, космическая отрасль которой обладает высоким научным и производственным потенциалом.

\* GMES — Global Monitoring for Environment and Security — система глобального мониторинга Земли в интересах безопасности и охраны окружающей среды; GEOSS — Global Earth Observation System of Systems — глобальная система наблюдения за Землей.

Космическая деятельность Украины осуществляется в соответствии с Законом Украины «О космической деятельности» и Национальными (общегосударственными) космическими программами. Согласно Указу Президента Украины № 933 «О мерах по дальнейшему развитию космической отрасли Украины» от 10 июня 2005 г. разработан проект четвертой «Общегосударственной космической программы Украины на 2008—2012 годы», отвечающей новым мировым тенденциям в исследовании и использовании космоса. В соответствии с ней специалисты Украины разрабатывают космические аппараты дистанционного зондирования Земли «Січ-2» и «Січ-3», имеющие высокую конкурентоспособность и представляющие собой реакцию космической отрасли Украины на современные потребности мирового рынка в космической информации.

1. 10 лет назад был запущен первый украинский спутник «Січ-1». Аэрокосмический портал Украины. <http://space.com.ua/gateway/news.nsf/AllnewsR/9F97D142A5AF4178C225706E00260EF1?openDocument>.
2. Анблагов В. Г., Забурдаев В. И., Иванов А. Ф. Дистанционные гидроздонды // Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. — Л.: Гидрометеиздат, 1977.—С. 547—557. 562—589.
3. Афанасьев Ю. А., Нелепо Б. А. Программа экспериментов на ИСЗ «Космос-1500» // Исслед. Земли из космоса.—1985.—№ 3.—С. 3—9.
4. Басс Ф. Г., Фукс И. М. Рассеяние радиоволн на статистически неровной поверхности. — М.: Наука, 1972.—424 с.
5. Башаринов А. Е., Гурвич А. С., Егоров С. Т. Радиолучение Земли как планеты. — М.: Наука, 1974.—187 с.
6. Витер В., Петровский В., Кучайко А. Трудная судьба советского «Лакrossa» // Новости космонавтики.—[Электронный документ] <http://www.novosti-kosmonavtiki.ru/content/numbers/218/33.shtml>
7. Драновский В. И., Салтыков Ю. Д., Меланченко А. Г. и др. Спутник дистанционного зондирования земли «Січ-1М» // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.—2004.—№ 11.—С. 184—197.
8. Железняков А. Космический мир // Энциклопедия «Космонавтика». Хроника освоения космоса. Запуски космических аппаратов. <http://www.cosmo-world.ru/spaceencyclopedia/chrono/index.shtml>
9. Исследование Земли из космоса. — М.: Наука, 1985.—№ 3.—128 с.
10. КА «Січ-1М» прекратил работу. [http://www.ntsomz.ru/news/news\\_center/sich\\_finish.html](http://www.ntsomz.ru/news/news_center/sich_finish.html)
11. Кавелин С. С., Белов Д. Г., Гладилин В. С. и др. Экспериментальный океанографический спутник «Космос-1500» // Исслед. Земли из космоса.—1983.—№ 3.—С. 115—122.
12. Калмыков А. И., Ефимов В. Б., Кавелин С. С. и др. Радиолокационная система ИСЗ «Космос-1500» // Исслед. Земли из космоса.—1984.—№ 5.—С. 84—93.
13. Козловский А. М. Зимой в Южном океане. <http://www.kapustin.boom.ru/journal/kozlovskiy3.htm>
14. Колесников А. Г., Нелепо Б. А., Ковтуненко В. М. и др. Ретрансляция океанографической информации с автоматической буйковой станции при помощи ИСЗ «Космос-426» // Докл. АН СССР.—1977.—234, № 1.—С. 49—52.
15. Конструкторское бюро «Южное». Космические аппараты. <http://www.yuzhnoye.com/?id=15&path=About%20company/History/Spacecraft/Spacecraft>
16. Конюхов С. Спутники Украины в космосе. <http://www.nkau.gov.ua/gateway/news.nsf/NewsAnalitR/8C4FD1578E9AD3A8C3256AE7002B59D3!open>
17. Конюхов С. Н., Драновский В. И. Разработка спутников для дистанционного зондирования Земли. <http://www.nkau.gov.ua/gateway/news.nsf/0/da5a4e4c78630f8cc2256c36003a233e?Open Document>
18. Коротаев Г. К., Малиновский В. В., Мотыжев С. В. и др. Компоненты спутникового мониторинга Черного моря (вклад Украины в Black Sea GOOS). — Севастополь, 2001.—116 с.—(Препринт / НАН Украины; МГИ).
19. Коротаев Г. К., Пустовойтенко В. В., Радайкина Л. Н. и др. Дистанционное зондирование морей и океанов. Развитие работ в области спутниковой океанологии // Развитие морских наук технологий в Морском гидрофизическом институте за 75 лет / Под общ. ред. В. Н. Еремеева. — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2004.—С. 585—625.
20. Космические аппараты «Океан-01» // Информ. бюл. пресс-центра космодрома «Плесецк».—1994.—№ 36.—11 октября.—(Сайт космодрома «Плесецк». <http://www.plesetsk.ru/index.php?p=inf036&d=doc/inf>).
21. Нелепо Б. А., Арманд Н. А., Хмыров Б. Е. и др. Эксперимент «Океан» на искусственных спутниках Земли «Космос-1076» и «Космос-1151» // Исслед. Земли из космоса.—1985.—№ 3.—С. 5—12.
22. Нелепо Б. А., Коротаев Г. К., Суетин В. С., Терехин Ю. В. Исследование океана из космоса. — Киев: Наук. думка, 1985.—168 с.
23. Нелепо Б. А., Терехин Ю. В., Коснырев В. К., Хмыров Б. Е. Спутниковая гидрофизика. — М.: Наука, 1983.—253 с.
24. Первый «Океан-О» на орбите // Новости космонавтики.—1999.—№ 9. <http://www.novosti-kosmonavtiki.ru/content/numbers/200/13.shtml>
25. Призваны временем. Т2. Ракеты и космические аппараты КБ «Южное» / Под общ. ред. С. Н. Конюхова. — Днепропетровск: Арт-Пресс, 2004.—232 с. [Электронный документ]. <http://epizodsspace.testpilot.ru/bibl/kb-ujn/obl.html>
26. Произведен запуск КА «Ресурс О1» № 3 // Новости космонавтики.—1994.—№ 22. <http://epizodsspace.testpilot.ru/bibl/nk/1994/22/22-1994-2.html>
27. Радиолокация поверхности Земли из космоса. (Исследование морской поверхности, ледяного и ледового покровов с помощью спутниковой радиолокационной

- станции бокового обзора) / Под ред. Л. М. Митника, С. В. Викторова. — Л.: Гидрометеоиздат, 1990.—200 с.
28. Радиоокеанографические исследования морского волнения / Под. ред. С. Я. Брауде. — Киев: АН УССР, 1962.—116 с.
29. Савин А. И., Зотов Г. Ф., Петрушченко Ю. Е. Система морской космической разведки и целеуказания. [Электронный документ] <http://www.navy.ru/science/sor7.htm>
30. Сердюк И., Пымбал В. Пока не грянул гром // Международный общественнополитический еженедельник.—2005.—№ 13 (541). <http://www.zerkalo-nedeli.com/nn/show/541/49716>
31. Сич-3-Р. Сайт ГКБ «Южное». Космические аппараты. Наблюдение Земли. [Электронный документ] <http://www.yuzhnaya.com/?id=136&path=Aerospace%20Technology/Spacecraft/Remote%20Sensing/Sich-3-R/Sich-3-R>
32. Тарасенко М. Отечественная система оперативного дистанционного зондирования Земли // Новости космонавтики. <http://www.novosti-kosmonavtiki.ru/content/numbers/184-185/22.shtml>
33. Удалой В. А., Иванов Н. М., Соколов Н. Л. и др. Некоторые особенности оперативного управления космическим аппаратом «Океан-О» // Гирокопия и навигация.—2004.—№ 2 (45).—С. 48—54.
34. Bass F. G., Fuks I. M., Kalmykov A. I., et al. Very high frequency radiowave scattering by a disturbed sea surface, Parts I and II // IEEE Trans. Antennas Propagat.—1968.—AP-16.—P. 554—559 and 560—568.
35. Seasat [Электронный документ] [http://www.directory.eoportal.org/press\\_Seasat.html](http://www.directory.eoportal.org/press_Seasat.html)
36. Sven Grahn. The US-A program (Radar Ocean Reconnaissance Satellites—RORSAT) and radio observations thereof. <http://www.svengrahn.pp.se/trackind/RORSAT/RORSAT.html>
37. Wright W. J. A new model for sea clutter // IEEE Trans. Antennas Propagat.—1968.—AP-16.—P. 217—223.

**THIRTY YEARS OF DOMESTIC SPACE OCEANOLOGY.****1. SPACE SYSTEM OCEAN—SICH**

*G. K. Korotayev, V. V. Pustovoytenko, Yu. V. Terekhin,  
V. I. Dranovsky, S. S. Kavelin, Yu. D. Saltykov,  
O. L. Yemelyanov, V. N. Tsymbal, V. B. Yefimov,  
A. S. Kurekin, V. A. Komyak, A. P. Pichugin*

Thirty years ago, in May 1977, the Decision on the elaboration and creation of the state space system for remote sensing of the Earth «Resurs» and its space subsystem «Ocean» was adopted in the USSR. We consider the main stages of creating the oceanographic subsystem «Ocean» and the contribution of Ukraine to this project. Oceanographic satellites and some peculiarities of their informational and measuring complexes are discussed. The possibilities of SLR first launched aboard the satellite «Kosmos-1500» and then mounted on the Ukrainian satellites of the «Sich» type are analysed. Some results of the work performed and the main directions for the further development of the investigations in the field of satellite oceanology are considered.

УДК 574.5.08.+541.128.7

Г. К. Коротаев<sup>1</sup>, В. В. Пустовойтенко<sup>1</sup>, Ю. В. Терехин<sup>1</sup>,  
В. И. Драновский<sup>2</sup>, С. С. Кавелин<sup>2</sup>, Ю. Д. Салтыков<sup>2</sup>,  
О. Л. Емельянов<sup>2</sup>, В. Н. Цымбал<sup>3</sup>, В. Б. Ефимов<sup>3</sup>,  
А. С. Курекин<sup>4</sup>, В. А. Комяк<sup>4</sup>, А. П. Пичугин<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Морський гідрофізичний Інститут Національної академії наук України, Севастополь

<sup>2</sup>Державне конструкторське бюро «Південне», Дніпропетровськ

<sup>3</sup>Центр радіофізичного зондування Землі Національної академії наук  
та Національного космічного агентства України ім. А. І. Калмикова, Харків

<sup>4</sup>Інститут радіофізики та електроніки Національної академії наук України, Харків

<sup>5</sup>Науковий центр оперативного моніторингу Землі, Москва, Росія

## Тридцать лет отечественной спутниковой океанологии. 2. Прикладные аспекты использования спутниковой информации

*Надійшла до редакції 13.08.07*

Історія вітчизняної супутникової океанології налічує близько 30 років: у 1976—1977 рр. були ухвалені рішення про розробку експериментальних вітчизняних океанографічних КА «Океан-Э» і розробку і створення державної космічної експлуатаційної системи дослідження природних ресурсів Землі «Ресурс» та її космічної підсистеми «Океан». У статті розглядаються питання функціонування космічної океанографічної наглядової системи «Океан» — «Січ» і основні напрями практичного використання одержуваної інформації при рішенні фундаментальних і прикладних задач у області океанології, екології, агрогидрометеорології і т. ін.

### ВВЕДЕНИЕ

История отечественной спутниковой океанологии насчитывает около 30 лет: в 1976–1977 гг. были приняты решения о разработке экспериментальных отечественных океанографических КА «Океан-Э» [8] и о разработке и создании государственной космической эксплуатационной системы исследования природных ресурсов Земли «Ресурс» и ее космической подсистемы «Океан» [16].

Использование методов и средств космической

техники в океанологии обеспечивает возможность создания междисциплинарных систем непрерывного контроля состояния морских акваторий примерно такого же типа, как метеорологические системы диагноза и прогноза погоды. Междисциплинарный диагноз состояния морских акваторий в реальном масштабе времени и среднесрочный прогноз его эволюции являются предметом нового, бурно развивающегося в последние годы, направления физической океанографии — оперативной океанографии.

В первой части нашей работы рассмотрены

основные этапы создания отечественных океанографических наблюдательных систем «Океан» и «Січ». При этом основное внимание было уделено космическому сегменту систем — космическим аппаратам (КА) и целям и задачам проводимых с их помощью работ.

Здесь рассмотрим некоторые вопросы функционирования космической наблюдательной системы «Океан»—«Січ» и основные направления практического использования получаемой информации при решении фундаментальных и прикладных задач в области океанологии (океанографии), экологии, агрогидрометеорологии и т. д.

#### **ПОДСПУТНИКОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

**Черноморский контрольно-калибровочный полигон.** Одним из важнейших аспектов работы космической наблюдательной системы является обеспечение достоверности получаемой с ее помощью информации. Поэтому прежде чем показывать примеры практического использования спутниковой информации в интересах решения широкого круга фундаментальных и прикладных задач, рассмотрим, как при создании океанографических космических наблюдательных систем «Океан» и «Січ» решалась проблема обеспечения спутниковых измерений сопутствующей контрольно-калибровочной информацией.

Дело в том, что в приложении к задачам океанологии, экологии морских систем и т.д. спутниковые средства и системы позволяют определить только параметры тонкого поверхностного слоя, которые не отражают полностью параметры трехмерной структуры морской среды. Наиболее адекватную информацию можно получить при совместном анализе пространственно распределенных спутниковых данных и детальной контактной информации. Это требует введения в состав космических наблюдательных систем в качестве неотъемлемой их части сети контрольно-калибровочных полигонов, обеспечивающих космическую систему требуемой контрольно-калибровочной информацией и создающих возможность проведения научно-методических работ, необходимых для дальнейшего раз-

вития теории, методов и средств космической океанологии и совершенствования методологии проведения непосредственно контрольно-калибровочных измерений [20].

В рамках работ по созданию космической подсистемы «Океан» специалисты Морского гидрофизического института при участии ряда научно-исследовательских и проектных организаций создали Черноморский контрольно-калибровочный подспутниковый полигон (ЧКПП) и провели его опытную эксплуатацию. Опыт комплексных подспутниковых экспериментов в период работы КА «Океан-Э», «Океан-ОЭ» и «Океан-О1» позволил оптимизировать и унифицировать организационную структуру ЧКПП и комплекс его программно-технических средств. В его состав вошли следующие контрольно-калибровочные средства и информационно-измерительные системы:

- контрольно-калибровочный центр (стационарная океанографическая платформа);
- авиационные информационно-измерительные системы (на базе самолетов Л-410 и АН-30);
- судовые информационно-измерительные системы (на базе судна на подводных крыльях «Комета» и научно-исследовательских судов института);
- радиоцентры координации работ подвижных информационно-измерительных систем и приема гидрометеорологической информации;
- автономные пункты приема и обработки спутниковой информации (АППИ) судового и наземного базирования;
- специальный стенд обработки спутниковой и сопутствующей информации.

Ядром ЧКПП, обеспечивающим возможность отработки методик измерений океанографических параметров и методик калибровки аппаратуры ДЗЗ, стала стационарная океанографическая платформа\*, внешний вид которой показан на рис. 1. Платформа введена в эксплуатацию на первых этапах создания подсистемы «Океан» и обеспечивает размещение в лабораторных помещениях, на трех палубах и на вспомогательных выдвижных устройствах (мостики, выстрелы) оборудования, предназначенного для выполнения широкого спектра измерений параметров морской поверхности, морской среды и атмосфе-

\* Удаление платформы от берега около 500 м. Глубина моря в месте ее расположения — около 30 м. Высота основной палубы платформы над спокойным уровнем моря — 12 м, площадь лабораторных, жилых и вспомогательных помещений — 160 м<sup>2</sup>.

ры. На последующих этапах при поддержке КБ «Южное» была создана вторая платформа, допускающая установку на больших глубинах. Однако ввести ее в эксплуатацию в связи с изменившейся экономической обстановкой не удалось.

Авиационные информационно-измерительные системы ЧКПП обеспечивали выполнение аэроизуальных наблюдений (Л-410) и инструментальных (АН-30) измерений параметров полей температуры и цвета поверхности моря, интенсивности волнения, областей морской поверхности, подвергнувшихся интенсивному загрязнению, и т. д.

Судовые информационно-измерительные системы, развернутые на научно-исследовательских судах «Комета», «Профессор Колесников» и «Академик Вернадский», обеспечивали выполнение стандартных и нестандартных измерений океанографических параметров в акватории Черного и Средиземного морей и в других районах Мирового океана. Кроме этого, для измерений в акватории Черного моря использовались свободно дрейфующие буйковые станции (дрифтеры) [2, 20].

Радиоцентры ЧКПП обеспечивали координацию работ мобильных информационно-измерительных систем, прием диагностических и прогностических гидрометеорологических карт, данных станционных метеорологических и океанографических измерений, а также другой метеорологической и океанографической информации, распространяемой по радиоканалам.

АППИ обеспечивали оперативный прием информации, передаваемой в аналоговом виде с борта орбитальных и геостационарных КА. АППИ были развернуты\* непосредственно в институте, на судне «Академик Вернадский» и в Гвинейском научно-исследовательском центре, что позволяло получать снимки не только Черного и Азовского морей и морей Восточного Средиземноморья, но и Центральной и Северной Атлантики. В последующем АППИ, развернутый в МГИ НАН Украины, был дооснащен каналом приема информации, работающим в частотном диапазоне 1.7 ГГц и адаптированным к информационным потокам, передаваемым в

цифровом виде с борта КА типа NOAA. Это позволило, во-первых, существенно повысить качество принимаемых данных за счет снижения уровня эфирных помех при приеме информации (в диапазоне 137 МГц интенсивные помехи создают средства внутрипортовой диспетчерской связи, вплоть до полного срыва сеансов приема спутниковой информации) и, во-вторых, — перейти к анализу качественно новых изображений морских акваторий, пространственное разрешение которых составляет  $1 \times 1$  км.

Параметры цифровой станции приема спутниковой информации МГИ НАН Украины в настоящее время обеспечивают возможность уверенного приема изображений не только акватории Черного и Азовского морей, но и морей восточного и центрального Средиземноморья, Каспийского, Аральского и Балтийского морей.

Во время проведения экспериментов «Океан-Э» и «Океан-ОЭ» обработка спутниковой и сопутствующей информации обеспечивалась созданным на базе вычислительного центра института специальным стендом обработки спутниковой информации и другими проблемно-ориентированными программно-аппаратными комплексами. Основу специального стендса составляли две ЭВМ ЕС-1033, дополненные в последующем ЭВМ ЕС-1060 (самой мощной в те годы в Крыму) и ЭВМ СМ-1420 «МЭРА» [6, 9].

Современный аппаратно-программный комплекс технических средств приема и обработки спутниковой и сопутствующей информации МГИ НАН Украины построен на основе персональных электронных вычислительных машин, объединенных в единую локальную сеть. При этом для получения разноплановой сопутствующей информации широко используются возможности интернет. Подобный комплекс создан и эксплуатируется в ЦРЗЗ им. А. И. Калмыкова.

В настоящее время на Черноморском ККП проводятся научно-методические работы, направленные на дальнейшее изучение физики формирования морской поверхностью информационных сигналов в видимом, ИК- и СВЧ-диапазонах и развитие на этой основе методов интерпретации разноплановой спутниковой ин-

\* При подготовке к работам с КА «Океан-ОЭ» № 1 («Космос-1500») в ИРЭ АН УССР собственными силами также был создан АППИ, предназначенный для приема информации, передаваемой в аналоговом виде в частотном диапазоне 137 МГц. При подготовке к работам с КА «Сич-1М» этот АППИ был оснащен каналом приема цифровой информации, передаваемой с борта КА в частотном диапазоне 1.7 ГГц.

**Основные технические и информационные характеристики РЛС БО КА космической наблюдательной системы «Океан» — «Січ»**

Наименование	Значение	Примечания
Ширина полосы обзора, км		
стандартная	450—500	
расширенная	700	только на КА «Січ-1М» по уровню -3 дБ
Потенциальное разрешение (с учетом накопления сигнала), км		диаграммы направленности антенны
в направлении полета в полосе обзора	от 2.1 до 2.5	
перпендикулярно направлению полета в полосе обзора	от 0.9 до 0.6	
Длина волны, см	3.1	
Длительность импульса излучения, мкс	3	
Мощность излучения в импульсе, кВт	100	
Частота повторения импульсов, Гц	100	
Поляризация излучения и приема	вертикальная	
Пороговая чувствительность приемника, дБ/Вт	-140	
Число некогерентных накоплений импульсов в тракте обработки сигнала	8	для КА «Космос-1500»
Скорость вывода РЛИ на выходе системы обработки, строк/с	4	согласовано с пропускной способностью радиоканалов передачи данных по уровню -3 дБ
Ширина диаграммы направленности антенны		
в азимутальной (Н) плоскости	42	
в угломестной (Е) плоскости	0.2	
Коэффициент усиления антенны, дБ	35	
Внутренняя калибровка	есть	
Число градаций калибровочного клина	8	
Количество элементов изображения	570	для КА «Космос-1500»
Время считывания РЛ-информации, мс		
совмещенный режим	46.9	
автономный (РЛС БО)	156.2	
Угол разворота антенны в угломестной плоскости от надира	35°	для КА «Космос-1500»

формации и ее усвоения в системе оперативного гидрофизического и экологического мониторинга морских акваторий. Для этого используется стационарная океанографическая платформа, малые плавсредства, обеспечивающие возможность измерения ряда океанографических параметров на удалении до 10 миль от берега, и система автономных поверхностных дрейфующих буйковых станций [23].

**Самолет-лаборатория АКДЗ-30.** Эксплуатация самолетов-лабораторий как элементов ЧККП была прекращена в начале 1990-х годов. Но необходимость в мобильных средствах, обеспечивающих возможность проведения как контрольно-калибровочных, так и научно-методических работ в области ДЗЗ морских акваторий, есть. С учетом этого специалистами ЦРЗЗ НАНУ-НКАУ в содружестве со специалистами ЦАКИЗ ИГН НАН Украины и АНТК им. О. К. Антонова в последние годы создан

авиационный многоцелевой комплекс дистанционного зондирования природной среды АКДЗ-30 [21]. В состав его информационно-измерительного комплекса входят:

- РЛС БО 8-мм диапазона;
- сканирующий радиометр ИК-диапазона;
- аэрофотокамера и видеокамера;
- система бортовой обработки, накопления и отображения информации;
- навигационный приемник системы GPS.

Комплекс АКДЗ-30 ориентирован на решение широкого круга научных и практических задач в различных областях научной и хозяйственной деятельности. Прежде всего это оперативное обнаружение предвестников и мониторинг проявлений разнообразных природных и техногенных катастроф, природных кризисных ситуаций (наводнения, разлив на водной поверхности нефтепродуктов, ледовые заторы на реках, крупномасштабные пожары и многое другое), а

также поиск проявлений полезных ископаемых, обнаружение судов-нарушителей границ морской экономической зоны и т.д.

Комплекс размещен на борту самолета АН-30 МЧС Украины, имеет относительно невысокие эксплуатационные расходы и хорошие летные характеристики. Внешний вид самолета-лаборатории АКДЗ-30 показан на рис. 2, а, а размещение приборов в салоне самолета — на рис. 2, б—г.

#### ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ, ПОЛУЧАЕМОЙ КС «ОКЕАН» — «СІЧ»

Не претендуя на полноту изложения\*, рассмотрим некоторые примеры использования информации, получаемой с помощью средств ДЗЗ космических наблюдательных систем «Океан» и «Січ-1». Основное внимание при этом уделим информации, получаемой с помощью спутниковой обзорной РЛС БО, технические и информационные характеристики которой приведены в таблице.

Напомним, что РЛС БО, используемая на океанографических КА типа «Океан» — «Січ», имеет полосу обзора около 500 км (для морской поверхности реальная ширина полосы обзора несколько варьирует в зависимости от гидрометеорологических условий) и позволяет наблюдать подстилающую поверхность вне зависимости от ее освещенности, наличия облачности, времени года и суток.

**Квазиоперативный мониторинг акваторий Азовского и Черного морей.** Высокая чувствительность РЛС БО к изменению геометрических (шероховатость) и электрофизических (диэлектрическая проницаемость, влажность) параметров поверхности создает физические основы для контроля состояния как морских акваторий и морских и материковых льдов, так и поверхности суши.

В период с ноября 1995 по февраль 1997 гг. параллельно МГИ НАН Украины и ЦРЗЗ НАНУ-НКАУ им. А. И. Калмыкова на основе использования информации, получаемой с помощью РЛС БО КА «Січ-1», проведен квазиоперативный РЛ-мониторинг Черного и Азовского

морей. На рис. 3 в качестве примера приведена серия РЛ-изображений восточной части Черного моря, полученных с помощью РЛС БО КА «Січ-1» в марте 1996 г. На снимках зафиксирована ветровая струя, возникшая вследствие влияния особенностей рельефа местности. По полученным нами оценкам скорость ветра в стрежне ветровой струи составляла 10—12 м/с. Поскольку струя «отжата» от берега, она находится вне поля зрения береговых гидрометеорологических станций и постов. Стандартные метеорологические карты приземного анализа в эти дни показывали наличие в регионе слабоградиентного поля давления, не позволяющего спрогнозировать формирование ветровой струи. Обращает на себя внимание и размер области, находящейся под действием струи (ширина полосы обзора РЛС БО при наблюдении морской поверхности составляет около 450—470 км).

**Наблюдение тропических штормов и ураганов.** Другим примером практического использования спутниковой РЛ-информации является наблюдение опасных гидрометеорологических явлений — тропических штормов и ураганов. Они наносят человечеству катастрофические экономические потери, уносят многие человеческие жизни. Отметим, что только в 2005 г. прошел двадцать один ураган, среди которых особенно разрушительными стали Katrina, Rita, Sten, Vilma, затопившие нефтяные платформы в Мексиканском заливе. Ураган «Катрина» имел наивысшую, пятую, категорию и стал самым дорогостоящим и одним из самых смертоносных ураганов в американской истории и шестым по силе когда-либо зарегистрированным атлантическим ураганом. «Рита» и «Вильма» имели четвертую категорию. В последние годы наблюдается ярко выраженная тенденция к увеличению год от года как мощности, так и количества ураганов. Это существенно повышает актуальность проблемы обнаружения ураганов на как можно ранней стадии их развития и своевременного оповещения о них. И здесь без спутниковой РЛ-информации не обойтись.

Для оценки возможного ущерба от ураганов используется разработанная в начале 1920-х годов 5-балльная шкала Г. Саффира и Р. Симп-

\* Более подробное описание полученных данных и результатов анализа информации можно найти, например, в монографиях [14, 15, 17], тематическом [4] и других выпусках журнала «Исследование Земли из космоса».

сона (Saffir-Simpson scale) [25]:

тропический ураган (1 категория) — скорость ветра от 74 до 95 миль/ч (119—153 км/ч, 33—42 м/с);

тропический ураган (2 категория) — скорость ветра от 96 до 110 миль/ч (154—177 км/ч, 43—49 м/с);

сильный тропический ураган (3 категория) — скорость от 111 до 130 миль/ч (178—210 км/ч, 50—58 м/с);

очень сильный тропический ураган (4 категория) — скорость ветра от 151 до 155 миль/ч (211—249 км/ч, 59—69 м/с);

катастрофический тропический ураган (5 категория) — скорость ветра превышает 155 миль/ч (250 км/ч, 69 м/с).

Обзорные РЛС БО («Океан-О1», «Січ-1», «Січ-1М») могут с успехом использоваться для ранней диагностики тропических ураганов, дополняя и уточняя при этом традиционную метеорологическую информацию. Работы в этом направлении начаты еще во время эксплуатации КА «Океан-ОЭ» («Космос-1500») в ИРЭ АН УССР [22]. Впервые спутниковая обзорная РЛС БО была использована для наблюдения за тропическим ураганом «Диана» в 1984 г. Его РЛ-обнаружение в начальной стадии развития позволило своевременно принять необходимые меры и минимизировать причиненный ущерб. На рис. 4 приведены изображения урагана, полученные с помощью комплекса ДЗЗ КА «Космос-1500»: изображение, полученное в видимом диапазоне с помощью сканера МСУ-М ([7, табл. 2]), показано на рис. 4, а. РЛ-изображения области, охваченной ураганом, полученные 11 и 12 сентября 1984 г., показаны на рис. 4, б и в. На РЛ-изображениях темная область в центре с поперечником около 13–14 км представляет собой глаз урагана. Здесь скорость ветра ослабевает, что сопровождается быстрым затуханием гравитационно-капиллярных волн и снижением уровня формируемого морской поверхностью РЛ-сигнала. Но общее состояние морской (океанской) поверхности в области гла-

за урагана характеризуется наличием очень крутых, высоких и опасных для мореплавания длинных поверхностных волн.

Еще раз обратим внимание на то, что РЛ-изображения, в отличие от изображений, получаемых в видимом и ИК-диапазонах, характеризуют собой не структуру верхнего слоя облачности, а структуру поля шероховатости поверхности и, в конечном итоге, структуру поля ветра непосредственно вблизи морской поверхности. При этом поверхность наблюдается в любое время суток независимо от плотности облачности.

**Мониторинг загрязнений морской поверхности поверхностью-активными веществами.** Разливы нефти на море наносят огромный материальный ущерб. Наибольший общественный резонанс имеют катастрофические по своим масштабам и наносимому ущербу разливы нефти и нефтепродуктов при авариях танкеров. Вместе с тем вне поля зрения остаются утечки, происходящие во всей технологической цепи добычи нефти и ее транспортировки. Значительный вклад в загрязнение морских акваторий бытовых и промышленных стоков, в том числе приносимых реками. Одним из проявлений нефтяного загрязнения морской поверхности является образование на ней пленок\*, существенно изменяющих ход естественных обменных процессов между морем и атмосферой. При скорости ветра до 3—5 м/с при наличии нефтяной пленки морское волнение не развивается. При скорости ветра до 13 м/с на поверхности моря различимо выглаженное пятно нефтяной пленки — так называемый «слик», обнаруживаемый РЛ-средствами\*\*. Применительно к акватории Черного моря задача приобретает особую актуальность в связи с интенсификацией морских перевозок нефти, строительством нефтеперевалочных терминалов и перспективами дальнейшего развития в акватории морской добычи нефти.

В качестве иллюстрации возможностей РЛС БО отечественных океанографических КА на рис. 5 приведены изображения Синайского по-

\* Нефть не растекается до мономолекулярных слоев, а ее пленки, как правило, имеют толщину от нескольких сантиметров до долей миллиметра. При растекании легкие фракции, включая токсичные ароматические углеводороды, испаряются, а остаточная пленка имеет повышенную вязкость и не столь низкое поверхностное натяжение, как в начальной стадии разлива. При отсутствии ветра, волн и течений 1 м<sup>3</sup> сырой нефти растекается в пятно радиусом 50 м за 1.5 ч.

\*\* Применительно к мониторингу сливов большими потенциальными возможностями обладают РЛС БО с высокой разрешающей способностью — РСА. Отечественная спутниковая океанология в настоящее время такими бортовыми РЛС не располагает.

луострова, полученные с помощью КА «Космос-1500». На рис. 5, а приведено изображение, полученное в видимом диапазоне с помощью сканера МСУ-М, а на рис. 5, б — изображение, полученное с помощью РЛС БО. Белой стрелкой на рис. 5, б показана область сливов, образованных разливом нефтепродуктов. Слик имеет меньшую в сравнении с окружающими участками моря яркость, поскольку шероховатость морской поверхности в слике ниже, чем вне его.

**Мониторинг ледового покрова Азовского моря.** Существенное различие электрофизических и геометрических характеристик морской и ледовой поверхности позволяет уверенно решать задачу обнаружения и распознавания льда на поверхности морских акваторий, оценивать его возраст и сплоченность, обнаруживать трещины, полыни и т. д. Работы в этом направлении целенаправленно проводились специалистами Академии наук Украины (ИРЭ АН УССР) в период работы экспериментальных и эксплуатационных КА «Океан-ОЭ» и «Океан-О1» [17]. В первой части статьи мы детально рассмотрели примеры использования получаемой РЛ-информации при обеспечении транспортных и аварийно-спасательных операций в Арктике и Антарктике. Развивая эту тему, отметим, что в период эксплуатации КА «Січ-1» специалистами ЦРЗЗ НАНУ-НКАУ продолжена (с акцентом на замерзающие моря умеренных широт, в частности Азовское) отработка методики использования данных обзорных РЛС БО для решения региональных задач обеспечения мореплавания в зимних условиях [3]. В меньшем объеме подобные работы выполнялись в этот период и в МГИ НАН Украины. На рис. 6 показана серия РЛ-изображений Азовского моря и прилегающих районов, полученных с помощью РЛС БО КА «Січ-1» в весенний период 1996 г.: первый из них (а) получен 24 февраля 1996 г., второй (б) — 6 марта 1996 г., а третий (в) — 1 апреля 1996 г. Положение кромки льда отмечено на снимках белыми стрелками. Географическая привязка снимков позволяет проследить динамику изменения ледовой обстановки в контролируемом районе, в частности — оценить скорость смещения положения кромки льда. Нетрудно видеть, что за период наблюдения она сместилась в направлении с востока на запад на расстояние около  $1.5^\circ$ . Подобная информация о

состоянии ледового покрова Азовского моря весьма интересна для планирования навигации в его бассейне. Тем более, что в осенне-зимний период регион часто закрыт облачностью, что исключает возможность мониторинга ледового покрова с помощью спутниковых средств оптического и ИК-диапазонов.

**Мониторинг ледового покрова Антарктиды.** Наличие на борту КА бортовых запоминающих устройств позволяет проводить мониторинг морских акваторий, расположенных на значительном удалении от центров приема и обработки спутниковой информации, в частности осуществлять сопровождение промысловых и научных судов, работающих в высоких широтах, проводить мониторинг предполагаемых районов их работы на ранних стадиях планирования и т. д.

Для Украины эта задача особо актуальна в приложении к обеспечению работы полярной Антарктической станции «Академик Вернадский». На рис. 7 приведена композиционная карта района, прилегающего к Антарктическому полуострову. При ее построении использованы три РЛ-изображения района, полученные с помощью РЛС БО КА «Січ-1» в период с июля (А) по октябрь (В) 1996 г. Контуры береговой линии нанесены на карту сплошной черной линией. Белым кружком отмечено положение полярной станции «Академик Вернадский». На июльском РЛ-изображении (А) в зоне  $61-62^\circ$  южной широты и  $54-55^\circ$  западной долготы наблюдаются поверхностные проявления внутренних волн в атмосфере (в виде «корабельных» волн за островами). На октябрьском изображении (В) отчетливо заметна кромка льда (обозначена цифрой 1). Обращает на себя внимание ее изрезанность и наличие в массиве льда крупных каналов, имеющих ширину несколько километров и длину несколько десятков километров. Контроль реального положения кромки льда весьма важен, так как в районе нередки случаи, когда под действием сильных стоковых ветров, достигающих  $30 \text{ м/с}$  и более, кромка льда (битый лед, ледяная каша) может смещаться более чем на 100 км к северу от своего среднеклиматического положения, что представляет собой серьезную навигационную опасность.

Цифрой 2 на рис. 7 отмечены районы формирования молодого льда, имеющего более глад-

Рис. 1. Стационарная океанографическая платформа МГИ НАН Украины

Рис. 2. Самолет-лаборатория АКДЗ-30: *а* — внешний вид самолета-лаборатории, *б* — аэрофотоаппарат и ИК-сканер, *в* — рабочие места управления радиолокационной частью комплекса (слева дальнее), первичной обработки радиолокационной информации (слева ближнее), оперативной бортовой интерпретации информации дистанционного зондирования (справа), *г* — приемо-передающий блок РЛС БО

Рис. 3. Серия РЛ-снимков восточной части Черного моря, полученных с помощью РЛС БО КА «Сич-1» в марте 1996 г. Ветровая струя отмечена стрелкой

Рис. 4. Изображение урагана «Диана», полученное с помощью комплекса ДЗЗ КА «Космос-1500»: *а* — изображение урагана, полученное в видимом диапазоне с помощью сканера МСУ-М 11 сентября 1984 г.; *б* — РЛ-изображение области, охваченной ураганом, полученное 11 сентября 1984 г.; *в* — РЛ-изображение области, охваченной ураганом, полученное 12 сентября 1984 г.

Рис. 5. Изображение Синайского полуострова и Красного моря, полученные с помощью комплекса ДЗЗ КА «Космос-1500»: *а* — оптическое изображение, полученное с помощью сканера МСУ-М; *б* — РЛ-изображение, полученное с помощью РЛС БО. Стрелкой в акватории Красного моря показана область сливов, образованных разливом нефтепродуктов

Рис. 6. Серия РЛ-изображений акватории Азовского моря, полученных с помощью РЛС БО КА «Сич-1» в весенний период 1996 г.: *а* — 24 февраля 1996 г., *б* — 6 марта 1996 г., *в* — 1 апреля 1996 г.

Рис. 7. Композиционная карта района, прилегающего к Антарктическому полуострову: А—В — РЛ-изображения района, полученные с помощью РЛС БО КА «Сич-1»; сплошная линия — контур береговой линии; белый кружок — положение полярной станции «Академик Вернадский»; 1 — кромка льда; 2 — районы формирования молодого льда; 3 — зона повышенной интенсивности волнения; 4 — области материкового льда

Рис. 8. Изображения юга Украины, полученные с помощью РЛС БО КА «Сич-1»: а — 21 июня 1996 г. при сухой погоде, б — 24 июня 1996 г. после прохождения атмосферного фронта (область выпавших осадков отмечена белой стрелкой), в — в 05 ч 50 мин 4 апреля 1996 г.; г — в 17 ч 36 мин. Сплошная белая линия — граница увлажненной и сухой почвы, соответствующая области таяния снега

Рис. 9. Обобщенная структура системы оперативного мониторинга Черного и Азовского морей с усвоением спутниковой информации

кую поверхность и, соответственно, формирующую слабый РЛ-сигнал (его интенсивность даже ниже интенсивности сигнала, формируемого открытыми участками морской поверхности). Цифрой 3 отмечена зона повышенной интенсивности волнения, что так же представляет собой определенную навигационную опасность. Цифрой 4 отмечены области материкового льда.

**Мониторинг поверхности суши.** Зависимость диэлектрической проницаемости почв от степени их увлажненности, и следовательно, зависимость от увлажненности удельной эффективной поверхности рассеяния почв, позволяет с помощью спутниковых РЛ-средств классифицировать их по этому параметру и определять, например, границы областей влажного снега и оценивать интенсивность снеготаяния, оконтуривать области выпавших осадков и т. д.

В период работы КА «Січ-1» ЦРЗЗ НАНУ-НКАУ совместно с подразделениями Гидрометеоцентра Украины отрабатывались методы регионального мониторинга зон свежевыпавших осадков по данным спутниковых РЛ-наблюдений [3]. На рис. 8 в качестве иллюстрации использования возможностей РЛС БО КА «Січ-1» в этой области приведены РЛ-изображения юга Украины, полученные 21.06.96 г. при сухой погоде и 24.06.96 г. после прохождения атмосферного фронта, сопровождавшегося выпадением осадков — рис. 8, а и б соответственно. Область выпавших осадков отмечена на рис. 8, б стрелкой.

Данные, получаемые с помощью обзорных спутниковых РЛС БО, позволяют в весенний период года оценивать скорость снеготаяния на всей территории Украины и прогнозировать возможную интенсивность весеннего паводка. На рис. 8, в и г приведены РЛ-снимки юга Украины, полученные с помощью РЛС БО КА «Січ-1» 4 апреля 1996 г. в 05 ч. 50 мин. (в) и в 17 ч. 36 мин. (г). Граница увлажненной и сухой почвы, соответствующая области таяния снега, показана сплошной белой линией. Нетрудно видеть, что в течение дня граница области переувлажнения переместилась за счет высыхания почвы в направлении на север примерно на 60 км: от линии «Новая Каховка — Мелитополь» к линии «Энергодар — Запорожье». РЛ-контраст между сухой и увлажненной почвой в данном случае был более чем достаточен и составлял 6 дБ.

Одним из показательных примеров является использование РЛ-информации при контроле таяния снега на территории Украины весной 1988 г. В тот год обилие выпавшего снега создавало угрозу интенсивного весеннего паводка. Для сохранности гидротехнических сооружений на реках Украины в этих условиях предлагалось заранее спустить воду из водохранилищ. В восточных регионах Украины это решение было выполнено, а вот спуск водохранилищ Днепровского каскада (Киевского моря, в частности) мог привести к радиоактивному заражению всего бассейна Днепра вплоть до Черного моря. Организованный с помощью КА «Космос-1766» оперативный РЛ-мониторинг показал, что скорость таяния снегов значительно ниже прогнозируемой. Это позволило отказаться от сброса вод из водохранилищ Днепровского каскада. Полученный опыт мониторинга снеготаяния был использован в 1996, 1998 и 2000 гг.

#### СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА МОРСКИХ АКВАТОРИЙ С УСВОЕНИЕМ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

На современном этапе развития спутниковой океанологии МГИ НАН Украины интенсифицировал работы в направлении создания и реализации современной концепции спутникового мониторинга Черного и Азовского морей, морей восточного Средиземноморья и других районов Мирового океана [1, 11, 12–15]. Концепция основана на идее усвоения данных ДЗЗ в численных моделях циркуляции морей и океанов. Активное включение моделей в систему дистанционного мониторинга океана позволяет не только восполнить имеющиеся недостатки спутниковых измерений — спутниковые данные характеризуют в основном состояние поверхностного слоя моря, а получаемая при этом информация разнородна, разнесена во времени и имеет различное пространственное и временное разрешение, — но и дает возможность прогнозировать изменение состояния морской среды.

Одним из основополагающих моментов концепции является возможность использования данных ДЗЗ для задания граничных условий на поверхности моря, которые необходимы для численного интегрирования уравнений морской ди-

намики. В частности, по информации радиометров ИК-диапазона и СВЧ-скаттерометров формулируются граничные условия на поверхности моря при интегрировании уравнений баланса тепла и импульса. Сложнее складывается ситуация с заданием граничных условий при интегрировании уравнений баланса соли, поскольку пока еще нет возможности получения необходимой для этого спутниковой информации.

При интегрировании уравнений термогидродинамики океана спутниковые измерения позволяют задавать не только граничные, но и начальные условия. Наиболее эффективными с этой точки зрения являются современные альтиметры, позволяющие с высокой точностью контролировать изменения топографии морской поверхности, характеризующие собой изменчивость морских течений вплоть до синоптических масштабов.

К сожалению, на отечественных океанографических КА альтиметры до настоящего времени не устанавливаются. Поэтому приходится ориентироваться на использование альтиметрических данных, получаемых с помощью зарубежных КА (океанографических, природоресурсных, геодезических и т. д.).

Методики интерпретации спутниковой информации в настоящее время далеки от своего совершенства, поэтому важной частью работ по созданию системы мониторинга морских акваторий является проведение теоретических и экспериментальных работ, направленных как на уточнение физических механизмов и закономерностей формирования морской поверхностью информационного сигнала в используемых при ДЗЗ участках спектра электромагнитных волн — видимом, ИК- и СВЧ-, так и на сопоставление результатов спутниковых измерений и модельных расчетов с данными прямых измерений физических параметров морской среды, что в конечном итоге необходимо для оценки качества и точности работы всей системы спутникового мониторинга. С целью верификации методик определения параметров полей, характеризующих состояние морской среды, таких как поля температуры поверхности моря, цвета морской воды, шероховатости морской поверхности и степени ее загрязненности поверхностно-активными веществами, осуществляются контрольно-калибровочные работы с использованием стаци-

онарной океанографической платформы института (п. Кацивели).

В последние годы в МГИ НАН Украины создана и развивается система мониторинга циркуляции Черного моря, действующая в режиме времени, близком к реальному. Система функционирует на основе усвоения данных альтиметров, установленных на КА TOPEX/POSEIDON и ERS, GFO, Jason, ENVISAT, скаттерометра QUICKSCAT, данных о поле температуры поверхности моря, получаемых с помощью сканера AVHRR KA NOAA, и информации о характеристиках верхнего слоя моря, получаемой с помощью дрейфующих буев. Система обеспечивает возможность диагноза и прогноза эволюции полей температуры поверхности моря, полей течений и профилей температуры и солености в верхнем слое моря. Ее обобщенная структурная схема показана на рис. 9.

В 2005 г. работы в области развития современных методов и средств мониторинга морских акваторий отмечены Государственной премией Украины в области науки и техники. Детально с последними достижениями МГИ НАН Украины в области спутниковой океанологии и мониторинга морских акваторий можно ознакомиться, например, в работах [5, 10, 18, 19, 23, 24].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье кратко рассмотрены вопросы обеспечения достоверности информации, получаемой с помощью средств ДЗЗ океанографической космической наблюдательной системы «Океан» — «Січ», и приведены примеры практического использования спутниковой, в основном радиолокационной информации. Они показывают, что спектр природоресурсных, природоохранных и других задач, при решении которых возможно использование РЛ-информации, достаточно широк. При этом, разумеется, речь не идет о противопоставлении традиционных (контактных) и неконтактных (дистанционных) методов и способов получения информации. Речь идет об их разумном сочетании, когда один вид информации естественным образом уточняет и дополняет другой.

Безусловно, есть такие области, где методы и средства ДЗЗ имеют неоспоримые преимущества

перед традиционными. Но есть и области, где неоспоримо преимущество традиционных методов и средств получения информации. Однако их детальное сопоставление выходит за рамки статьи. За рамки статьи выходит и анализ современных достижений в области изучения особенностей структуры взволнованной морской поверхности и процессов генерации и диссипации высокочастотных поверхностных морских волн (ряби) в различных гидрометеорологических условиях, что важно с точки зрения адекватной интерпретации результатов РЛ-наблюдения морской поверхности.

Поскольку статья посвящена вопросам создания и эксплуатации оперативной океанографической космической наблюдательной системы «Океан» — «Січ», мы сознательно не рассматривали океанографические информационные возможности РЛ-систем бокового обзора с синтезированием апертуры приемной антенны, обеспечивающих достижение высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, не рассматривали интерферометрические и алтиметрические РЛ-системы, с помощью которых также возможно получение весьма интересной и важной информации о Мировом океане.

1. Дымников В. П., Коротаев Г. К., Галин В. Я. Требования к составу и к точности спутниковой информации в исследованиях по программе «Разрезы» // Итоги науки и техники. Сер. Атмосфера, океан, космос — программа «Разрезы». — М.: Изд-во ВИНИТИ, 1984.—34 с.
2. Еремеев В. Н., Мотыжев С. В. Дрифтерный мониторинг морей и океанов // Развитие морских наук технологий в Морском гидрофизическом институте за 75 лет / Под общ. ред. акад. НАН Украины В. Н. Еремеева. — Севастополь, НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2004.—С. 544—584.
3. Ефимов В. Б., Комяк В. А., Курекин А. С. и др. Применение радиолокации Земли из космоса в гидрометорологии // Космічна наука і технологія.—2000.—6, № 5/6.—С. 16—28.
4. Исследование Земли из космоса. — М.: Наука, 1985.—№ 3.—128 с.
5. Коротаев Г. К., Малиновский В. В., Мотыжев С. В. и др. Компоненты спутникового мониторинга Черного моря (вклад Украины в Black Sea GOOS). — Севастополь, 2001.—116 с.—(Препринт / НАН Украины; МГИ).
6. Коротаев Г. К., Пустовойтенко В. В., Радайкина Л. Н. и др. Дистанционное зондирование морей и океанов. Развитие работ в области спутниковой океанологии // Развитие морских наук технологий в Морском гидрофизическому институте за 75 лет / Под общ. ред. акад.
- НАН Украины В. Н. Еремеева. — Севастополь, НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2004.—С. 585—625.
7. Коротаев Г. К., Пустовойтенко В. В., Терехин Ю. В. и др. Тридцать лет отечественной спутниковой океанологии. 1. Космическая система «Океан»—«Січ» // Космічна наука і технологія.—2007.—13, № 5.—С. 28—43.
8. Космические аппараты «Океан-01» // Информ. бюл. пресс-центра космодрома «Плесецк».—1994.—№ 36.—11 октября. <http://www.plesetsk.ru/index.php?p=inf036&d=doc/inf>
9. Кулешов С. В., Пуховой А. П. Развитие береговых вычислительных центров // Развитие морских наук технологий в Морском гидрофизическом институте за 75 лет / Под общ. ред. акад. НАН Украины В. Н. Еремеева. — Севастополь, НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2004.—С. 664.
10. Мотыжев С. В., Еремеев В. Н., Лунев Е. Г. и др. Особенности дрифтерного мониторинга Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.—2004.—№ 11.—С. 122—131.
11. Нелепо Б. А. Спутниковый мониторинг климата океана // Метеорология и гидрология.—1984.—№ 8.—С. 34—41.
12. Нелепо Б. А., Коротаев Г. К. Спутниковый мониторинг климата океана // Комплексный глобальный мониторинг Мирового океана. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985.—С. 163—171.
13. Нелепо Б. А., Коротаев Г. К., Мановицкий В. Н. Создание системы диагноза и прогноза состояния океана как актуальная проблема автоматизации океанологических исследований // Морской гидрофиз. журн.—1985.—№ 3.—С. 44—49.
14. Нелепо Б. А., Коротаев Г. К., Суэтин В. С. и др. Исследование океана из космоса. — Киев: Наук. думка, 1985.—168 с.
15. Нелепо Б. А., Терехин Ю. В., Косярев В. К. и др. Спутниковая гидрофизика. — М.: Наука, 1983.—253 с.
16. Призваны временем. — Днепропетровск: Арт-Пресс, 2004.—Т 2: Ракеты и космические аппараты КБ «Южное» / Под общ. ред. С. Н. Конюкова.—232 с. <http://epizodsspace.testpilot.ru/bibl/kb-ujn/obl.html>
17. Радиолокация поверхности Земли из космоса (Исследование морской поверхности, ледяного и ледового покровов с помощью спутниковой радиолокационной станции бокового обзора) / Под ред. Л. М. Митника и С. В. Викторова. — Л.: Гидрометеоиздат, 1990.—200 с.
18. Развитие морских наук и технологий в Морском гидрофизическом институте за 75 лет / Под. общ. ред. В. Н. Еремеева. — Севастополь: МГИ НАН Украины, 2004.—704 с.
19. Суэтин В. С., Королев С. Н., Суслин В. В. и др. Проявление особенностей оптических свойств атмосферного аэрозоля над Черным морем при интерпретации данных спутникового прибора SeaWiFS // Морской гидрофиз. журн.—2004.—№ 1.—С. 69—79.
20. Терехин Ю. В. Опыт анализа наблюдений на черноморском контрольно-калибровочном полигоне в связи с интерпретацией данных ИСЗ «Космос-1500» // Исслед. Земли из космоса.—1985.—№ 4.—С. 116—123.
21. Цимбал В. М., Лялько В. І., Курекін О. С. та ін.

- Авіаційний комплекс АКДЗ-30 дистанційного зондування природного середовища // Космічна наука і технологія.—2002.—8, № 2/3.—С. 36—40.
22. Уткин В. Ф., Шестопалов В. П., Калмыков А. И. и др. Возможности определения параметров тропических циклонов по радиолокационным изображениям из космоса // ДАН СССР.—1986.—№ 2.—С. 331—333.
23. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2004.—Вып. 11.—268 с.—(НАН Украины, МГИ, ИГН, ОФ ИнБЮМ; Редкол.: В. А. Иванов — гл. ред.).
24. Kudryavtsev V., Hauser D., Caudal G., et al. A semi-empirical model of the normalized radar cross-section of the sea surface. 1. Background model // J. Geophys. Res.—2003.—108 C, N 3.—P. 8054.—(doi:10.1029/2001JC001003).
24. The Saffir-Simpson Hurricane Scale <http://www.nhc.noaa.gov/aboutsshs.shtml>

**THIRTY YEARS OF DOMESTIC SPACE OCEANOLOGY.****2. PRACTICAL ASPECTS OF THE APPLICATION  
OF SATELLITE INFORMATION**

*G. K. Korotayev, V. V. Pustovoytenko, Yu. V. Terekhin,  
V. I. Dranovsky, S. S. Kavelin, Yu. D. Saltykov,  
O. L. Yemelyanov, V. N. Tsymbal, V. B. Yefimov,  
A. S. Kurekin, V. A. Komyak, A. P. Pichugin*

Domestic satellite oceanology was developed about 30 years ago. In 1976—1977 the decisions on the creation of the experimental oceanographic spacecraft «Ocean-E» and the development of the state space system for researching the Earth environment «Resurs» and its subsystem «Ocean» were adopted. This paper considers some problems of space oceanographic system «Ocean—Sich» functioning and the main directions of practical application of the derived information in performing fundamental and applied tasks in the field of oceanology, ecology, hydro-meteorology, etc.

УДК 550.388, 520.16+523.31+523.9:520.86

Е. И. Григоренко<sup>1</sup>, В. Н. Лысенко<sup>1</sup>, В. И. Таран<sup>1</sup>, Л. Ф. Черногор<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут іоносфери НАН і МОН України, Харків

<sup>2</sup>Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

## Анализ и классификация ионосферных бурь в средних широтах Европы. 1

*Надійшла до редакції 15.11.05. Після переробки 26.01.06*

Наведено результати порівняльного аналізу іоносферно-термосферних ефектів двох найсильніших геокосмічних бур, які відрізняються інтенсивністю та характером протікання. Виявлено особливості цих бур, які можна використати для класифікації бур. Спостереження іоносферних збурень виконано за допомогою радара некогерентного розсіяння у Харкові.

### ВВЕДЕНИЕ

Ионосферные бури в конечном итоге вызываются нестационарными процессами на Солнце, к которым относятся солнечные бури, солнечные вспышки, выбросы корональной массы (coronal mass ejection, или SME) и магнитных облаков (плазмоидов), усиление динамического давления солнечного ветра, изменение конфигурации межпланетного магнитного поля (ММП) и др. Эти возмущения, охватывая систему Солнце — межпланетная среда — геокосмос — атмосфера — Земля\*, изменяют процессы во всех составляющих этой системы. На Земле возмущения вызывают сбои в работе мощных энергетических систем, систем навигации и дальней радиосвязи, влияют на погоду, здоровье людей и состояние биосферы. Исследованиям проявлений геокосмических бурь посвящено большое количество работ [2, 6—9, 12, 17—19, 22, 23, 26—30, 32—36, 39 и др.]. Накопленный материал свидетельствует о многообразии и сложном взаимодействии процессов, формирующих бури. Это делает каждую бурю уникальной и затрудняет прогнозирование возмущений в ионосфере. Особенность ионосферных бурь состоит в их глобальности.

Они охватывают всю ионосферу от высоких широт до экватора. Однако характер их протекания зависит от многих геофизических факторов, в том числе от времени суток и от местоположения пункта наблюдения. Анализ каждой бури дает ценную информацию для дальнейшего исследования и моделирования физических процессов в системе Солнце — Земля, а также для прогнозирования реакции ионосферы конкретного региона на возмущения на Солнце и состояние космической погоды.

Целью данной работы является исследование общих закономерностей и особенностей развития ионосферных возмущений в средних широтах восточноевропейского региона на базе наблюдений пяти геокосмических бурь, отличающихся интенсивностью и характером протекания. Результатом анализа стала предложенная классификация ионосферных возмущений.

В первой части работы рассмотрены эффекты двух геокосмических бурь, сопровождавшихся сильнейшими магнитными бурами и ионосферными возмущениями.

Наблюдения космической погоды с помощью радара некогерентного рассеяния (НР) в Харькове проводятся на протяжении трех циклов

\* Подразумеваются внутренние оболочки планеты. Внешние оболочки, являющиеся предметом исследования, вычленены отдельно.

солнечной активности [5, 10]. Известно, что радиус корреляции крупномасштабных ионосферных возмущений достигает 1000 км. Поэтому измерения возле г. Харькова (который находится в центре Европы) фактически можно распространить на всю среднеширотную Европу.

#### КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Геокосмическая буря представляет собой совокупность геомагнитной, ионосферной, атмосферной и электрической бурь [13–16]. Разумеется, речь идет прежде всего о бурях в верхней атмосфере.

Как известно, магнитной бурей (МБ) называют возмущения в магнитной оболочке Земли, которые сопровождаются быстрыми и сильными изменениями вектора индукции геомагнитного поля. Для количественной оценки уровня геомагнитной активности часто используются индексы  $K$ ,  $K_p$ ,  $A_p$  и  $D_{st}$ . Первый изменяется от 0 до 9 и пропорционален логарифму амплитуды флюктуаций магнитного поля, измеряемой в 10 среднеширотных обсерваториях за 3-часовой интервал времени. Обычно используют обще-планетарный  $K_p$ -индекс, полученный усреднением индексов  $K$ . Индекс  $A_p$  представляет собой суточную сумму 3-часовых индексов  $a_p$ . Индексы  $a$  и  $a_p$  получают переводом по специальным таблицам индексов  $K$  и  $K_p$  обратно в эквивалентные им амплитуды колебаний магнитного поля.

Индекс  $D_{st}$  характеризует возмущения геомагнитного поля на поверхности Земли, связанные с симметричным кольцевым током. Увеличение интенсивности этого тока вызывает уменьшение северной составляющей геомагнитного поля, наблюдавшееся во время главной фазы магнитной бури. Индекс  $D_{st}$  определяют с помощью магнитометрических станций, расположенных вблизи экватора. В высоких широтах для описания возмущения используется индекс  $AE$ , который характеризует интенсивность авроральной электроструи.

Магнитные бури сопровождаются рядом эффектов: усилением магнитосферно-ионосферных электрических полей, увеличением скорости конвекции, развитием кольцевого тока, сбросом энергичных частиц из магнитосферы и др. Эти эффекты вызывают цепь ионосферно-атмосферных возмущений, а также воздействуют на технологические системы и самочувствие людей. Классификация МБ проводится по их интенсивности, характеру и значениям относительных возмущений параметров среды. В табл. 1 приведена классификация МБ по уровню геомагнитной активности и значениям энергетических параметров, предложенная в работе [13, 15]. Магнитным бурям соответствуют значения  $K_p \geq 3$ . Индексы  $K_p < 2$  соответствуют магнитным возмущениям.

В табл. 2 дана характеристика МБ по классификации NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) Space Weather Scales [<http://www.sec.noaa.gov>]. Она введена с целью

Таблица 1. Примерные характеристики магнитных возмущений и магнитных бурь по классификации Л. Ф. Черногора [13]

$K_p$	$\Delta B$ , нТл	$\Delta t$ , ч	$\Delta E_M$ , $10^{14}$ Дж	$P_M$ , $10^{10}$ Вт	Качественная характеристика
0	2.5	1.0	1.3	3.7	крайне слабое возмущение
1	5	1.4	2.7	5.4	сверхслабое возмущение
2	10	1.6	5.3	9.3	очень слабое возмущение
3	20	1.8	11	16	слабая буря
4	40	2.0	21	30	весыма умеренная буря
5	70	2.5	34	38	умеренная буря
6	120	3.0	64	59	сильная буря
7	200	4.0	110	74	очень сильная буря
8	330	5.0	180	97	сверхсильная буря
9	500	6.0	270	130	крайне сильная буря

Примечание:  $\Delta B$  — возмущение индукции магнитного поля,  $\Delta t$  — средняя продолжительность главной фазы МБ,  $\Delta E_M$  — возмущение энергии геомагнитного поля,  $P_M$  — средняя мощность МБ. МБ соответствуют  $K_p \geq 3$ .

Таблица 2. Характеристики магнитной бури по классификации NOAA Space Weather Scales

Тип МБ	Название МБ	Эффекты МБ (краткое описание воздействия МБ на системы жизнеобеспечения людей)	$K_p$	Количество МБ в цикле СА (их продолжительность)
G5	Крайне сильная (Extreme)	Выход из строя линий электропередач, нарушения траектории КА, сбои в работе систем радиосвязи, спутниковой навигации, смещение экваториальной границы полярного сияния до геомагнитной широты $\Phi = 40^\circ$	9	4 (4 сут)
G4	Очень сильная (Severe)	Выход из строя систем контроля и защиты энергетических сетей, нарушение траектории и ориентации КА, сбои в работе систем радиосвязи, спутниковой навигации, смещение экваториальной границы полярного сияния до $\Phi = 45^\circ$	8, включая 9—	100 (60 сут)
G3	Сильная (Strong)	Нарушения в работе устройств защиты и сигнализации энергетических систем, дополнительное торможение низкоорбитальных КА, сбои в работе систем радиосвязи и навигации, вероятность наблюдения полярного сияния до $\Phi = 50^\circ$	7	200 (130 сут)
G2	Умеренная (Moderate)	Сбои в работе высоколатитных энергетических систем, необходимость коррекции орбиты КА из-за дополнительного торможения, замыкания ВЧ радиосигналов в высоких широтах, вероятность наблюдения полярного сияния до $\Phi = 55^\circ$	6	600 (360 сут)
G1	Слабая (Minor)	Небольшие нарушения в работе электрических сетей, слабые воздействия на системы КА, воздействие МБ этого уровня и более высоких уровней на поведение мигрирующих животных, вероятность наблюдения полярного сияния в высоких широтах.	5	1700 (900 сут)

оповещения общественности о состоянии космической погоды и ее воздействии на людей и технологические системы. Каждому типу МБ присваивается уровень, аналогично ураганам, торнадо, землетрясениям. Рассматриваются воздействия МБ на энергетические системы, космические аппараты (КА) и другие системы. В классификации также указывается, как часто случаются МБ в 11-летнем цикле солнечной активности (СА).

#### ХАРАКТЕРНЫЕ ИОНОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ НАД ХАРЬКОВОМ

Ионосферной бурей (ИБ) традиционно принято называть значительное отклонение критических частот слоя  $F2$  от медианных значений в течение продолжительного времени (от полусуток до 2-3 сут), которое часто сопровождает магнитную бурю. В зависимости от знака отклонений ионосферные бури могут быть положительными или отрицательными. Буре сопутствуют часто существенные и достаточно быстрые, а иногда и резкие изменения атмосферного, ионосферного и магнитосферного электрических полей. Совокупность этих изменений именуют электриче-

ской бурей [13, 14]. Известно, что ионосферные и термосферные эффекты геокосмических бурь тесно связаны между собой [18].

Дадим краткое описание ионосферных и термосферных возмущений, сопровождавших две крайне сильные геомагнитные бури различного характера; одна из бурь началась в ночное время, вторая — в дневное время. Названия бурь соответствуют классификации [13] и табл. 1.

**Крайне сильная магнитная буря 25 сентября 1998 г.** Магнитная буря последовала за интенсивной вспышкой на Солнце класса M6/3B, которая произошла 23 сентября в 06:44—10:09 UT. Буря началась 24 сентября в 23:00 UT, при этом на спутнике ACE был зарегистрирован приход межпланетной ударной волны, за которым последовал поворот составляющей  $B_z$  межпланетного магнитного поля к югу с максимальным отклонением  $-27$  нТл в 23:33 UT. Результатом этих событий стала МБ с индексами  $D_{st\min} \approx -210$  нТл в 10:00,  $A_p = 121$ ,  $K_{p\max} = 8+$ . Измерения проводились с 13:00 21 сентября до 13:00 25 сентября. Первые трое суток относились к спокойным, а 24 и 25 сентября — соответственно к слабо и сильно возмущенным. В последний день наблюдений имела

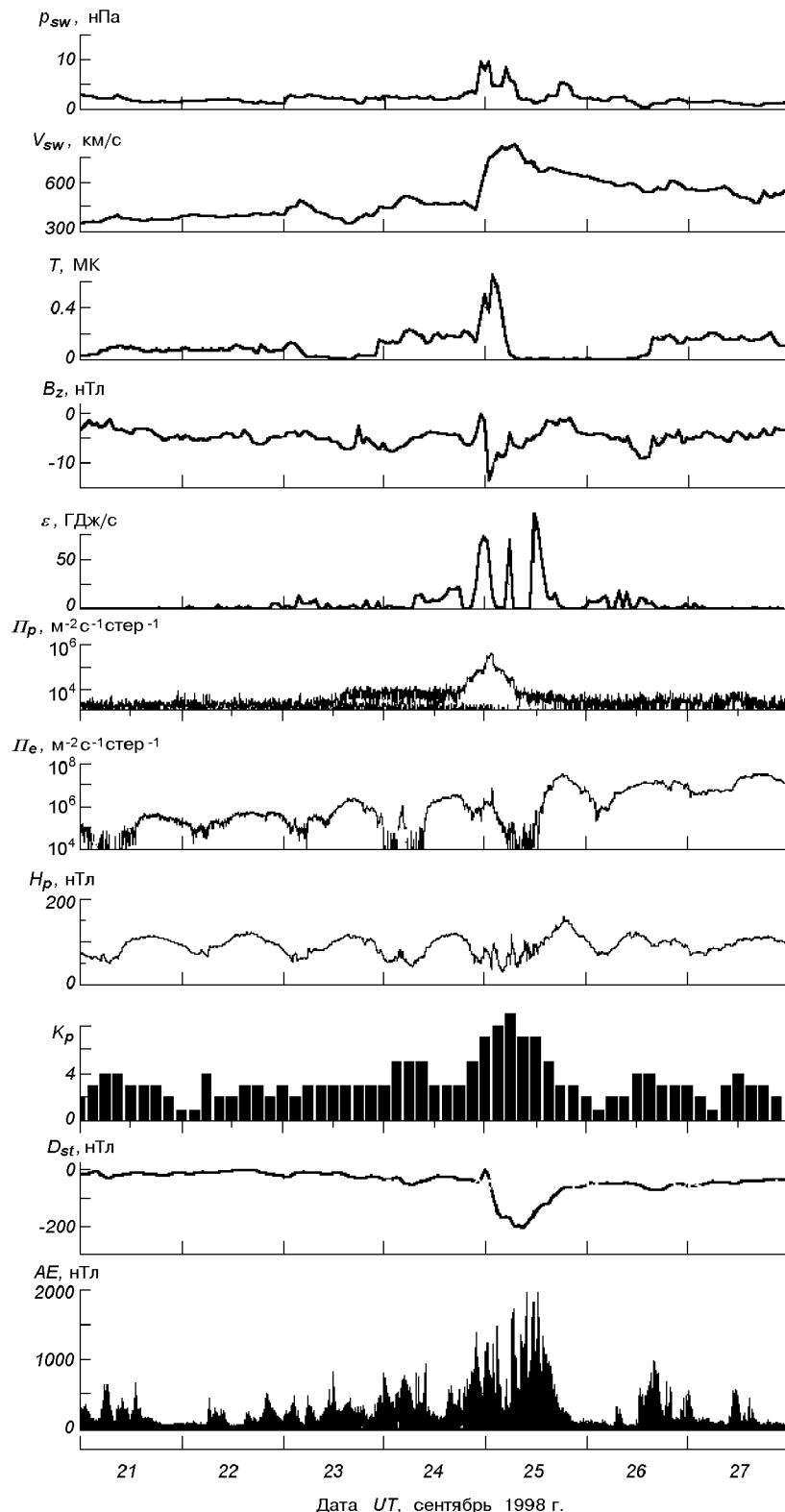


Рис. 1. Параметры солнечного ветра 21—27 сентября 1998 г.: динамическое давление  $p_{sw}$ , радиальная скорость  $V_{sw}$ , температура  $T$  (ACE Satellite — Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor),  $B_z$ -составляющая ММП (ACE Satellite — Magnetometer), рассчитанные значения энергии  $\varepsilon$ , передаваемой солнечным ветром в магнитосферу Земли в единицу времени, плотность потоков протонов (ИСЗ GOES-8 (W75)) и электронов (ИСЗ GOES-8),  $H_p$ -составляющая геомагнитного поля (ИСЗ GOES-8), индексы  $K_p$  (USAF 55th Space Weather Squadron),  $D_{st}$  (WDC-C2 for Geomagnetism, Kyoto University) и  $AE$  (WDC Kyoto)

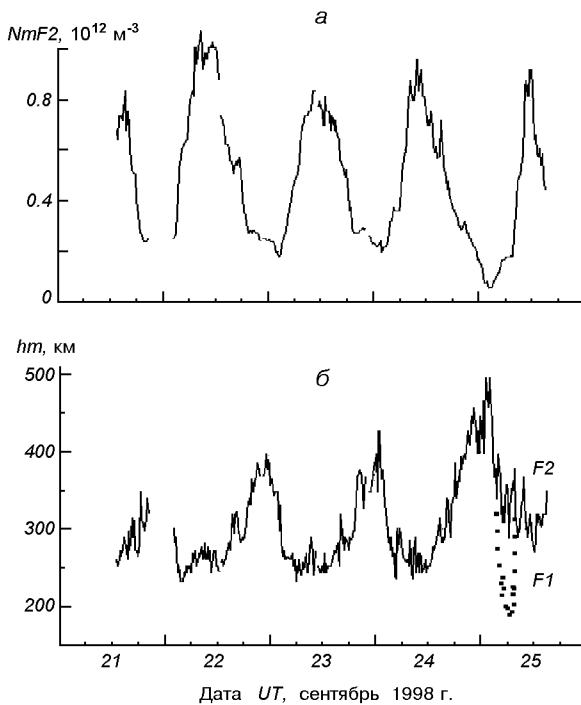


Рис. 2. Временные вариации электронной концентрации  $NmF2$  в максимуме слоя  $F2$  (а) и высоты максимума электронной концентрации  $hm$  (б) над радаром НР в Харькове 21–25 сентября 1998 г., начиная от полночи 21 сентября (высота  $hm$  менее чем 200 км приписывается слою  $F1$ ).  $LT \approx UT + 03^h 25^m$

место интенсивная ионосферная буря. Параметры, характеризующие состояние космической погоды, приведены на рис. 1. Результаты исследования этой бури подробно описаны в [4, 5, 10, 11, 20, 21, 28, 29]. Здесь мы остановимся кратко на основных результатах и их интерпретации.

Сильнейшая отрицательная ИБ началась вскоре после местной полуночи 25 сентября и продолжалась по крайней мере до конца измерений. В это время значения  $K_p \geq 7$ . Буря сопровождалась уменьшением электронной концентрации  $NmF2$  в максимуме области  $F2$  в 3–3.5 раза во время главной фазы бури по сравнению с контрольным днем, для которого взяты усредненные данные за предшествующие слабо возмущенные сутки 21–23 сентября. Высота максимума  $hmF2$  слоя  $F2$  увеличилась примерно на 100 км ночью и на 50 км вблизи полуночи

(рис. 2). Утром во время главной фазы магнитной бури основной максимум электронной концентрации  $N_e$  опустился в область  $F1$  (ниже 200 км).

Для исследования особенностей ИБ рассмотрим высотные профили  $N_e$  в последовательные моменты времени (через 15 мин) во время главной фазы МБ (рис. 3). В интервале времени 04:30–08:30 UT наблюдалась деформация профилей  $N_e(h)$ : уменьшение концентрации электронов в максимуме слоя  $F2$ , увеличение высоты максимума, изменение формы профилей. Такие эффекты могли свидетельствовать о перестройке глобальной термосферной циркуляции и состава термосферы. Перестройка связана с высокоширотным нагревом термосферы во время МБ за счет высыпания энергичных частиц и усиления магнитосферных электрических полей [7, 9]. Последние события нарастают при увеличении инжектируемой в магнитосферу энергии  $\varepsilon$  солнечного ветра ( $\varepsilon$  — энергетическая функция Акасофу). Изменения термосферного ветра и нейтрального состава могут передаваться в средние широты также посредством перемещающихся атмосферных возмущений (ПАВ), генерируемых суббурами в авроральных широтах [7, 18, 34–36]. Такие суббури с максимальными значениями индекса  $AE = 1000$ –1500 нТл были зарегистрированы в рассматриваемый период времени. В процессе деформации слоя  $F2$  концентрация  $N_e$  в слое  $F1$  изменялась мало, в результате отношение  $NmF2/NmF1$  в течение 06:30–07:30 UT стало меньше единицы. Наступило так называемое условие  $G$ , когда на ионограммах слой  $F2$  экранировался слоем  $F1$  ( $f_0F2 \leq f_0F1$ ). Подобный эффект описан в работах [17, 26].

Развитие глубокой депрессии  $N_e$  в области  $F2$  ионосферы и разрушение слоя  $F2$  (условие  $G$ ), как показали расчеты по модели MSIS-86 [5], лишь частично могут быть объяснены за счет изменения нейтрального состава. Так, например, на высоте 300 км днем около 07:30 UT отношение концентраций  $p = N(O)/(N(N_2) + N(O_2))$  легких и молекулярных компонентов нейтральной атмосферы уменьшилось в 1.4 раза, тогда как  $N_e$  уменьшилось в три раза. Отсюда вытекает необходимость привлечения дополнительных факторов для объяснения депрессии  $N_e$ .

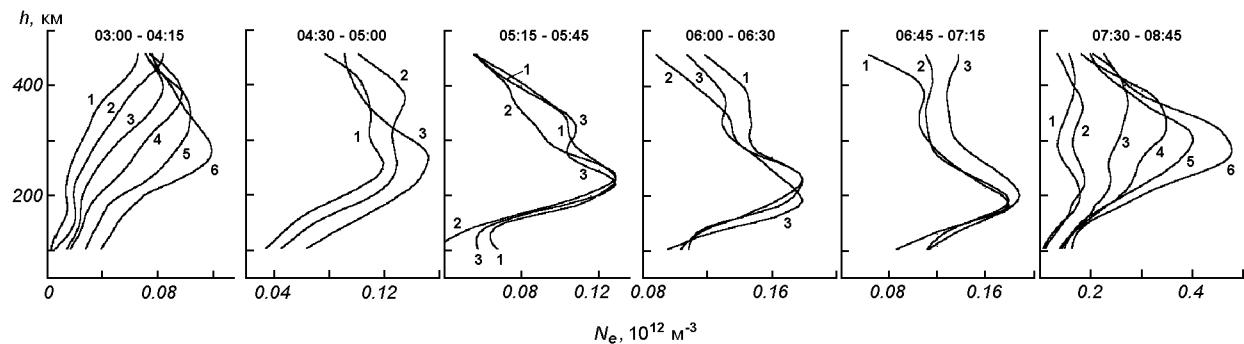


Рис. 3. Высотные профили электронной концентрации  $N_e$  в возмущенные сутки 25 сентября 1998 г. в последовательные моменты времени UT

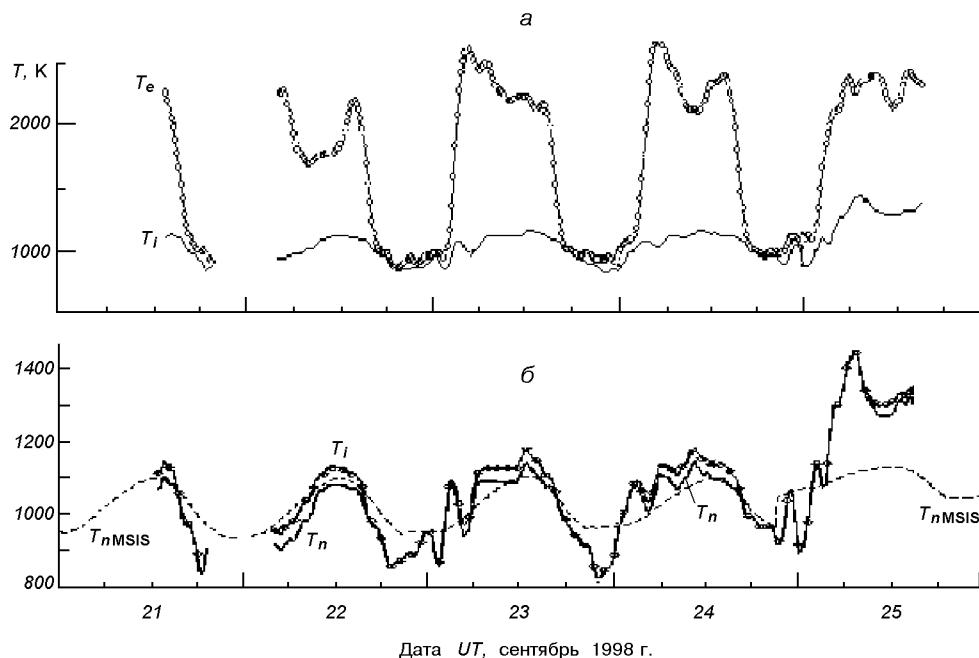


Рис. 4. Измеренные температуры электронов  $T_e$ , ионов  $T_i$  (а), а также рассчитанные температуры нейтралов  $T_n$  из данных радара HP и  $T_{nMSIS}$  из модели MSIS-86 на высоте 300 км (б)

Среди них корректировка состава термосферы, определяемого из модели MSIS-86, применительно к условиям магнитных возмущений и учет возможного вклада в увеличение скорости потерь ионов  $O^+$  таких факторов, как нагрев атмосферы, усиление электрических полей, возбуждение колебательных уровней молекул  $N_2$  (ν) и  $O_2$  (ν) [17, 26, 27, 30—32, 36, 39].

Как известно, характер магнитных бурь определяется сложным взаимодействием комплекса процессов в геокосмосе. Поэтому следует ожи-

дать, что наблюдаемые особенности поведения возмущенной ионосферы являются результатом наложения эффектов от различных источников возмущения, вклад которых в процессе развития бури изменяется. Одним из таких источников, наряду с перечисленными выше, могло быть смещение главного ионосферного провала (ГИП) к экватору за счет усиления электрического поля магнитосферной конвекции во время главной фазы магнитной бури. Смещение ГИП подтверждает анализ карт глобального распреде-

ления полного электронного содержания (TEC) по данным навигационной системы GPS [2]. Из них следует, что 25 сентября в течение главной фазы бури низкоширотная стенка провала в европейском регионе достигала географической широты  $\varphi = 40\text{--}50^\circ$ , и радар в Харькове оказывался внутри провала (в ночном и утреннем секторах).

Временные вариации температур электронов  $T_e$  и ионов  $T_i$  показаны на рис. 4. В спокойных условиях температура электронов  $T_e$  в средних широтах определяется балансом между нагревом фотоэлектронами, теплопроводностью вдоль магнитных силовых линий, и охлаждением в процессе столкновений с ионами и нейтралами. После начала магнитной бури было зарегистрировано увеличение температуры  $T_e$  по сравнению со спокойным днем 23 сентября, которое нарастало с высотой и составило  $\Delta T_e \approx 700$  К около 02:00 UT на высоте 500 км [5]. Увеличение  $T_e$  могло быть связано с джоулевым нагревом за счет проникновения магнитосферных электрических полей в средние широты (см. далее) и высыпания энергичных частиц, а также с уменьшением скорости охлаждения при очень низкой электронной концентрации в утренние часы [17]. Смещение к экватору зоны высыпаний косвенно подтверждается максимальными значениями индекса POES Auroral Activity Level, равными 10, которые были зарегистрированы 25 сентября на спутниках NOAA POES-12, POES-14 и POES-15 в течение 00:15–12:55 UT [[http://www.sec.noaa.gov/ftpdir/lists/hpi/power\\_1998.txt](http://www.sec.noaa.gov/ftpdir/lists/hpi/power_1998.txt)]. Статистическая картина, изображающая авроральный овал, присваивается индексу Activity Level, который определяется из мощности потока заряженных частиц, зарегистрированного во время прохождения полярного спутника. Значение 10 этого параметра могло свидетельствовать о смещении экваториальной границы овала до геомагнитных широт  $\Phi \approx 45\text{--}51^\circ$  [<http://www.sec.noaa.gov/Aurora/index.html>]. Таким образом, харьковский радар ( $\Phi = 45.7^\circ$ ), который во время бури находился вблизи местной полуночи, мог оказаться внутри ГИП и даже внутри аврорального овала.

Особенностью поведения  $T_e$  явилось ее уменьшение после восхода Солнца (для радара в Харькове время восхода примерно 03:25 UT на поверхности Земли), которое составило пример-

но  $\Delta T_e \approx 500$  К около 06:00 UT на высоте 250 км и уменьшалось с ростом высоты. Оно могло быть вызвано несколькими факторами, в том числе уменьшением потока высыпающихся энергичных частиц (см. рис. 1), увеличением скорости охлаждения электронного газа за счет начавшегося утреннего увеличения  $N_e$  (см. рис. 2) и др.

Во время бури увеличение температуры ионов  $T_i$  (примерно на 300 К около 06:00 UT на высоте 300 км по сравнению со спокойным днем 23 сентября) вплоть до конца измерений (см. рис. 4) могло быть связано с джоулевым и фрикционным нагревом за счет усиления ионосферных токов [17, 36].

Увеличение температуры нейтрального газа  $T_n$ , рассчитанной из данных НР путем решения уравнения теплового баланса [37, 38] с привлечением термосферной модели MSIS-86 [25], составило на высоте 300 км во время МБ в среднем 200 К [5]. Нагрев нейтралов может быть связан как с нелокальным источником тепла, переносимого из области высокоширотного нагрева термосферы [6, 9, 26], так и с локальным нагревом за счет проникновения магнитосферных электрических полей и высыпания энергичных частиц [26]. По-видимому, оба эффекта могли иметь место в ионосфере над Харьковом во время главной фазы бури. При этом [5] нелокальный нагрев имел преобладающее значение, поскольку возмущения  $T_n$  распространялись сверху вниз со скоростью около 50 м/с (запаздывание в интервале высот 400–250 км составляло примерно 50 мин), что могло соответствовать вертикальной составляющей скорости ВГВ, связанных с ПАВ. Некоторый вклад в увеличение  $T_n$  мог вносить также фрикционный нагрев при дрейфе ионов через нейтральный газ во время усиления электрического поля над радаром [17]. Следует отметить также, что модель MSIS-86 для магнитовозмущенных условий дает заниженные значения  $T_n$  (примерно на 320 К на высоте 300 км) по сравнению с расчетными величинами и требует их корректировки. Такое несоответствие (относительно модели MSIS-86) отмечалось и ранее [17, 27, 36].

Рассмотренные выше механизмы ионосферного возмущения можно привлечь для объяснения наблюдавшегося обращения скорости переноса плазмы и потока плазмы в течение главной

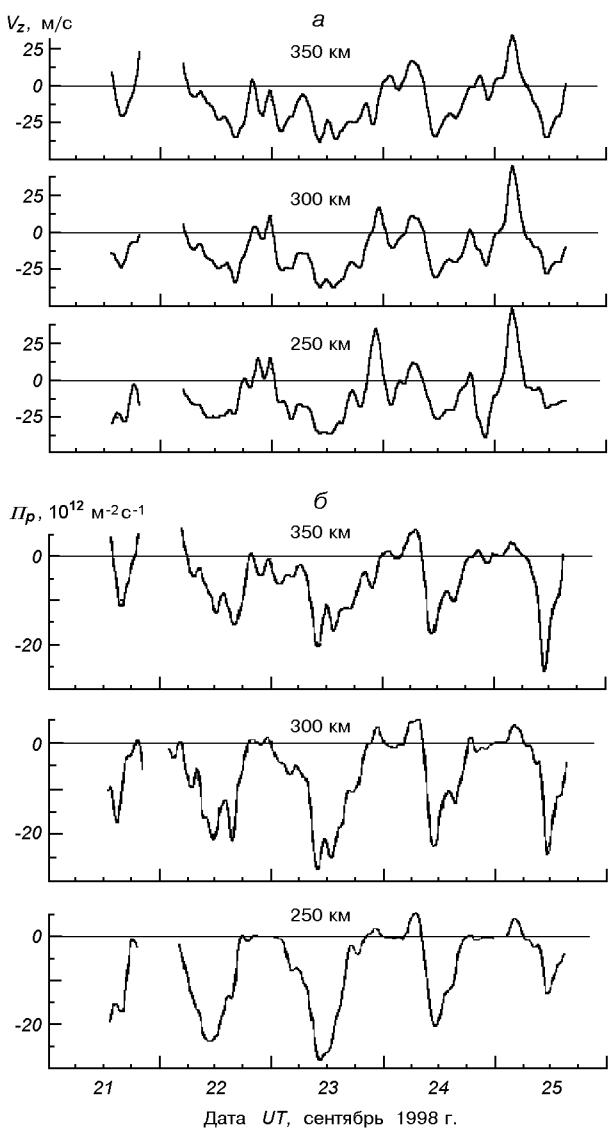


Рис. 5. Временные вариации измеренной вертикальной скорости  $V_z$  переноса плазмы (а) и рассчитанной плотности  $\Pi_p$  потока плазмы (б) на высотах 250—350 км 21—25 сентября 1998 г.

фазы МБ (рис. 5). В возмущенный день в утренние часы на высотах 200—500 км [5] скорость  $V_z$  составляла от 50 до 25 м/с, плотность потока плазмы  $\Pi_p \approx (4...2) \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$  соответственно, тогда как в спокойный день 23 сентября на тех же высотах  $V_z \approx -(25...15)$  м/с,  $\Pi_p \approx -(8...3) \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ .

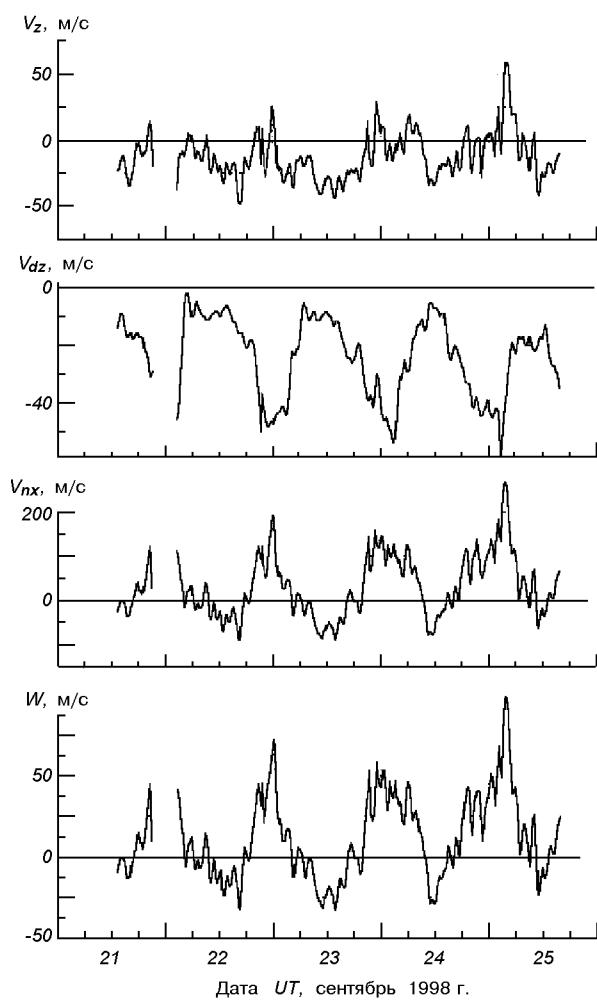


Рис. 6. Измеренная вертикальная скорость плазмы  $V_z$  (данные радара) и рассчитанная вертикальная составляющая скорости  $V_{dz}$  за счет диффузии, меридиональная составляющая  $V_{nx}$  нейтрального ветра (в пренебрежении электрическими полями) и скорость  $W$  на высоте 300 км

Из радарных измерений скорости  $V_z$  и расчета скорости  $V_{dz}$  диффузии ионов  $O^+$  [5] в возмущенный день 25 сентября была обнаружена необычная для дневного времени положительная волна скорости  $W = V_{nx} + V_{i\perp z}$ , включающей эффекты ветрового увлечения и электромагнитного дрейфа (рис. 6). Здесь  $V_{nx}$  — меридиональная составляющая скорости нейтрального ветра, положительная в северном полушарии в направлении на географический юг,  $V_{i\perp z}$  — вертикальная составляющая скорости электромагнитного

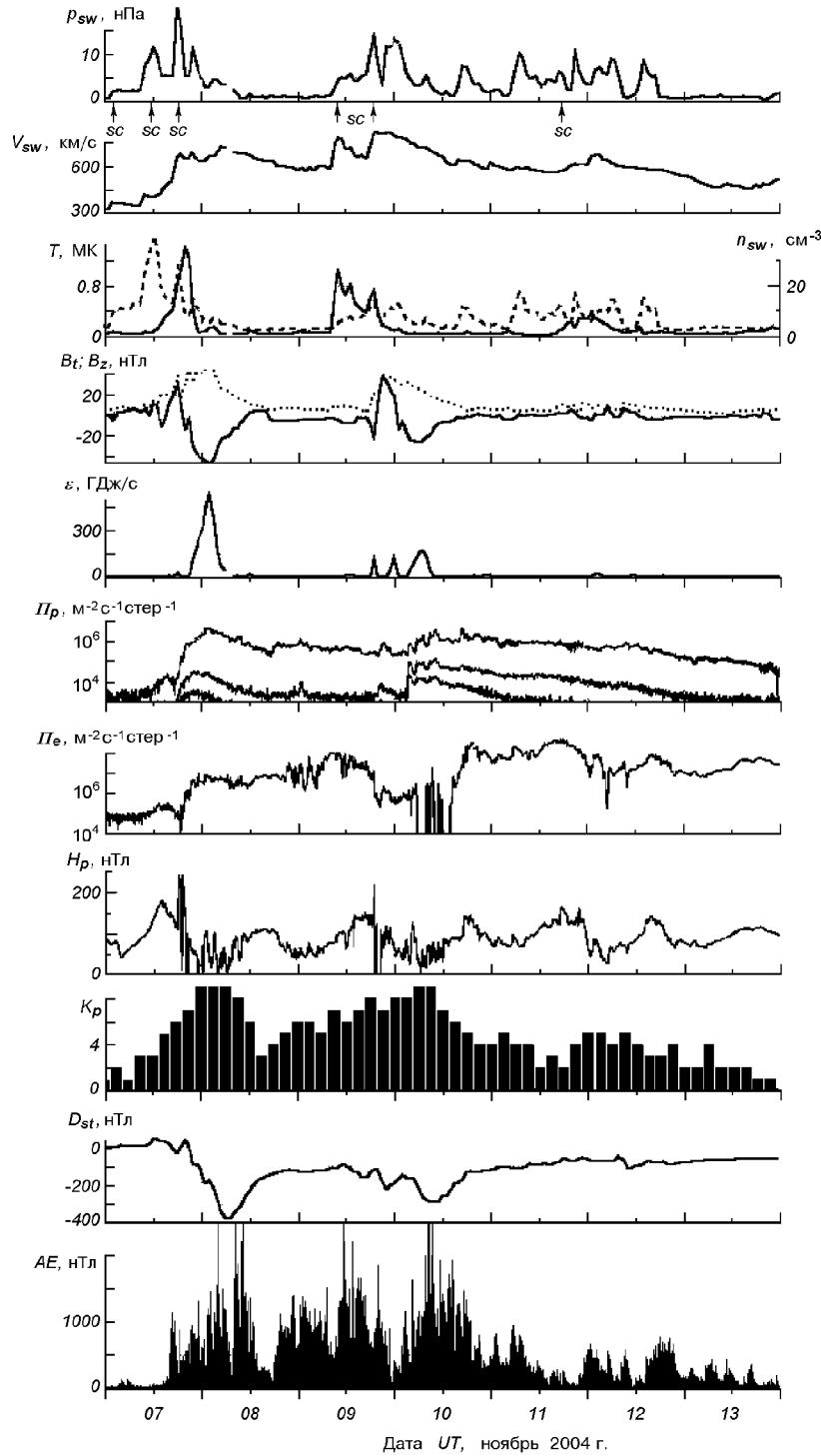


Рис. 7. Параметры солнечного ветра 7—13 ноября 2004 г.: динамического давления  $P_{sw}$ , радиальной скорости  $V_{sw}$ , температуры  $T$  и концентрации  $n_{sw}$  (ACE Satellite — Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor), модуля  $B_t$  (точки) и  $B_z$ -компоненты (линия) ММП (ACE Satellite — Magnetometer), рассчитанных значений энергии  $\varepsilon$ , передаваемой солнечным ветром в магнитосферу Земли в единицу времени, плотности потоков протонов  $\Pi_p$  с энергией более 10, 50 и 100 МэВ (ИСЗ GOES-8 (W75)) и электронов  $\Pi_e$  с энергией более 2 МэВ (ИСЗ GOES-12),  $H_p$ -компоненты геомагнитного поля (ИСЗ GOES-12), индексов  $K_p$  (<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/index.jsp>),  $D_{st}$  (WDC-C2 for Geomagnetism, Kyoto University) и  $AE$  (WDC Kyoto). Стрелками на горизонтальной оси отмечены моменты начала суббурь (SC)

дрейфа. Видно, что в утренние часы (около 04:00 UT) в возмущенный день 25 сентября  $W = 100$  м/с на высоте 300 км, тогда как в спокойный день 23 сентября  $W \approx 0$ . Одной из причин такого возмущения  $W$  и  $V_z$  могла быть волна нейтрального ветра  $V_{nx}$  к экватору, связанная с высокоширотным нагревом и с ПАВ [17–19, 33–36]. Если пренебречь электрическими полями, что справедливо для слабовозмущенных условий (как в случае 21–23 сентября, когда  $K_p \leq 4$ ), то меридиональная составляющая  $V_{nx}$  должна была иметь значение 270 м/с. Другой причиной могло быть проникновение в средние широты нестационарного магнитосферного электрического поля [3, 19, 22–24] с зональной составляющей  $E_y = 12–17$  мВ/м (об определении  $E_y$  из радарных измерений  $hmF2$  см. ниже), которое также могло обеспечить  $W \approx V_{\perp z} \approx 100$  м/с. Этот случай является предельным. Он не учитывает эффекты нейтрального ветра и оценивает  $E_y$  и  $V_{\perp z}$  сверху. По-видимому, оба фактора внесли свой вклад в увеличение  $W$  и  $V_z$ . В пользу эффектов импульса электрического поля в ионосфере над Харьковом свидетельствовала высокая суббуровая активность (в авроральной области индекс  $AE$  достигал значений 800–1200 нТл в интервале времени 03:00 UT – 03:40 UT), а также распространение возмущения  $V_z$  снизу вверх со скоростью около 100 м/с (запаздывание возмущения  $V_z$  в интервале высот 250–500 км составило около 40 мин [5]). Возмущение  $V_z$  могло быть вызвано локальным джоулевым нагревом атмосферы на высотах динамо-области (100–110 км), связанным с возмущением электрического поля в ионосфере средних широт, и движением газа вверх (аналогично высокоширотному источнику нагрева [27]).

Эффекты проникновения электрических полей могут быть одной из причин (наряду с усилением меридиональных ветров к экватору за счет высокоширотного нагрева термосферы и со смещением ГИП в средние широты) продолжительного увеличения высоты максимума  $hmF2$  примерно на 100 км ночью и на 50 км вблизи полуночи по сравнению со спокойным днем 23 сентября (рис. 2, б). Однако эти эффекты, в отличие от рассмотренных выше, не связаны с нестационарностью магнитосферных

электрических полей. Они определяются длительным высыпанием энергичных частиц, зарегистрированным в течение бури (см. рис. 1). Высыпания частиц ведут к повышению проводимости нижележащей авроральной ионосферы, закорачивающей экранирующее поле поляризации, и способствуют проникновению магнитосферных электрических полей в средние широты [3, 24]. Оценки  $E_y$  были получены из отклонений  $hmF2$  во время магнитных возмущений в соответствии с эмпирической зависимостью, приведенной в работе [3]. Они показали, что такие поля в ионосфере над Харьковом должны были быть направлены на восток, иметь значения  $E_y \approx 17$  и 12 мВ/м ночью и днем соответственно и способствовать наблюдаемому подъему слоя  $F2$ . Эти эффекты можно трактовать как проявления электрической бури на ионосферных высотах.

**Крайне сильная магнитная буря 7–10 ноября 2004 г.** Наблюдения бури проводились 8–13 ноября в соответствии с международной программой LTCS-C/NOFS (Lower Thermosphere Coupling Study-Communications/Navigation Outage Forecasting System). В этот период были зарегистрированы два сильнейших магнитных возмущения 7–8 и 9–10 ноября. Они были вызваны высокой солнечной активностью, источником которой была активная область 696 на Солнце. Она произвела серию вспышек различного характера и интенсивности, в том числе очень интенсивные вспышки класса X2.0 7 ноября и класса X2.5 10 ноября. Последняя явилась самым значительным событием за время жизни активной области 696. Геоэффективность вспышек в рассматриваемом интервале времени была высокой. Вспышки сопровождались выбросами корональной массы (СМЕ) типа полного или частичного гало различной сложности и конфигурации, магнитных облаков, интенсивными всплесками радиоизлучения, высокоскоростными потоками плазмы, вытекающими из корональных дыр, изменениями динамического давления солнечного ветра (СВ), деформацией переносимого им межпланетного магнитного поля (ММП). Параметры, описывающие состояние космической погоды, приведены на рис. 7. Видно, что на спутнике ACE зарегистрирован приход шести межпланетных ударных волн, образованных СМЕ. Они привели к сильнейшей пер-

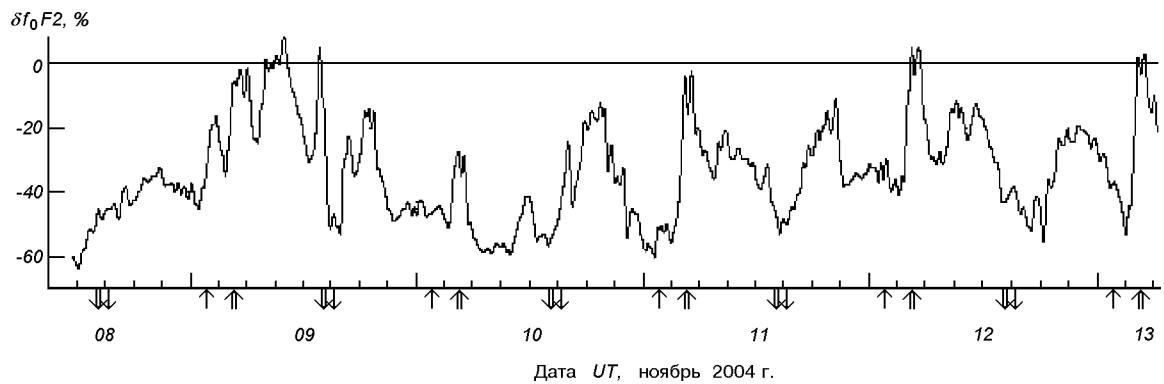


Рис. 8. Отклонения  $\delta f_0 F_2$  критической частоты 8—13 ноября 2004 г. от данных в контрольный день (28—30 октября 2004 г.) по измерениям ионозонда в Харькове. Стрелки на горизонтальной оси здесь и далее обозначают моменты восхода (вверх) и захода (вниз) Солнца в Харькове (двойные) и в магнитосопряженной точке (одинарные) на поверхности Земли. Магнитосопряженная точка для Харькова расположена вблизи острова Мадагаскар

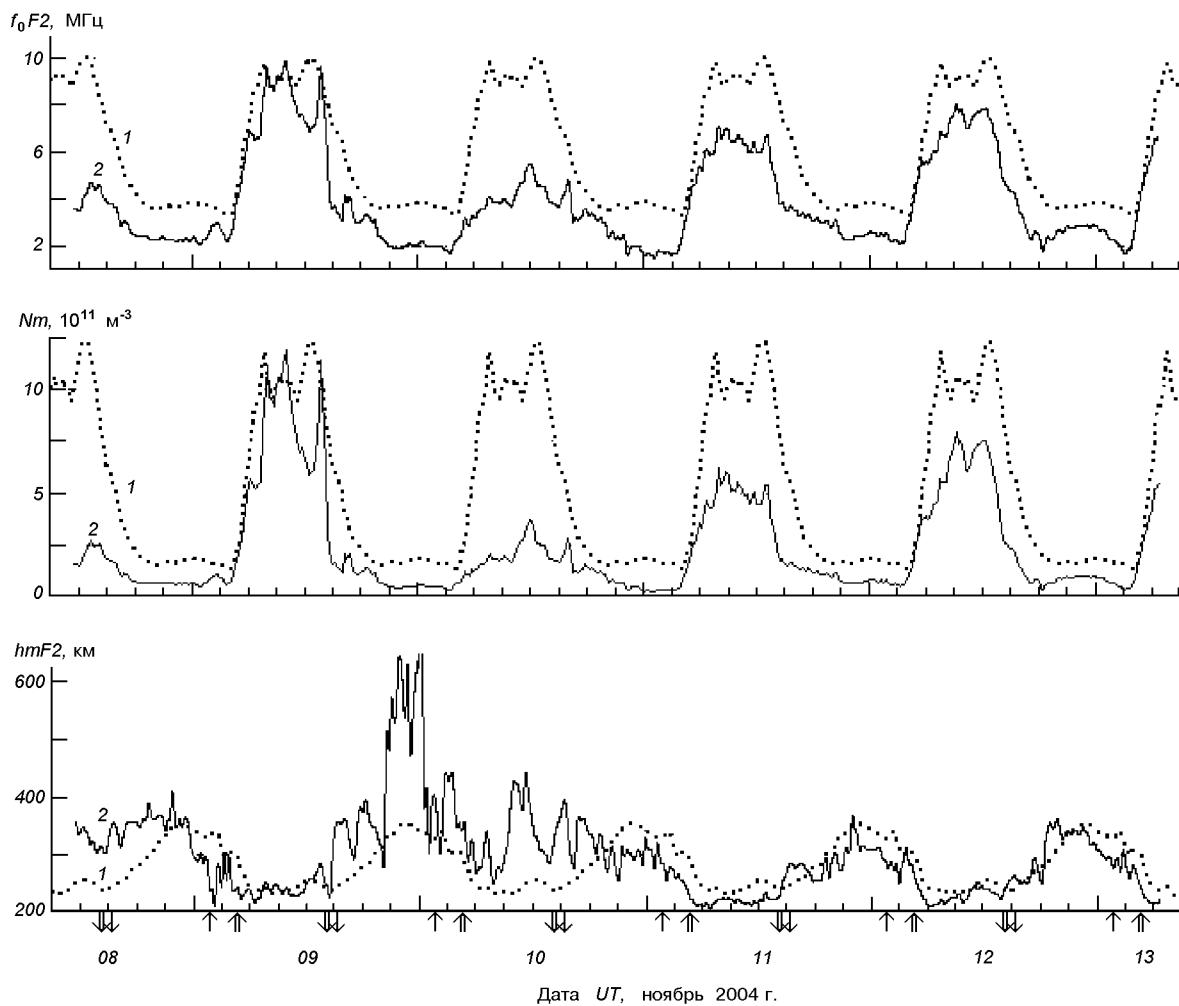


Рис. 9. Временные вариации критической частоты  $f_0 F_2$  по измерению ионозонда в Харькове, электронной концентрации  $NmF_2$  в максимуме слоя  $F_2$  и высоты максимума  $hmF_2$  по данным харьковского радара в контрольный магнитоспокойный день (1) и возмущенный период 8—13 ноября 2004 г. (2)

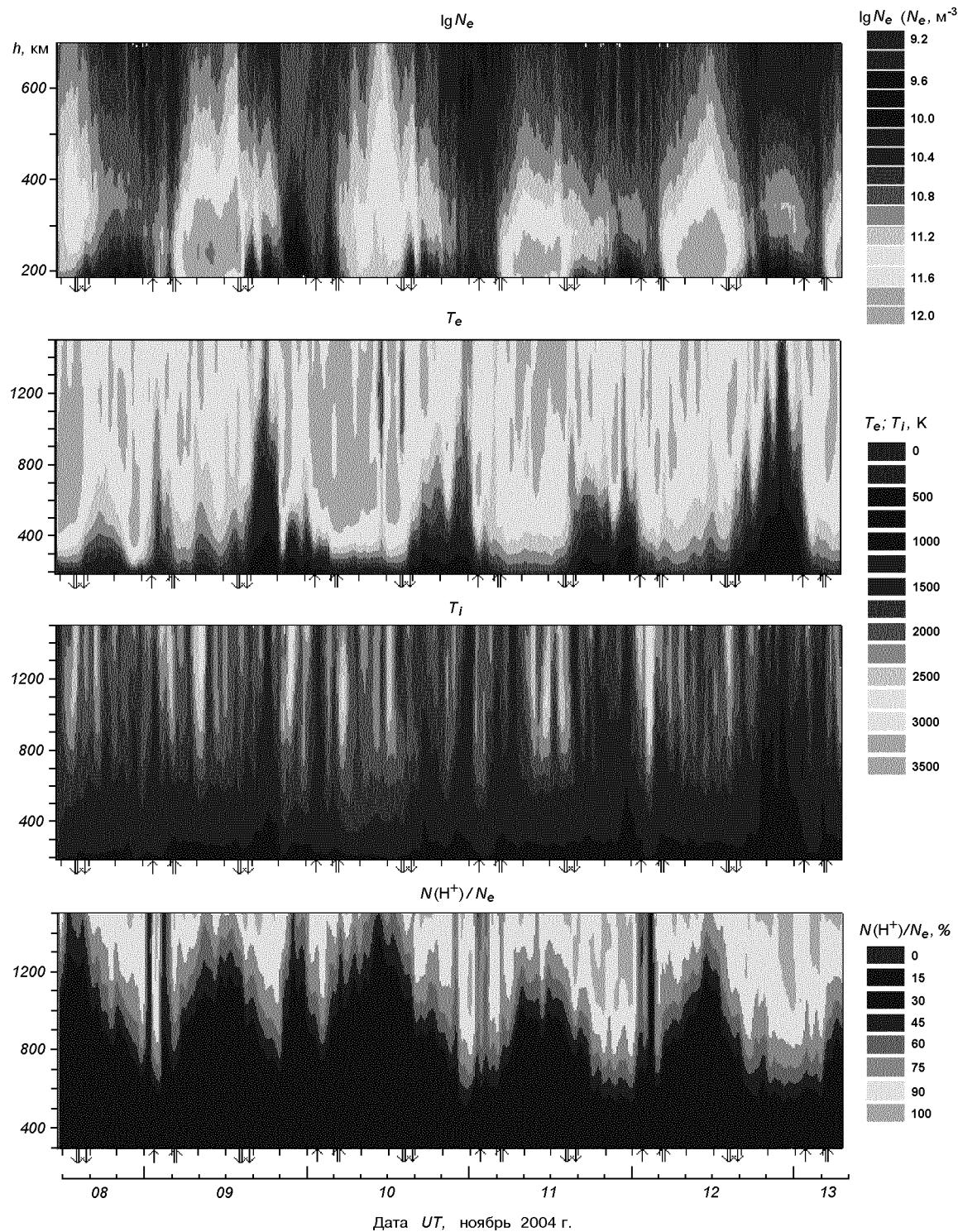


Рис. 10. Высотно-временные вариации параметров ионосферы: электронной концентрации  $N_e$ , температур электронов  $T_e$  и ионов  $T_i$ , относительной концентрации ионов водорода  $N(H^+)/N_e$  8—13 ноября 2004 г.

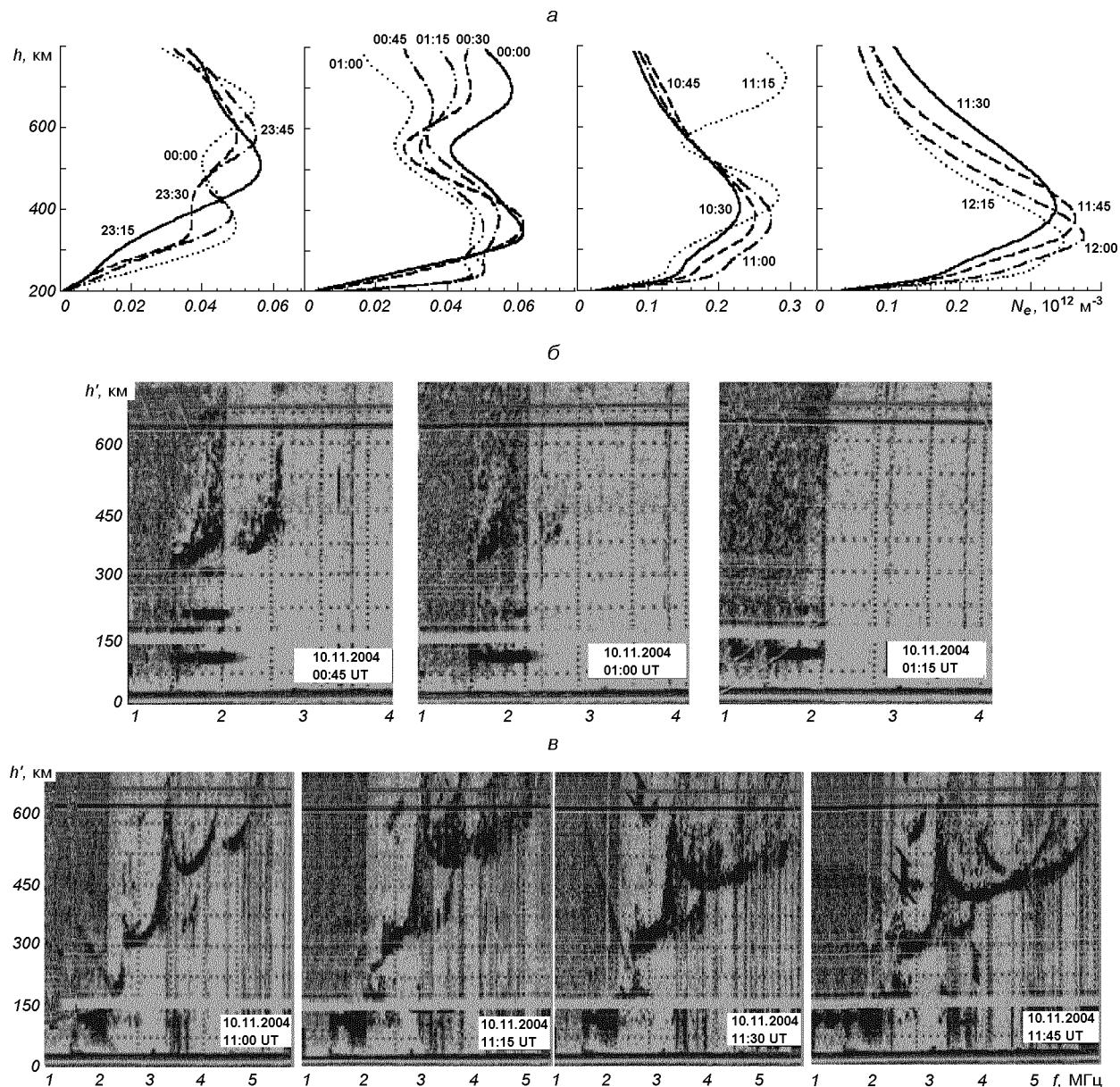


Рис. 11. Профили  $N_e(h)$  (*a*) и данные ионозонда (*б*, *в*), полученные 9/10 ноября 2004 г. во время работы радара НР в Харькове в течение главной фазы второй магнитной бури (при  $K_p = 8+$ )

вой магнитной буре 7—8 ноября с минимальным значением индекса  $D_{st} = -373$  нТл, зарегистрированным 8 ноября в 07:00 UT, значением  $B_z = -45$  нТл 8 ноября в 02:00 UT и максимальным значением индекса  $K_p = 9-$ . Фаза восстановления первой бури началась 8 ноября после 07:00

UT (см. вариации  $D_{st}$  на рис. 7). На ее плавное течение наложилось начало следующей бури 9-10 ноября. Главная фаза второй бури протекала на фоне значительных флуктуаций параметров солнечного ветра, индекса  $D_{st}$ , величина которого достигла минимума  $-289$  нТл 10 ноября

ря в 10:00—11:00 UT, при максимальном значении  $K_p = 9-$ . Активный период бури был продолжительным, значения индекса  $K_p \geq 6$  наблюдались с 12:00 UT 9 ноября до 18:00 UT 10 ноября. Фаза восстановления продолжалась по крайней мере до конца измерений. Столь активная и сложная обстановка на Солнце относится к довольно редким явлениям в условиях перехода к низкой солнечной активности.

Ионосферная буря, которая сопровождала рассматриваемую магнитную бурю, была отрицательной, при этом интенсивность ее значительно изменялась (рис. 8, 9). Рис. 10 иллюстрирует поведение основных параметров ионосферы во время бури в диапазоне высот 200—1500 км. Наибольшее уменьшение  $NmF2$  по сравнению с контрольным днем (28—30 октября 2004 г.) составило семь раз вблизи полудня 8 ноября, сразу после главной фазы первой бури при  $K_p = 7.0$ , шесть раз — в дневные часы 10 ноября на фоне главной фазы второй МБ при  $K_p = 8+...9-$ . Уменьшение  $NmF2$  до 6 раз отмечалось также в ночь 10-11 ноября во время фазы восстановления второй бури при значениях  $K_p = 5+...4.0$ . Одной из причин уменьшения электронной концентрации в  $F2$ -слое, наряду с рассмотренными выше перестройкой нейтрального состава с увеличением концентраций  $N_2$  и  $O_2$ , связанной с высокоширотным нагревом термосферы, с вкладом в увеличение скорости потерь ионов  $O^+$  колебательно-возбужденных молекул  $N_2(v)$  и  $O_2(v)$  и т. д., могла быть деформация магнитосферы, сопровождаемая, по-видимому, смещением в средние широты ГИП. О последнем косвенно могут свидетельствовать максимальные значения индекса авроральной активности (Hemisphere Power Index), равные 10, которые регистрировались на спутнике NOAA POES с 18:30 UT 7 ноября до 12:49 UT 8 ноября почти непрерывно, а также с 10:44 UT 9 ноября до 17:30 UT 10 ноября с кратковременными эпизодическими уменьшениями этого индекса до значений 9 и еще реже 8 [<http://solar.sec.noaa.gov/Aurora/index.html>]. Значение этого параметра, характеризующего мощность энергичных частиц, вторгающихся в атмосферу аврорального овала, свидетельствовало о возможном смещении экваториальной границы овала до геомагнитных широт  $\Phi \approx 45...51^\circ$ . В таком случае овал мог приблизиться к расположению харьковского

радара (геомагнитная широта  $\Phi = 45.7^\circ$ ), и радар мог оказаться внутри главного ионосферного провала или даже внутри аврорального овала в ночном секторе.

Смещение крупномасштабных образований высокоширотной ионосферы на широту радара в Харькове во время МБ подтверждает сопоставление профилей электронной концентрации, полученных из данных НР, с ионограммами вертикального зондирования, зарегистрированными там же. На рис. 11 приведены некоторые примеры таких сопоставлений. Они свидетельствуют о том, что во время МБ ионосфера средних широт приобретала свойства, характерные для высокоширотной ионосферы. К числу таких свойств относится, например, увеличение диффузности отраженного сигнала. Оно могло быть связано с рассеянием сигнала на мелкомасштабных ориентированных вдоль магнитного поля неоднородностях, генерируемых вблизи экваториальной границы аврорального овала во время сильной бури и имеющих большой пространственный масштаб (сотни и тысячи километров) [1, 12]. Такие рассеяния, типичные дляочных высокоширотных ионограмм, были зарегистрированы с помощью ионозонда над Харьковом ночью 10 ноября во время бури, когда одновременно наблюдалась сильнейшая деформация профилей  $N_e(h)$  (рис. 11, *a* в 01:00 UT и 01:15 UT).

Редким для средних широт эффектом явились зарегистрированные в период главной фазы второй бури (ночью 9 ноября и в первой половине суток 10 ноября) наклонные когерентные отражения. По-видимому, эти эхо-сигналы принимались с северного направления боковыми лепестками диаграммы направленности антенны, которые под достаточно малыми углами ( $5-10^\circ$ ) просвечивали область ионосферы. Известно, что отражение происходит на дальностях, где выполняются условия ракурсного рассеяния, и могут быть обусловлены рассеянием на неоднородностях электронной концентрации  $E$ -области, генерируемых двухпотоковой неустойчивостью ионосферной плазмы [1, 8]. Особый интерес представляют такие отражения, наблюдавшиеся вблизи полудня 10 ноября с 11:02 до 11:14 UT (рис. 11, *b*). В это время профили  $N_e(h)$  (полученные с усреднением 1 мин) имели два дополнительных максимума (отражения) на высотах

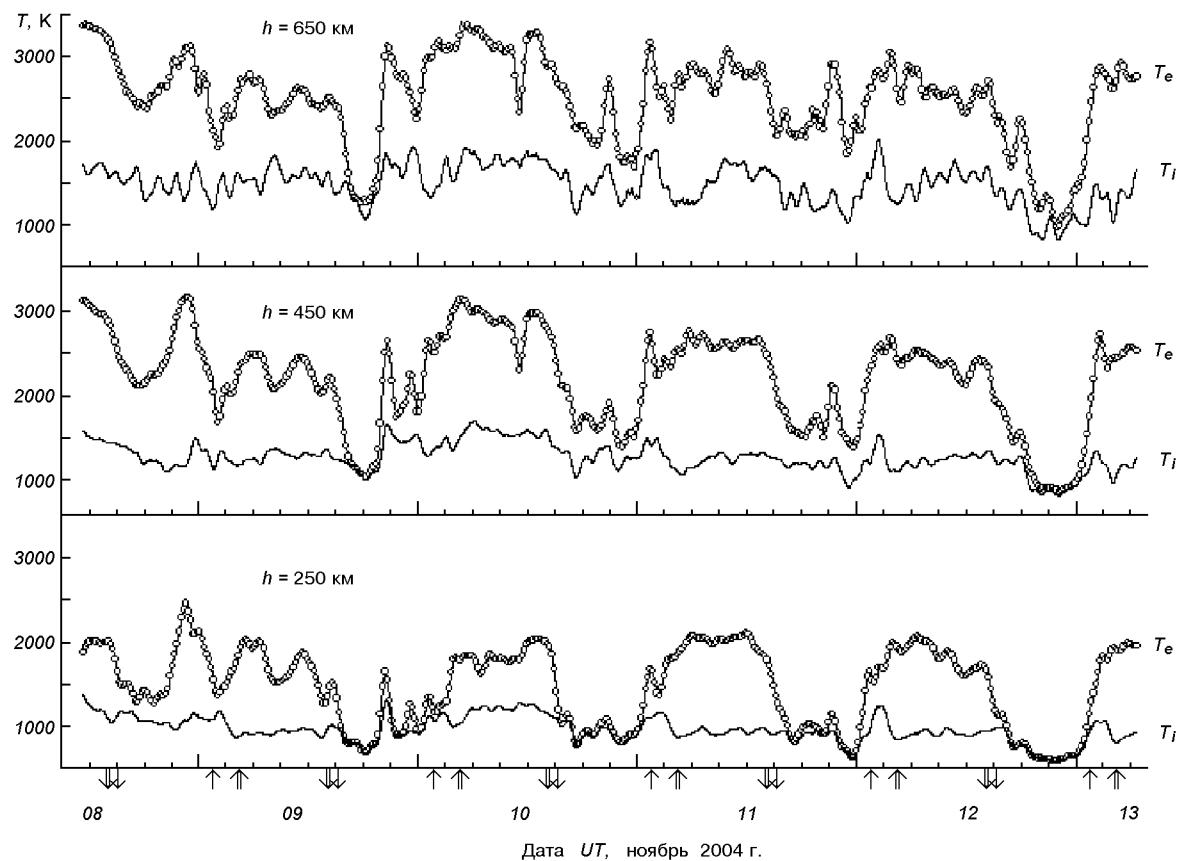


Рис. 12. Временные вариации температур ионов  $T_i$  и электронов  $T_e$  на фиксированных высотах 8—13 ноября 2004 г.

около 700 и 1100 км, соизмеримых с основным максимумом. Отражения возникли внезапно, наблюдались около 15 мин и так же внезапно исчезли. Одновременно на ионограмме ВЗ над Харьковом наблюдался диффузный след, который был виден также примерно 15 мин. Такие эффекты могли косвенно свидетельствовать о том, что в 11:15 UT произошло кратковременное (около 15 мин) смещение экваториальной границы аврорального овала на широту, достаточно близкую к Харькову. При этом рассеяние радиоволн на мелкомасштабных неоднородностях в ионосфере над Харьковом дало диффузный след на ионограмме ВЗ. Область турбулизации плазмы, вероятно, простиралась к северу от радара, по крайней мере на расстояние 700—1100 км,

где выполнялись условия для обратного рассеяния радиоволн на неоднородностях  $E$ -области. Быстрый характер процесса мог быть связан с изрезанностью и/или быстрой изменчивостью авроральной зоны за счет нестационарности магнитосферной конвекции. Важно отметить, что столь редкое дневное событие наблюдалось, когда индекс  $D_{st}$ , характеризующий интенсивность магнитосферного кольцевого тока, имел экстремальное значение  $-289$  нТл.

Во время магнитных возмущений ночью 8/9 и 9/10 ноября наблюдался необычный нагрев плазмы до дневных значений температур  $T_i = 1300\ldots2000$  К и  $T_e = 1600\ldots3000$  К на высотах 250—650 км (рис. 12). Нагрев, по-видимому, был вызван смещением горячей зоны плазмос-

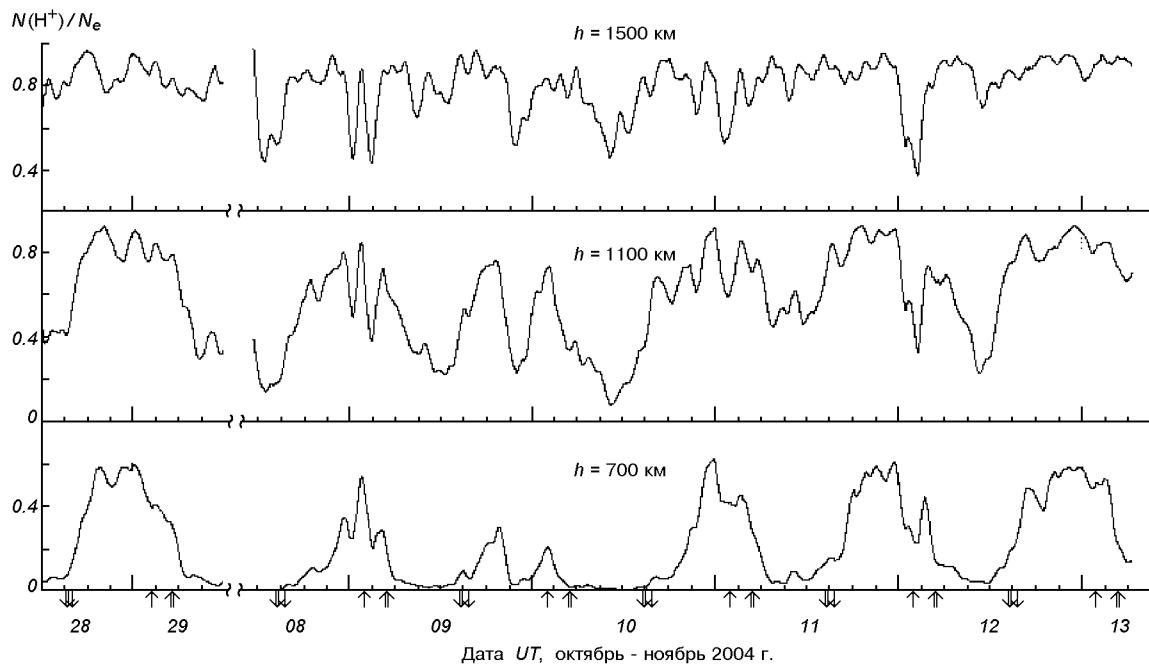


Рис. 13. Временные вариации относительной концентрации ионов водорода  $N(\text{H}^+)/N_e$  на фиксированных высотах в контрольные сутки 28—29 октября 2004 г. и в возмущенный период 8—13 ноября 2004 г.

феры вместе с плазмопаузой на меньшие  $L$ -оболочки. Не исключена также возможность дополнительного локального нагрева плазмы, связанного с проникновением в средние широты магнитосферных электрических полей и смещением зоны высыпаний энергичных частиц, сопровождаемыми джоулевой диссипацией их энергии.

Зарегистрировано увеличение высоты  $hmF2$  максимума слоя  $F2$ , которое составило 50—80 км днем 8 ноября после главной фазы первой бури, достигло 300 км ночью 9-10 ноября во время главной фазы второй бури и 150—180 км в полдень 10 ноября (см. рис. 9 и 10). В качестве одной из причин подъема слоя  $F2$ , наряду с эффектами расширения термосферы, усиления меридиональной скорости термосферного ветра и смещения к экватору ГИП, могли стать эффекты проникновения магнитосферных электрических полей в средние широты за счет продолжительного (в течение нескольких суток) высыпания энергичных частиц [3, 24]. Оценка сверху зональной составляющей электрического поля  $E_y$  в ионосфере над Харьковом по величине

изменения  $hmF2$  дала максимальные значения поля  $E_y \approx 35...45$  мВ/м днем 10 ноября и 50 мВ/м ночью 9/10 ноября.

Во время бури ночью 8/9 и 9/10 ноября наблюдались уменьшения («провалы») значений относительной концентрации ионов водорода  $N(\text{H}^+)/N_e$  на фиксированных высотах, которые составляли 1.5—3.5 раза (рис. 13). Они свидетельствовали об опустошении магнитной силовой трубы, проходящей над Харьковом, за счет деформации магнитосферы и смещения в средние широты ГИП и провала легких ионов. Нестационарность магнитосферной конвекции и неравномерность высыпания заряженных частиц делали картину распределения плазмы в субавроральной ионосфере (в том числе в ионосфере над Харьковом во время активного периода бури) нерегулярной и изменчивой.

Магнитная буря сопровождалась также сильнейшими возмущениями термосферы. Расчеты, выполненные по данным радара НР с привлечением термосферной модели MSIS-86, показали, что при высокой геомагнитной активности ( $K_p =$

= 9-) температура нейтрального газа  $T_n$  вблизи полудня увеличилась на высоте 300 км более чем на 300 К. Вочные часы 8, 9 и 10 ноября, когда наблюдался необычный нагрев плазмы на фоне глубокой депрессии  $N_e$ , температура  $T_n$ , отслеживая поведение  $T_i$ , испытывала аналогичные увеличения (всплески) до значений дневных температур 1250, 1380 и 1280 К на высоте 300 км. В спокойные сутки ночные значения  $T_n$  не превышали 700 К. Нагрев термосферы привел к ее расширению и увеличению высоты термопаузы не менее чем до 400 км.

Рассматриваемой магнитной буре сопутствовали изменения теплового режима плазмы. Как показали расчеты, вблизи местного полудня на высоте 300 км подвод энергии  $Q/N_e$  к электронному газу в возмущенный день 10 ноября 2004 г. уменьшился в 1.3—1.5 раза по сравнению со спокойным днем, а плотность потока тепла  $\Pi_T$ , переносимого электронами из протоносферы в ионосферу, увеличилась в среднем в три раза. Особенностью теплового режима ионосферы стало увеличение  $Q/N_e$  и плотности потока  $\Pi_T$  в ночное время в возмущенные сутки 8—13 ноября 2004 г., тогда как в спокойных условиях ночью их значения близки к нулю. Это свидетельствовало о существенном изменении процессов, контролирующих тепловой баланс в системе ионосфера — плазмосфера, во время бури.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные крайне сильные магнитные бури 25 сентября 1998 г. и 7—10 ноября 2004 г. ( $K_{p\max} = 8+$  и 9-) сопровождались интенсивными ионосферными, атмосферными и электрическими бурами. Ионосферные бури были отрицательными. Первая магнитная буря началась около полуночи, вторая — в дневное время. Важно то, что активный период главной фазы бурь развивался в ночном либо утреннем секторе (для Харькова). Бури сопровождались деформацией магнитосферы, которая вызывала редкие для средних широт явления. Они связаны со смещением высокоширотных структур (ГИП, провала легких ионов, горячей зоны) на геомагнитные оболочки  $L$ , лежащие глубоко во внутренней плазмосфере (для Харькова параметр

Мак-Илвейна  $L \approx 1.9$ ), а также авроральной зоны на широту, близкую к широте харьковского радара. Эти процессы привели к значительным изменениям структуры, динамики и теплового режима ионосферы и термосферы.

Вместе с тем ионосферные бури имели различия. Одно из них — их разная интенсивность, которая, аналогично магнитным бурям, коррелирует с энергией солнечного ветра, инжектируемой в магнитосферу за единицу времени (т. е. функцией Акасоуфы). Значение этой энергии 7—10 ноября 2004 г. было в 2—5 раз больше, чем 25 сентября 1998 г. Этим, вероятно, можно объяснить уменьшение электронной концентрации  $NmF2$  в семь раз во время магнитной бури 7—10 ноября 2003 г. и в 3.5 раза — 25 сентября 1998 г., а также продолжительный ночной нагрев плазмы до дневных значений температур (2000—3000 К) во время первой бури и всего на несколько сотен кельвинов в течение нескольких часов во время второй бури. Эти и другие эффекты бурь, включая особенности ионограмм вертикального зондирования (диффузный след) и наклонные когерентные отражения, свидетельствовали, что смещение структур высокоширотной ионосферы (аврорального электроджета, аврорального овала, ГИП, горячей зоны и др.) во время магнитной бури 7—10 ноября 2004 г. происходило, по-видимому, до более низких широт, чем 25 сентября 1998 г.

Еще одна особенность рассмотренных ионосферных бурь касается процесса восстановления параметров ионосферы после бури и связана с продолжительностью магнитных бурь. Так, первая магнитная буря 25 сентября 1998 г. имела характер одинокого всплеска магнитной активности, ей сопутствовала крайне сильная ионосферная буря небольшой продолжительности с максимальным уменьшением  $NmF2$  во время главной фазы и достаточно быстрым ее восстановлением после окончания активного периода бури [18]. Вторая рассмотренная магнитная буря 7—10 ноября 2004 г. представляла собой последовательность двух бурь, следующих одна за другой и протекающих на фоне высокой геомагнитной активности со значением индекса  $D_{st} \leq -100$  нТл. Их общая продолжительность составляла более трех суток. Интенсивность ионосферной бури во время магнитных бурь 7—10 ноября сильно изменялась, но оставалась

высокой вплоть до конца наблюдений 13 ноября, тогда как главная фаза второй МБ закончилась 10 ноября в 11:00 УТ. Таким образом, восстановление параметров ионосферы, возмущенной во время крайне сильной и продолжительной магнитной бури, протекало медленно. Например, 12 ноября, через двое суток после окончания главной фазы второй МБ, концентрация  $NmF2$  в дневное время увеличилась лишь на 25 % по сравнению с возмущенным днем 10 ноября и оставалась в четыре раза меньшей, чем в спокойный день.

1. Афраймович Э. Л., Астафьев А. И., Бернгардт О. И. и др. Среднеширотные амплитудные мерцания сигналов GPS и сбои функционирования GPS на границе аврорального овала // Изв. вузов. Радиофизика.—2004.—47, № 7.—С. 509—526.
2. Афраймович Э. Л., Косогоров Е. А., Леонович Л. А., Пирог О. М. Глобальная картина крупномасштабных ионосферных возмущений во время магнитной бури 25 сентября 1998 г. // Геомагнетизм и астрономия.—2002.—42, № 4.—С. 491—498.
3. Брюнелли Б. Е., Намгладзе А. А. Физика ионосферы. — М.: Наука, 1988.—528 с.
4. Григоренко Е. И., Лазоренко С. В., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Волновые возмущения в ионосфере, сопровождавшие вспышку на солнце и сильнейшую магнитную бурю 25 сентября 1998 г. // Геомагнетизм и астрономия.—2003.—43, № 6.—С. 770—787.
5. Григоренко Е. И., Лысенко В. Н., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Результаты радиофизических исследований процессов в ионосфере, сопровождавших сильнейшую геомагнитную бурю 25 сентября 1998 г. // Успехи современной радиоэлектроники.—2003.—№ 9.—С. 57—94.
6. Данилов А. Д., Морозова Л. Д. Ионосферные бури в области F2. Морфология и физика (Обзор) // Геомагнетизм и астрономия.—1985.—25, № 5.—С. 705—721.
7. Данилов А. Д., Морозова Л. Д., Мирмович Э. Г. О возможной природе положительной фазы ионосферных бурь // Геомагнетизм и астрономия.—1985.—25, № 5.—С. 768—772.
8. Куркин В. И., Пирог О. М., Полех Н. М. и др. Комплексные исследования ионосферных эффектов геомагнитных бурь в северо-восточном регионе России // Тр. XX Всероссийской конференции по распространению радиоволн. — Нижний Новгород, 2002.—С. 62—63.
9. Серебряков Б. Е. Исследование процессов в термосфере во время магнитных возмущений // Геомагнетизм и астрономия.—1982.—22, № 5.—С. 776—781.
10. Таран В. И. Исследование ионосферы в естественном и искусственно возмущенном состояниях методом некогерентного рассеяния // Геомагнетизм и астрономия.—2001.—41, № 5.—С. 659—666.
11. Таран В. И., Григоренко Е. И., Лысенко В. Н., Пуляев В. А. Ионосферные эффекты магнитных бурь по наблюдениям на радаре некогерентного рассеяния в Харькове // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. Сб. науч. тр. ХГПУ.—1999.—Вып. 7, ч. 3.—С. 381—383.
12. Урядов В. Н., Куркин В. И., Вертугров Г. Г. и др. Особенности распространения КВ сигналов на среднеширотных трассах в условиях геомагнитных возмущений // Изв. вузов. Радиофизика.—2004.—47, № 12.—С. 1041—1056.
13. Черногор Л. Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // Радиофизика и радиоастрономия.—2003.—8, № 1.—С. 59—106.
14. Черногор Л. Ф. Земля — атмосфера — геокосмос как открытая динамическая нелинейная система // Космічна наука і технологія.—2003.—9, № 5/6.—С. 96—105.
15. Черногор Л. Ф. Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера как открытая динамическая нелинейная физическая система. Часть 1 // Нелинейный мир.—2006.—4, № 12.—С. 655—697.
16. Черногор Л. Ф. Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера как открытая динамическая нелинейная физическая система. Часть 2 // Нелинейный мир.—2007.—5, № 4.—С. 198—231.
17. Buonsanto M. J. Millstone Hill incoherent scatter F region observations during the disturbances of June 1991 // J. Geophys. Res.—1995.—100, N A4.—P. 5743—5755.
18. Buonsanto M. J. Ionospheric storms — a review // Space Sci. Rev.—1999.—88.—P. 563—601.
19. Buonsanto M. J., Gonzalez S. A., Pi X., et al. Radar chain study of the May, 1995 storm // J. Atmos. Solar-Terr. Phys.—1999.—61.—P. 233—248.
20. Chernogor L. F., Grigorenko Ye. I., Taran V. I., Turyanov O. F. Dynamic processes in the near-Earth plasma during the September 25, 1998 magnetic storm from Kharkiv incoherent scatter radar data // XXVII General Assembly of the International Union of Radio Science, Programme, Poster Presentations Maastricht Exhibition and Congress Centre (MECC), Maastricht the Netherlands. 17 — 24 August 2002. P. 2280.
21. Chernogor L. F., Grigorenko Ye. I., Taran V. I., Turyanov O. F. Ionosphere wave-like disturbances (WLD) following the September 23, 1998 Solar flare from Kharkiv incoherent scatter radar observations // XXVII General Assembly of the International Union of Radio Science, Programme, Poster Presentations Maastricht Exhibition and Congress Centre (MECC), Maastricht the Netherlands. 17—24 August 2002b. P. 2278.
22. Foster J. C., Cummer S., Inan U. S. Midlatitude particle and electric field effects at the onset of the November 1993 Geomagnetic Storm // J. Geophys. Res.—1998.—103.—P. 26.359—26.366.
23. Foster J. C., Rich F. J. Prompt midlatitude electric field effects during severe geomagnetic storms // J. Geophys. Res.—1998.—103.—P. 26.367—26.372.
24. Gonzales C. A., Kelley M. C., Behnke R. A., et al. On the latitudinal variations of the ionospheric electric field during magnetospheric disturbances // J. Geophys. Res.—1983.—88, N A11.—P. 9135—9144.
25. Hedin A. E. MSIS-86 thermospheric model // J. Geophys. Res.—1987.—92, N A5.—P. 4649—4662.
26. Mikhailov A. V., Foster J. C. Daytime thermosphere above

- Millstone Hill during severe geomagnetic storms // J. Geophys. Res.—1997.—102.—P. 17.275—17.282.
27. Mikhailov A. V., Forster M. Some F2-layer effects during the January 6—11, 1997 CEDAR storm period as observed with the Millstone Hill incoherent scatter facility // J. Atmos. Solar-Terr. Phys.—1999.—61.—P. 249—261.
28. Mishin E., Foster J. C., Potekhin A. P., et al. Ionospheric perturbations caused by quasi-periodic magnetic disturbances during the September 25, 1998 storm // EOS Trans. AGU, 81 N 48. Fall Meeting. F 947, San Francisco, USA, 2000.
29. Mishin E., Foster J. C., Rich F. J., Taran V. Prompt ionospheric response to short period solar wind variations during the magnetic cloud event Sep 25, 1998 // EOS Trans. AGU, 82 N 20. Spring Meeting. S 291, San Francisco, USA, May 15, 2001.
30. Pavlov A. V. The role of vibrationally excited oxygen and nitrogen in the ionosphere during the undisturbed and geomagnetic storm period of 6—12 April 1990 // Ann. Geophys.—1998.—16.—P. 589—601.
31. Pavlov A. V., Buonsanto M. J. Using steady-state vibrational temperatures to model effects of  $N_2^*$  on calculations of electron densities // J. Geophys. Res.—1996.—101.—P. 26.941—26.945.
32. Pavlov A. V., Buonsanto M. J., Schlesier A. C., Richards P. J. Comparison of models and data at Millstone Hill during the 5-11 June 1991 storm // J. Atmos. Solar-Terr. Phys.—1999.—61.—P. 263—279.
33. Prolss G. W. On explaining the local time variation of ionospheric storm effects // Ann. Geophys.—1993.—11.—P. 1—9.
34. Prolss G. W. Common origin of positive ionospheric storms at middle latitudes and the geomagnetic activity effect at low latitudes // J. Geophys. Res.—1993.—98, N A4.—P. 5981—5991.
35. Prolss G. W. Ionospheric F-region storms // Handbook of atmospheric electrodynamics / Ed. by H. Volland. — Roca Raton, Fla., CRC Press, 1995.—Vol. 2.—P. 195—248.
36. Richards P. G., Torr D. G., Buonsanto M. J., Sipler D. P. Ionospheric effects of the March 1990 magnetic storm: Comparison of theory and measurement // J. Geophys. Res.—1994.—99, N A12.—P. 23.359—23.365.
37. Salah J. E., Evans J. V. Measurements of thermospheric temperature by incoherent scatter radar // Space Res.—1973.—13.—P. 267—286.
38. Salah J. E., Evans J. V., Alcayde D., Bauer P. Comparison of exospheric temperatures at Millstone Hill and St-Santin // Ann. Geophys.—1976.—32, N 3.—P. 257—266.
39. Schlesier A. C., Buonsanto M. J. The Millstone Hill ionospheric model and its application to the May 26—27, 1990, ionospheric storm // J. Geophys. Res.—1999.—104, N A10.—P. 22.453—22.468.

---

#### ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF IONOSPHERE STORMS AT THE MIDLATITUDES OF EUROPE. 1

*Ye. I. Grigorenko, V. N. Lysenko, V. I. Taran,  
L. F. Chernogor*

The results of our comparison analysis of the ionosphere-thermosphere effects of two strong geospace storms that differ in the intensity and passing character are presented. The typical peculiarities of these storms that are used in part 2 of this work for their classification are revealed. The observations of ionosphere disturbances were carried out with the use of the Kharkiv incoherent scatter radar.

УДК 550.388, 520.16+523.31+523.9;520.86

Е. И. Григоренко<sup>1</sup>, В. Н. Лысенко<sup>1</sup>, В. И. Таран<sup>1</sup>, Л. Ф. Черногор<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут іоносфери НАН і МОН України, Харків

<sup>2</sup>Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

## Анализ и классификация ионосферных бурь в средних широтах Европы. 2

*Надійшла до редакції 15.11.05. Після переробки 26.01.06*

Наведено результати порівняльного аналізу іоносферно-термосферних ефектів трьох геокосмічних бур, які відрізняються за інтенсивністю та характером протікання. Спостереження іоносферних збурень виконано за допомогою радару некогерентного розсіяння у Харкові. Запропоновано класифікацію іоносферних збурень, в якій виділено три характерні групи. Описано фізичні схеми розвитку кожної групи збурень, які можуть бути застосовані для середньоширотної іоносфери над Європою.

### ВВЕДЕНИЕ

В первой части данной работы анализировались особенности крайне сильных магнитных бурь 25 сентября 1998 г. и 7—10 ноября 2004 г. [5]. Вторая часть посвящена анализу результатов наблюдений ионосферно-термосферных возмущений, сопровождавших еще три дополнительные рассматриваемые магнитные бури, которые отличались интенсивностью и характером протекания: 29—30 мая 2003 г., 17—20 апреля 2002 г. и 20—21 марта 2003 г. На основе анализа пяти геокосмических бурь предлагается классификация ионосферных возмущений с выделением трех наиболее характерных групп в соответствии с выявленными особенностями их развития.

### ХАРАКТЕРНЫЕ ИОНОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ НАД ХАРЬКОВОМ

**Сверхсильная магнитная буря 29—30 мая 2003 г.** Наблюдения бури проводились 30—31 мая в соответствии с международной программой Low/High Latitude. Магнитная буря

(МБ) 29—30 мая (индексы  $A_p = 89$ ,  $K_{p\max} = 8+$ ,  $D_{st\min} \approx -131$  нТл) была вызвана приходом двух выбросов солнечной плазмы (СМЕ), которые наблюдались 29 мая в 11:50 UT и 18:30 UT и были связаны со вспышками класса X1.3 и класса X3.6 в ночь 27—28 мая. Магнитная буря имела внезапное начало 29 мая около 12:25 UT. Активный период главной фазы бури сопровождался быстрым уменьшением  $D_{st}$  до значения  $-131$  нТл с 23:00 UT 29 мая до 03:00 UT 30 мая, после чего началась фаза восстановления, связанная с поворотом составляющей  $B_z$  межпланетного магнитного поля на север. Во время магнитной бури  $B_{z\min} = -15$  нТл. Основные параметры геокосмической обстановки представлены на рис. 1.

Магнитная буря сопровождалась сильнейшей отрицательной ионосферной бурей, ее подробное описание по результатам наблюдений с помощью харьковского радара дано в работах [2, 6, 8, 9]. Обнаружены редкие для средних широт эффекты отрицательного ионосферного возмущения (рис. 2). Среди них уменьшение  $NmF2$  до четырех раз во время главной фазы бури; необычный нагрев плазмы в ночь 29—30 мая с увеличением температуры ионов и электронов

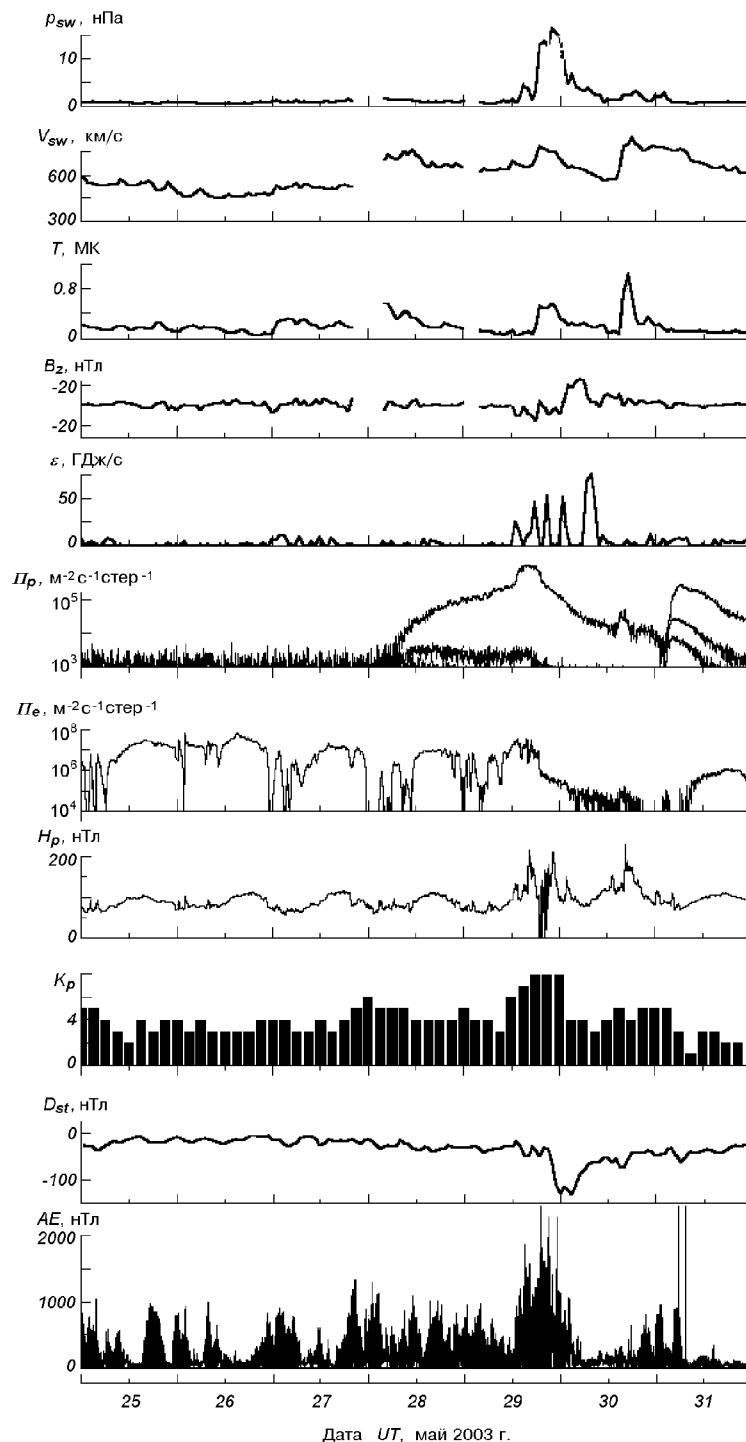


Рис. 1. Параметры солнечного ветра 25—31 мая 2003 г.: динамическое давление  $p_{sw}$ , радиальная скорость  $V_{sw}$ , температура  $T$  (ACE Satellite — Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor),  $B_z$ -компоненты ММП (ACE Satellite — Magnetometer), рассчитанные значения энергии  $\varepsilon$ , передаваемой солнечным ветром в магнитосферу Земли в единицу времени, плотности потоков протонов (ИСЗ GOES-8 (W75)) и электронов (ИСЗ GOES-12),  $H_p$ -компоненты геомагнитного поля (ИСЗ GOES-12), индексы  $K_p$  (Air Force Weather Agency),  $D_{st}$  (WDC-C2 for Geomagnetism, Kyoto University) и  $AE$  (WDC Kyoto)

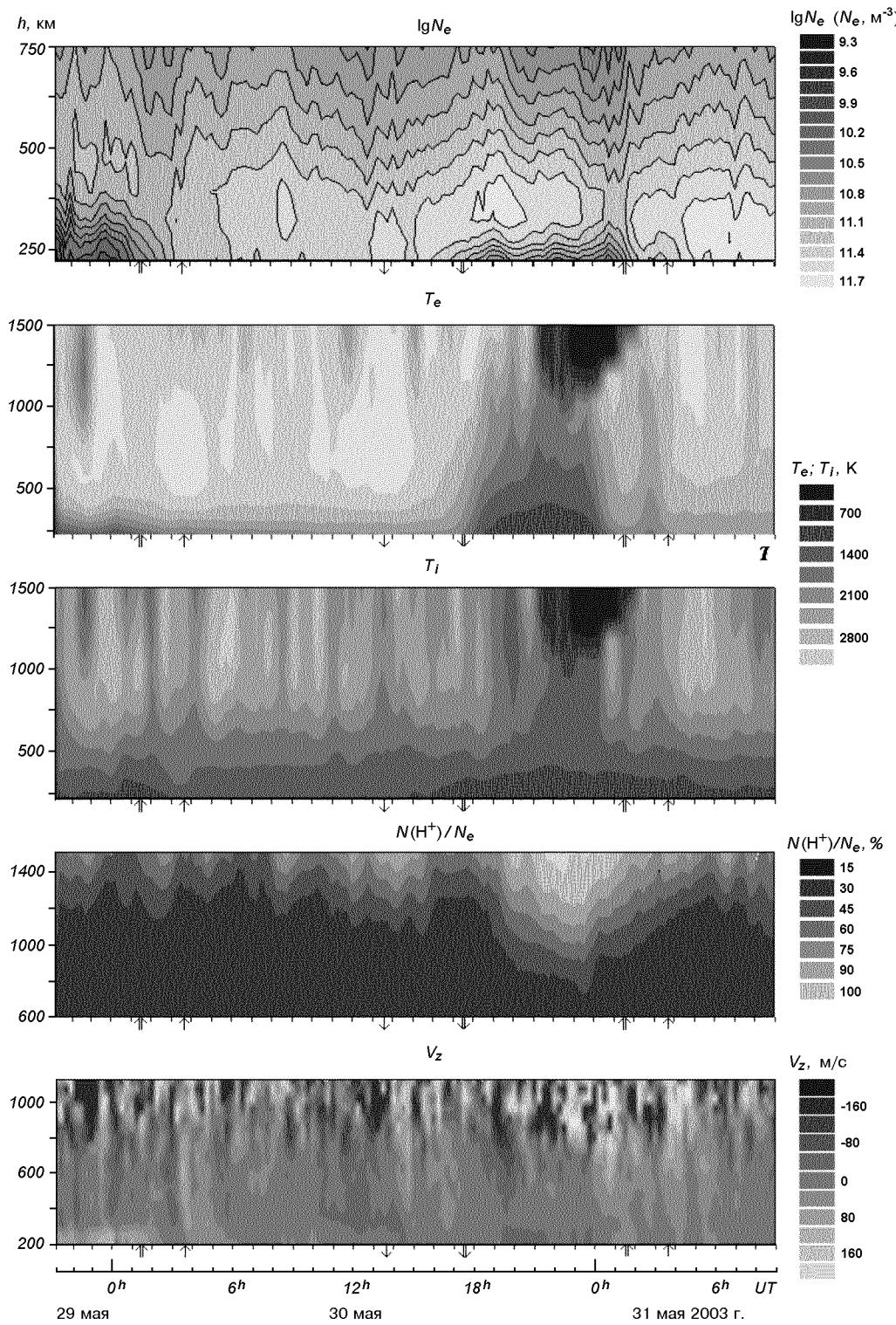


Рис. 2. Высотно-временные вариации параметров ионосферы 29–31 мая 2003 г.:  $\lg N_e$ , температур электронов  $T_e$  и ионов  $T_i$ , относительной концентрации ионов водорода  $N(\text{H}^+)/N_e$ , вертикальной скорости переноса плазмы  $V_z$ . Здесь и далее стрелки на горизонтальной оси обозначают моменты восхода (вверх) и захода (вниз) Солнца в Харькове (двойные) и в магнитосопряженной точке (одинарные) на поверхности Земли. Магнитосопряженная точка для Харькова расположена вблизи острова Мадагаскар

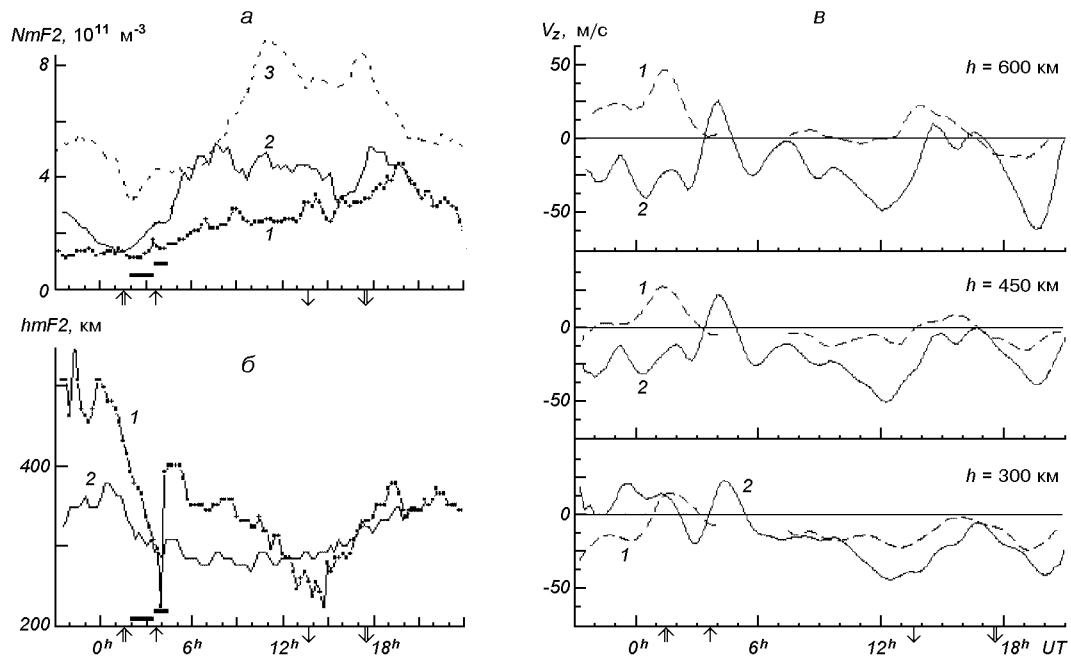


Рис. 3. Временные вариации: *a* — концентрации электронов  $NmF2$  в Харькове в течение 29—30 мая 2003 г. (1), в магнитоспокойные сутки 26—27 мая 1998 г. (2) и в контрольные сутки 19—20 мая 2003 г. (по данным ионозонда в Сан-Вито, Италия) (3), *б* — высоты максимума  $hmF2$  в Харькове 29—30 мая 2003 г. (1) и 26—27 мая 1998 г. (2), *в* — скорости  $V_z$  в спокойные сутки 23—24 июня 1998 г. (1) и возмущенные сутки 29—30 мая 2003 г. (2)

на высотах 300—800 км до дневных значений 1200—2400 К и 2000—3200 К соответственно, тогда как в спокойных условиях значения этих температур ночью составляли около 800 К; увеличение высоты  $hmF2$  примерно на 150 км ночью во время главной фазы магнитной бури и на 70 км вблизи полудня (рис. 2 и 3, *б*). Основной причиной таких возмущений явилась, по-видимому, деформация магнитосферы во время бури, сопровождаемая смещением главного ионосферного провала (ГИП) в средние широты, а также горячей зоны вместе с плазмопаузой на меньшие  $L$ -оболочки [21—23, 33]. Такие события в ионосфере, относящейся к внутренней плазмосфере (для Харькова параметр Мак-Илвейна  $L \approx 1.9$ ), развиваются редко. Смещение ГИП к экватору подтверждалось косвенно максимальными значениями индекса авроральной активности, равными 10, которые были зарегистрированы на спутнике NOAA POES [<http://www.sec.noaa.gov>] во время главной фазы маг-

нитной бури. Значения этого параметра характеризуют мощность энергичных частиц, вторгающихся в атмосферу аврорального овала. Они свидетельствовали о смещении экваториальной границы овала до геомагнитных широт  $\Phi \approx 45—51^\circ$ . При этом овал мог охватывать область ионосферы над харьковским радаром, для которого  $\Phi = 45.7^\circ$ .

Подъем слоя  $F2$  объясняется, по-видимому, воздействием нескольких факторов. Среди них эффекты расширения термосферы, увеличения меридиональной скорости термосферного ветра, направленной к экватору, и смещения к экватору ГИП. Наряду с ними существенный вклад, аналогично магнитной буре 25 сентября 1998 г., могло вносить также проникновение магнитосферных электрических полей в средние широты за счет продолжительного (более суток) высыпания энергичных протонов и электронов. Об этом косвенно свидетельствует увеличение плотностей потоков этих частиц, зарегистрированных

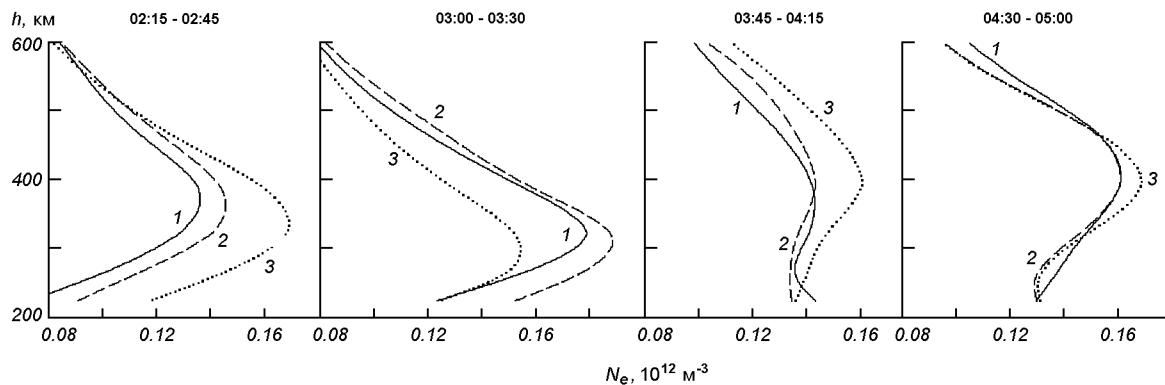


Рис. 4. Высотные профили электронной концентрации  $N_e$  в восходный период возмущенных суток 30 мая 2003 г. в последовательные моменты времени UT

на спутниках GOES-8 и GOES-12 (см. рис. 1). Оценка сверху зональной составляющей электрического поля  $E_y$  в ионосфере над Харьковом по величине изменения  $hmF2$  дала максимальные значения проникающих в ионосферу над Харьковом полей  $E_y \approx 25$  мВ/м ночью и 20 мВ/м днем. При этом для оценки  $E_y$  использовались соотношения из [1].

Обнаружены также ионосферные эффекты, связанные с нестационарностью магнитосферных электрических полей. К ним относится необычное квазипериодическое возмущение скорости  $V_z$  (рис. 3, в) на фоне нарушения утреннего нарастания  $NmF2$ , резкого перепада  $hmF2$  вниз-вверх (на рис. 3, а и б время этих возмущений обозначено горизонтальными отрезками) и деформации слоя (рис. 4) (см. также [2, 6]). Одна из причин таких событий была связана, по-видимому, с проникновением в ионосферу средних широт импульса электрического поля с зональной составляющей  $E_y \approx 20$  мВ/м, направленной на восток [24, 25]. Его источником в магнитосфере мог стать резкий поворот составляющей  $B_z$  межпланетного магнитного поля с юга на север и изменение динамического давления солнечного ветра (см. рис. 1).

Уменьшение относительной концентрации ионов водорода  $H^+$  на высоте 1000–1500 км более чем на порядок величины во время главной фазы бури (в ночь 29/30 мая) с последующим увеличением ее днем 30 мая во время фазы восстановления (рис. 5) свидетельствовали о редких явлениях опустошения и последующего

заполнения геомагнитной силовой трубы [1, 13, 19, 27], расположенной глубоко во внутренней плазмосфере ( $L \approx 1.9$ ), которая обычно мало подвержена влиянию магнитных возмущений. Такие эффекты связаны со смещением ГИП и провала легких ионов к экватору и сопровождаются перестройкой процессов ионосферно-магнитосферного взаимодействия.

Магнитной буре сопутствовали термосферные возмущения. Расчеты по модели MSIS-86 показали, что 30 мая, например, в дневное время около 08:00 UT изменение нейтрального состава, при котором параметр  $p = N(O)/(N(N_2) + N(O_2))$  уменьшился в 1.4 раза, не могло обеспечить наблюдаемое в это время уменьшение  $NmF2$  в 2.5 раза и, как в случае бури 25 сентября 1998 г., требовало корректировки модели либо привлечения других факторов, рассмотренных выше.

Температура нейтралов  $T_n$  в течение главной фазы МБ, как показали расчеты [2, 6], увеличилась на 200–350 К на высотах 220–470 км и составила 1000–1350 К (рис. 6). Нагрев термосферы привел к увеличению высоты термопаузы до 400 км в течение главной фазы МБ, тогда как в спокойный день ее высота составляла около 300 км.

Значительные изменения теплового режима плазмы сопутствовали рассматриваемой магнитной буре. Как показали расчеты [2, 6] по данным харьковского радара с привлечением модели MSIS-86, в возмущенный день вблизи полудня скорость нагревания электронного газа

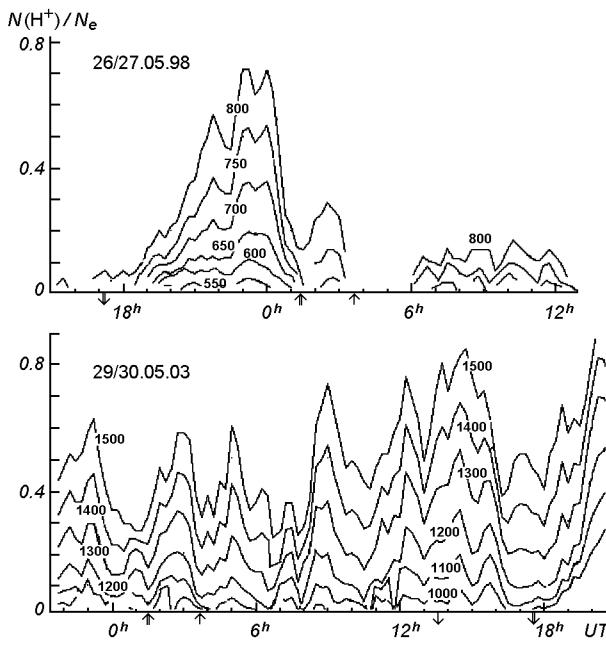


Рис. 5. Вариации относительной концентрации ионов водорода  $N(\text{H}^+)/N_e$  на фиксированных высотах (числа у кривых) в контрольные сутки 26—27 мая 1998 г. и возмущенные сутки 29—30 мая 2003 г.

$Q/N_e$  уменьшилась по сравнению со спокойным днем в 1.6 раза. На рис. 7 приведены результаты расчета энергии  $Q/N_e$ , подводимой к электрону в единицу времени, а также составляющих потерь энергии электронов в процессе теплообмена с ионами  $L_{ei}/N_e$  и нейтралами  $L_e/N_e$ . Видно, что в спокойных и возмущенных условиях вклад составляющих  $L_{ei}/N_e$  и  $L_e/N_e$  в процесс охлаждения электронного газа был различным. Уменьшение  $Q/N_e$  привело к увеличению плотности теплового потока  $\Pi_T$ , переносимого из плазмосферы за счет теплопроводности электронов, в 1.2 раза (рис. 8). Расчеты  $\Pi_T$  по данным радара в Харькове представлены, например, в работах [2, 6]. Особенностью теплового режима ионосферы стало увеличение  $Q/N_e$  и плотности потока тепла  $\Pi_T$  во время главной фазы МБ (в ночь 29/30 мая). В спокойных условиях их значения ночью близки к нулю. Это свидетельствовало об изменении процессов, контролирующих тепловой баланс в системе ионосфера — плазмосфера во время МБ [20, 34].

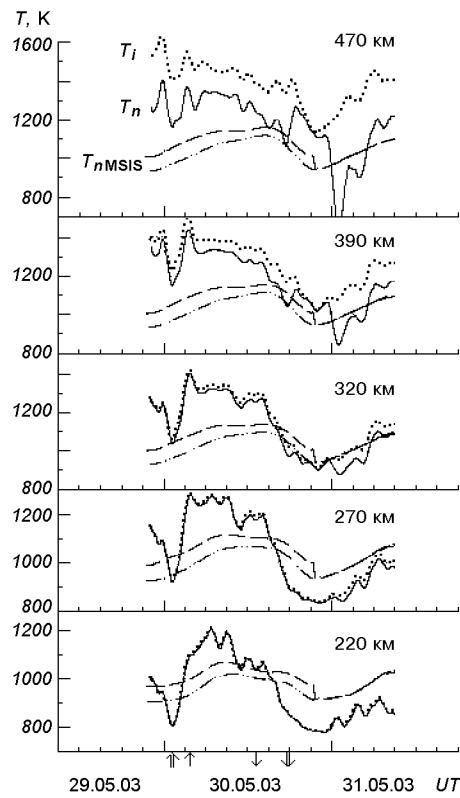


Рис. 6. Измеренные температуры ионов  $T_i$  (пунктир) и рассчитанные температуры нейтралов  $T_n$  по данным радара НР (сплошные линии) и  $T_{nMSIS}$  по модели MSIS-86 (штрихи) во время магнитной бури 29—31 мая 2003 г. Приведены также значения  $T_{nMSIS}$  для спокойных суток 19 мая 2003 г. (штрих-пунктир)

**Очень сильная магнитная буря 17—20 апреля 2002 г. по наблюдениям глобальной сети радаров НР.** Радар в Харькове является единственной установкой НР в средних широтах европейского региона. Благодаря своему географическому положению он исключительно удачно дополняет мировую сеть радаров НР. С одной стороны, находясь на близкой географической широте с радарами Миллстоун Хилл ( $42.6^\circ \text{ N}$ ) и Иркутска ( $52^\circ \text{ N}$ ), радар в Харькове ( $49.6^\circ \text{ N}$ ) вписывается в среднеширотную цепочку радаров, опоясывающую Западное и Восточное полушария. С другой стороны, радар в Харькове, расположенный на близкой геомагнитной долготе с обсерваторией EISCAT, образует европейскую цепочку радаров НР, которая аналогична

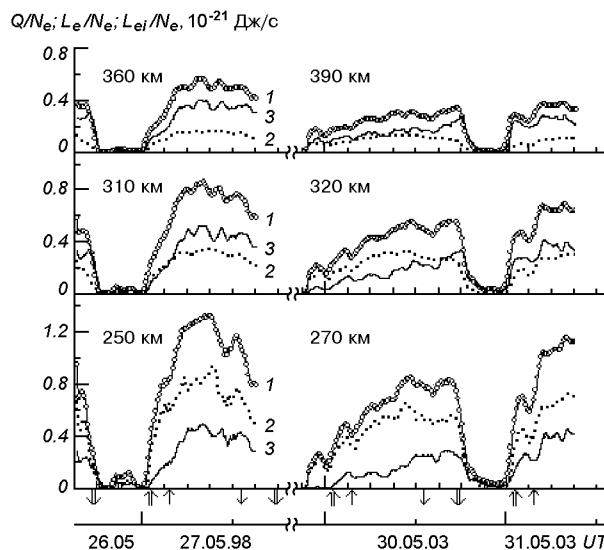


Рис. 7. Временные вариации скоростей нагрева электронного газа (из расчета на один электрон)  $Q/N_e$  (1) и теплообмена электронов с атомами кислорода  $L_e/N_e$  (2) и ионами  $L_{ei}/N_e$  (3) в контрольные сутки 26—27 мая 1998 г. и во время магнитной бури 29—31 мая 2003 г.

цепочке американского континента. Такая сеть радаров позволяет исследовать глобальные процессы в ионосфере, в том числе широтно-долготные эффекты в развитии бури, и использовать их при разработке глобальных моделей ионосферы.

Измерения проводились в соответствии с международной программой координированных наблюдений проекта CEDAR [26]. Цель кампании состояла в исследовании глобальных эффектов магнитных бурь с привлечением обширной сети наземных исследовательских средств: приемников навигационной системы GPS, ионозондов и радаров НР. В этом эксперименте одновременно участвовала вся мировая сеть радаров НР. В нее входят восемь радаров, принадлежащих обсерваториям Сондрестром, Миллстоун Хилл, Аресибо, Джикамарка, EISCAT (два радара), Харькова и Иркутска.

Параметры, описывающие состояние космической погоды, приведены на рис. 9. В рассматриваемый период имели место две магнитные бури, которые протекали на фоне значительных вариаций  $B_z$ -составляющей ММП, индексов  $D_{st}$  и  $K_p$ . Бурам предшествовали две вспышки на

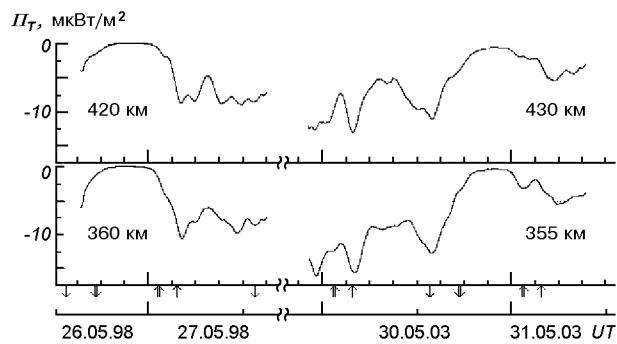


Рис. 8. Временные вариации плотности  $\Pi_T$  потока тепла, переносимого электронами из плазмосферы в ионосферу, в контрольные сутки 26—27 мая 1998 г. и во время магнитной бури 29—31 мая 2003 г.

Солнце класса M, которые произошли 15 и 17 апреля и сопровождались выбросами корональной массы (CME), направленными в сторону Земли. Приход первого облака солнечной плазмы зарегистрирован на спутнике ACE 17 апреля около 10:22 UT, за ним последовал поворот к югу  $B_z$ -составляющей ММП с максимальным ее значением  $-28$  нТл. Приход второго облака CME зарегистрирован на ACE 19 апреля в 08:04 UT, при этом  $B_z$  достигала  $-17$  нТл в течение 19 и 20 апреля. Индекс  $D_{st}$  сильно изменялся, достигая минимальных значений  $-105$  нТл 17 апреля в 18:00 UT,  $-123$  нТл 18 апреля в 08:00 UT,  $-120$  нТл 19 апреля в 19:00 UT и  $-148$  нТл 20 апреля в 07:00 UT. Максимальные значения индекса  $K_p \approx 6, 7, 6$  и  $7$  в течение 17, 18, 19 и 20 апреля, а индекса  $A_p = 41, 54, 44$  и  $62$  в те же дни соответственно.

Подробное описание отклика ионосферы на данную бурю в глобальном масштабе дано в работе [26]. Здесь приведена та часть результатов, которая была получена на радаре в Харькове до 16:00 UT 17 апреля, т. е. в течение главной фазы первой бури. Особенность ионосферной бури состояла в значительном уменьшении электронной концентрации в высоких широтах с постепенным ослаблением этого эффекта в направлении к средним широтам. В высоких широтах по данным радара EISCAT отрицательная фаза ионосферного возмущения развивалась очень быстро. Это свидетельствовало об

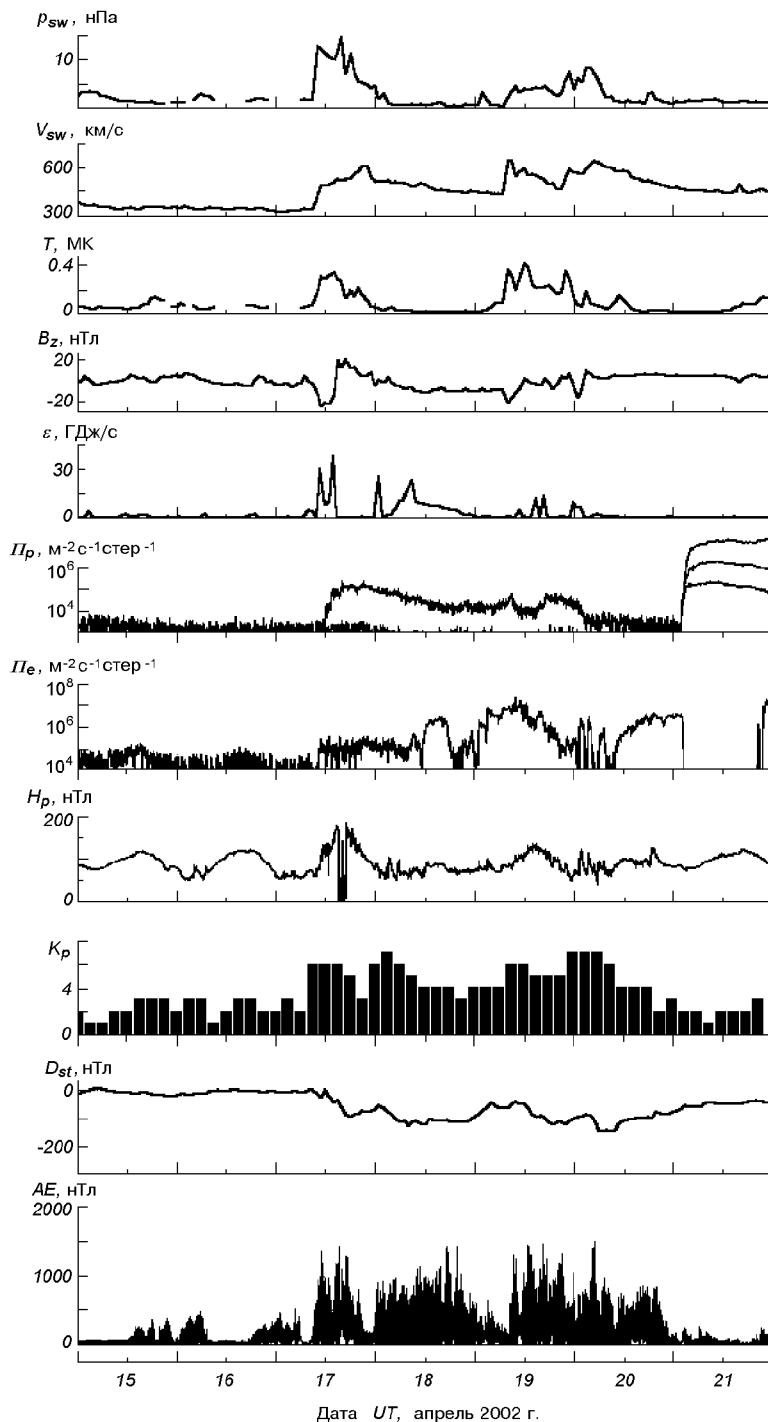


Рис. 9. Параметры солнечного ветра 15—21 апреля 2002 г.: динамическое давление  $p_{sw}$ , радиальная скорость  $V_{sw}$ , температура  $T$  (ACE Satellite — Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor),  $B_z$ -компоненты ММП (ACE Science Center), рассчитанные значения энергии  $\varepsilon$ , передаваемой солнечным ветром в магнитосферу Земли в единицу времени, плотности потоков протонов (ИСЗ GOES-8 (W75)) и электронов (ИСЗ GOES-8),  $H_p$ -компоненты геомагнитного поля (ИСЗ GOES-8), индексы  $K_p$  (Air Force Weather Agency),  $D_{st}$  (WDC-C2 for Geomagnetism, Kyoto University) и  $AE$  (WDC Kyoto)

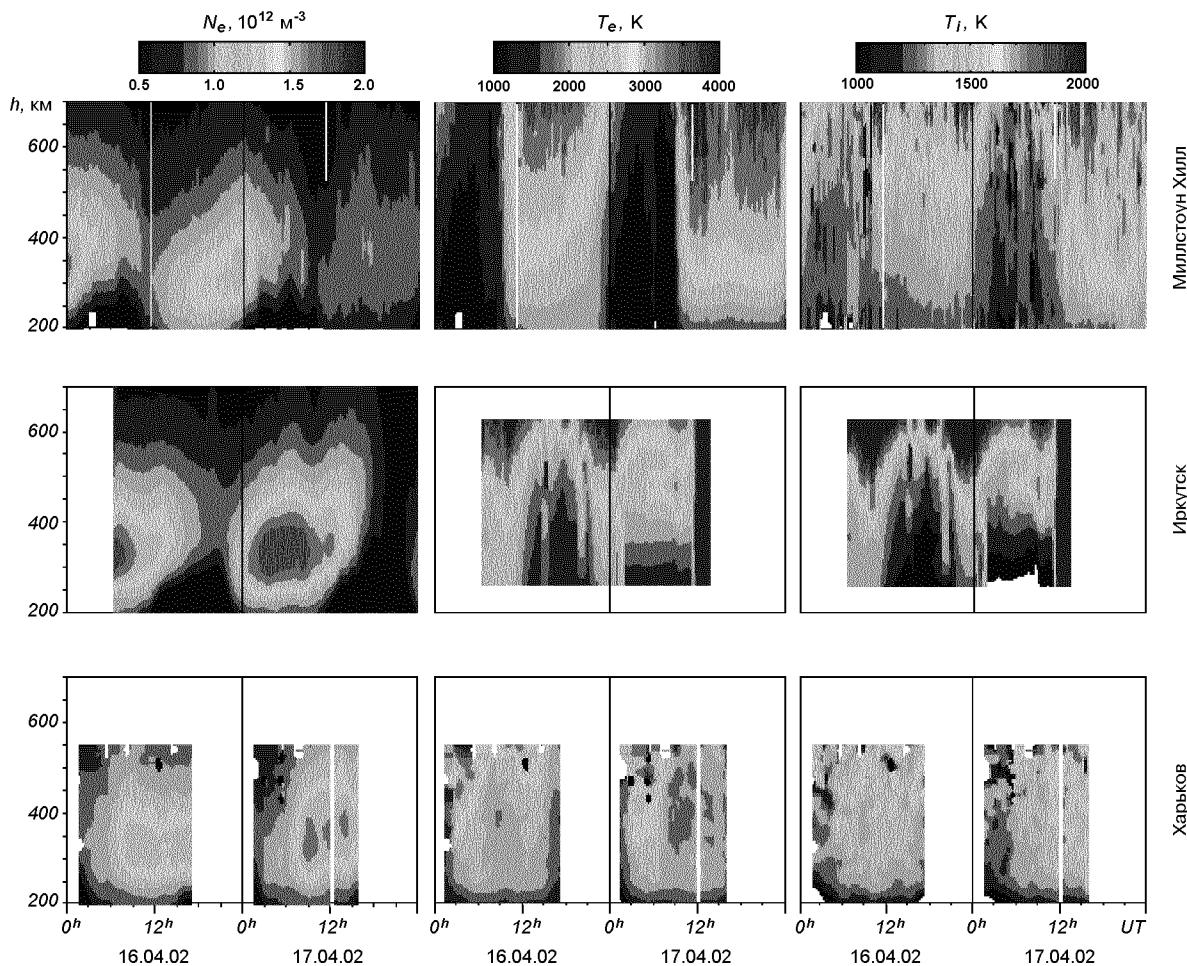


Рис. 10. Высотно-временные вариации электронной концентрации  $N_e$  (слева), температур электронов  $T_e$  (посередине) и ионов  $T_i$  (справа) 16—17 апреля 2002 г. по данным среднеширотных радаров НР Миллстоун Хилла, Иркутска и Харькова

усиления электрических полей в авроральном овале и быстрым изменением состава термосферы. Распространение отрицательной фазы к средним широтам проходило с задержкой, которая нарастала с уменьшением широты. Например, в Иркутске это запаздывание составило 6 ч, что соответствовало скорости распространения возмущения около 100 м/с. В субавроральной области (обсерватория Миллстоун Хилл) поведение ионосферы сочетало в себе особенности высоких и средних широт, с хорошо выраженным откликом ионосферы на начало бури и последующим углублением отрицательной фазы

(рис. 10). В дневном секторе средних широт восточного полушария (в Харькове) была зарегистрирована положительная фаза ионосферной бури с увеличением  $NmF2$  на 15 % в интервале времени 12:00—14:00 UT, что можно объяснить преобладанием эффекта усиления направленного к экватору меридионального ветра, связанного с высокоширотным нагревом.

Значительный нагрев верхней атмосферы наблюдался в высоких широтах с преобладающим эффектом в утреннем секторе западного полушария (рис. 10). Более всего нагрев был выражен в районе радара Сондрестром (широта

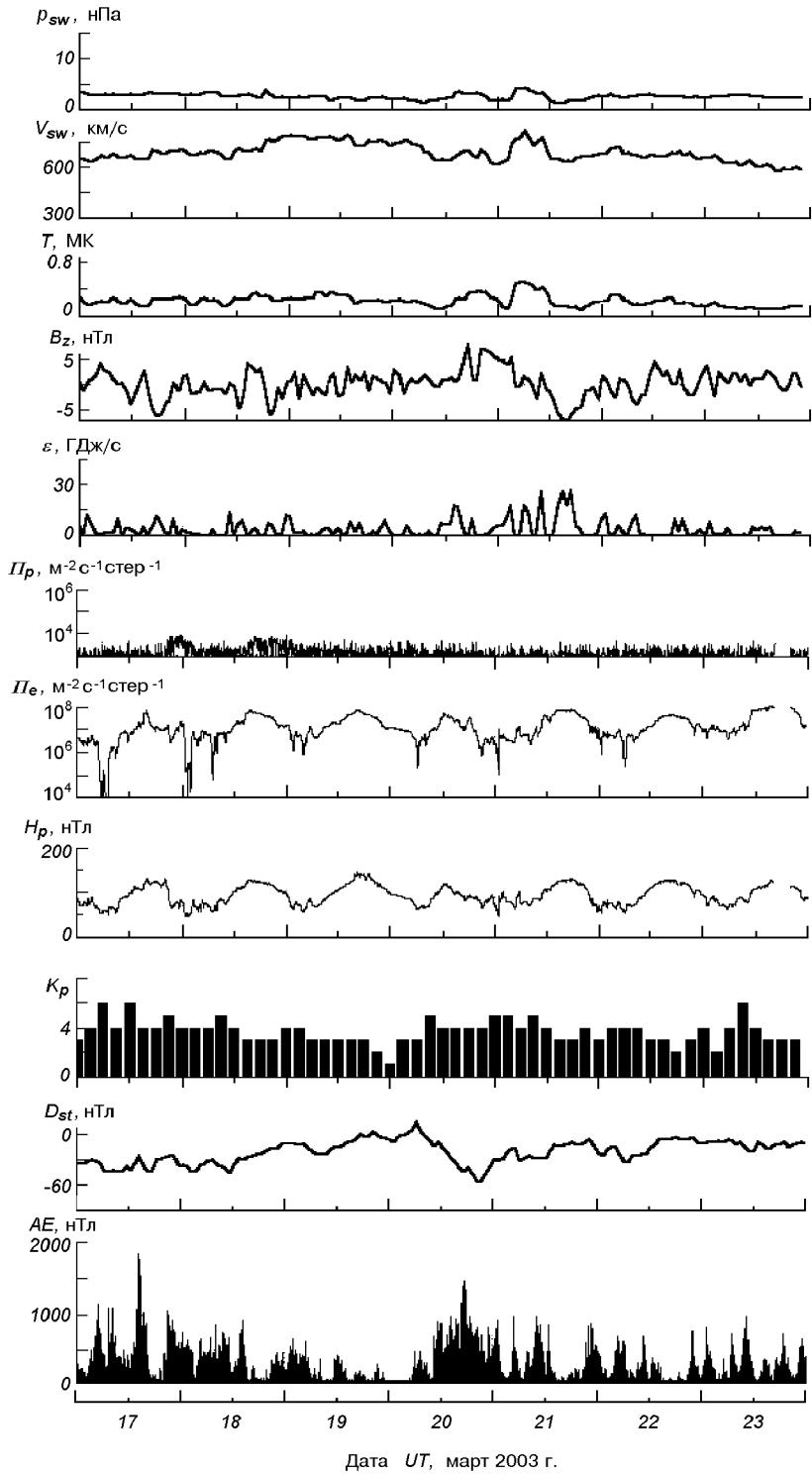


Рис. 11. Параметры солнечного ветра 17—23 марта 2003 г.: динамическое давление  $p_{sw}$ , радиальная скорость  $V_{sw}$ , температура  $T$  (ACE Satellite — Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor),  $B_z$ -компоненты ММП (ACE Satellite — Magnetometer), рассчитанные значения энергии  $\varepsilon$ , передаваемой солнечным ветром в магнитосферу Земли в единицу времени, плотности потоков протонов (ИСЗ GOES-8 (W75)) и электронов (ИСЗ GOES-12),  $H_p$ -компоненты геомагнитного поля (ИСЗ GOES-12), индексы  $K_p$  (Air Force Weather Agency),  $D_{st}$  (WDC-C2 for Geomagnetism, Kyoto University) и  $AE$  (WDC Kyoto)

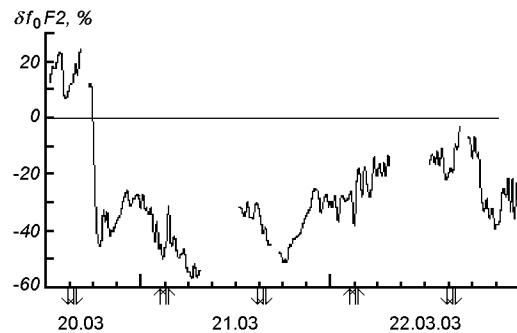


Рис. 12. Временные вариации отклонения  $\delta f_0 F2$  критической частоты от значений в контрольные сутки в течение двухфазной ионосферной бури 20–22 марта 2003 г. по данным ионозонда в Харькове. В качестве контрольных взяты данные ионозондов в Харькове и в Сан-Вито за 19 марта 2003 г.

$67^{\circ}$  N), ослабевая в субавроральной области (обсерватория Миллстоун Хилл), где превышение  $T_i$  составило 200–300 K, и уменьшаясь до значения вариаций температур ото дня ко дню в низких широтах (обсерватория Аресибо, широта  $18.3^{\circ}$  N). В Аресибо отклик ионосферы на бурю проявился как колебание высоты  $F$ -слоя в пределах 90 км. Зарегистрированы также эффекты проникновения магнитосферных электрических полей из высоких в низкие широты и необычное увеличение в дневное время меридионального термосферного ветра, направленного к экватору. В средних широтах увеличение скорости меридионального ветра привело к подъему слоя  $F2$  (в Харькове примерно на 50 км), в низких широтах западного полушария (обсерватория в Джикамарке, широта  $11.9^{\circ}$  S) этот эффект был выражен слабо.

**Умеренная магнитная буря 20–21 марта 2003 г.** Наблюдения проводились 19–23 марта в соответствии с международной программой Storms/TIMED/LTCS. Радар работал в режиме двухимпульсного зондирования [14] в диапазоне высот 100–550 км с высотным разрешением около 10 км. Состояние космической погоды иллюстрирует рис. 11. Рассматриваемый период характеризовался высокой вспышечной активностью Солнца. Однако геоэффективность вспышек была небольшой, их результатом явилась умеренная МБ 20–21 марта 2003 г. с индексами  $A_p = 21$  и  $29$ ,  $K_{p\max} = 5.0$ ,  $D_{st\min} = -57$  нТл,

$B_{z\min} = -7$  нТл. Буря началась внезапно 20 марта около 04:45 UT, главная фаза продолжалась до 20:00 UT, а фаза восстановления — до конца наблюдений. Эффекты данной бури подробно описаны в работах [3, 4, 7, 10]. Здесь мы остановимся кратко на основных особенностях бури.

Магнитную бурю сопровождала двухфазная ионосферная буря (рис. 12, 13). Особенность этой бури состояла в том, что ее сильнейшая отрицательная фаза протекала на фоне умеренного возмущения геомагнитного поля (индекс  $K_{p\max} = 5$ ). Зафиксированы максимальные значения  $f_0 F2$ , равные 11.3 МГц 20 марта и 5.8 МГц 21 марта, что соответствовало увеличению  $NmF2$  примерно в 1.5 раза во время положительной фазы бури и уменьшению  $NmF2$  до пяти раз — в течение отрицательной фазы по сравнению с контрольным днем. Поведение концентрации электронов  $N_e$  и других параметров ионосферы во время бури в диапазоне высот 100–550 км иллюстрирует рис. 14. Зарегистрировано большое отличие дневных значений температур электронов  $T_e$  во время положительной (1300 K на высоте 300 км) и отрицательной (2400 K) фаз бури, тогда как в спокойный день  $T_e = 1700$  K. Отличия значений  $T_e$  в рассматриваемые дни объясняются разной скоростью охлаждения электронного газа при упругом теплообмене с ионами, которая пропорциональна  $N_e^2$ . Увеличение температуры ионов  $T_i$  в дневное время на высотах 250–300 км составляло около 50 K 20 марта и 100–150 K 21 марта. Оно, по-видимому, определялось воздействием высокоширотного источника нагрева, который не был значительным во время умеренной МБ (см. зависимость  $\varepsilon(t)$  на рис. 11), а также увеличенным теплообменом ионов с электронами за счет большой разности температур электронов и ионов 21 марта.

Положительная фаза 20 марта носила характер длительного (6 ч) возмущения. Ее причиной, по-видимому, было усиление меридионального ветра  $V_{nx}$  к экватору, связанное с высокоширотным нагревом термосферы [11, 12, 23]: оценки по результатам измерений дали увеличение  $V_{nx}$  на 25 м/с (рис. 15), что привело к наблюдаемому увеличению  $hmF2$  примерно на 20 км [3, 4, 7, 10].

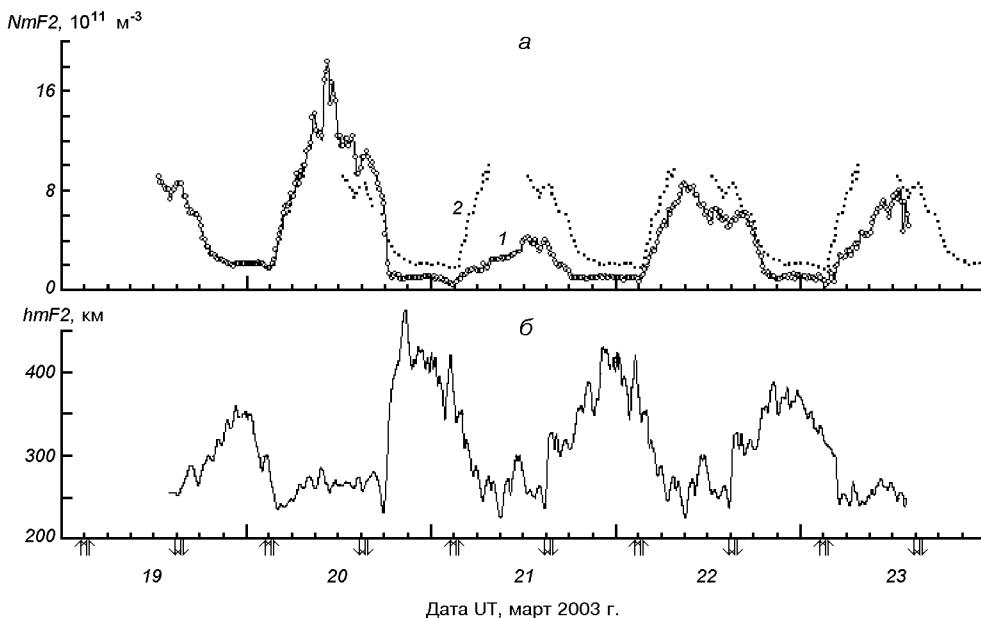


Рис. 13. Временные вариации: *а* — электронной концентрации  $NmF2$  в максимуме слоя  $F2$  (1 — измеренной в Харькове в течение 19—23 марта, 2 — в контрольные сутки), *б* — высоты максимума  $hmF2$

Смена фаз бури произошла 20 марта при заходе Солнца (в интервале 17:00—18:00 UT). В этот период были зарегистрированы необычно быстрый перепад высоты  $hmF2$  на 50 км вниз и затем вверх примерно на 200 км (рис. 13, *б*) на фоне уменьшения  $NmF2$  в два раза при уменьшении  $hmF2$  на 50 км и квазипериодического изменения вертикальной скорости плазмы  $V_z$  примерно от +10 до -35 м/с и далее до +20 м/с на высоте 300 км (см. рис. 15). Одной из основных причин быстро протекающих ионосферных эффектов мог быть импульс электрического поля в ионосфере над Харьковом с зональной составляющей  $E_y$ , изменяющей направление с запада на восток и имеющей значения около -10 и +15 мВ/м (при типичных невозмущенных значениях поля  $E_y$  около 1 мВ/м) [24, 25]. Импульс, по-видимому, был вызван проникновением магнитосферного электрического поля в средние широты во время интенсивной суббури с индексом  $AE \approx 1500$  нТл, которая наблюдалась около 18:00 UT, т. е. с развитием электрической бури. Случай таких быстрых «переключений» восточно-западного направления электрического поля объясняются изменениями электродинамической обстановки во время магнито-

сферной суббури (градиентов проводимости, электрических полей и токов на краях западной авроральной электроструи), нестационарностью магнитосферной конвекции (см. [31, 32]). Именно импульс электрического поля в ионосфере, по-видимому, явился одной из причин смены фаз бури.

Еще один механизм внес существенный вклад в увеличение  $hmF2$  в процессе смены фаз бури, а именно перемещающееся атмосферное возмущение (ПАВ) [30—32], которое, вероятно, было вызвано более ранней и менее интенсивной суббурой около 16:00 UT ( $AE = 1000$  нТл). Эффекты ПАВ проявились в запаздывании возмущения скорости  $V_z$ , которое распространялось сверху вниз (рис. 15). Запаздывание составило 80 мин в интервале высот 400—200 км. Это соответствовало скорости около 40 м/с, значение которой характерно для вертикальной составляющей скорости внутренних гравитационных волн (ВГВ). Кроме того, амплитуда возмущения  $V_z$  нарастала до высоты 350 км, после чего стала уменьшаться. Такие особенности диссилиации энергии волн с увеличением высоты также типичны для ВГВ.

Началом сильного отрицательного возмуще-

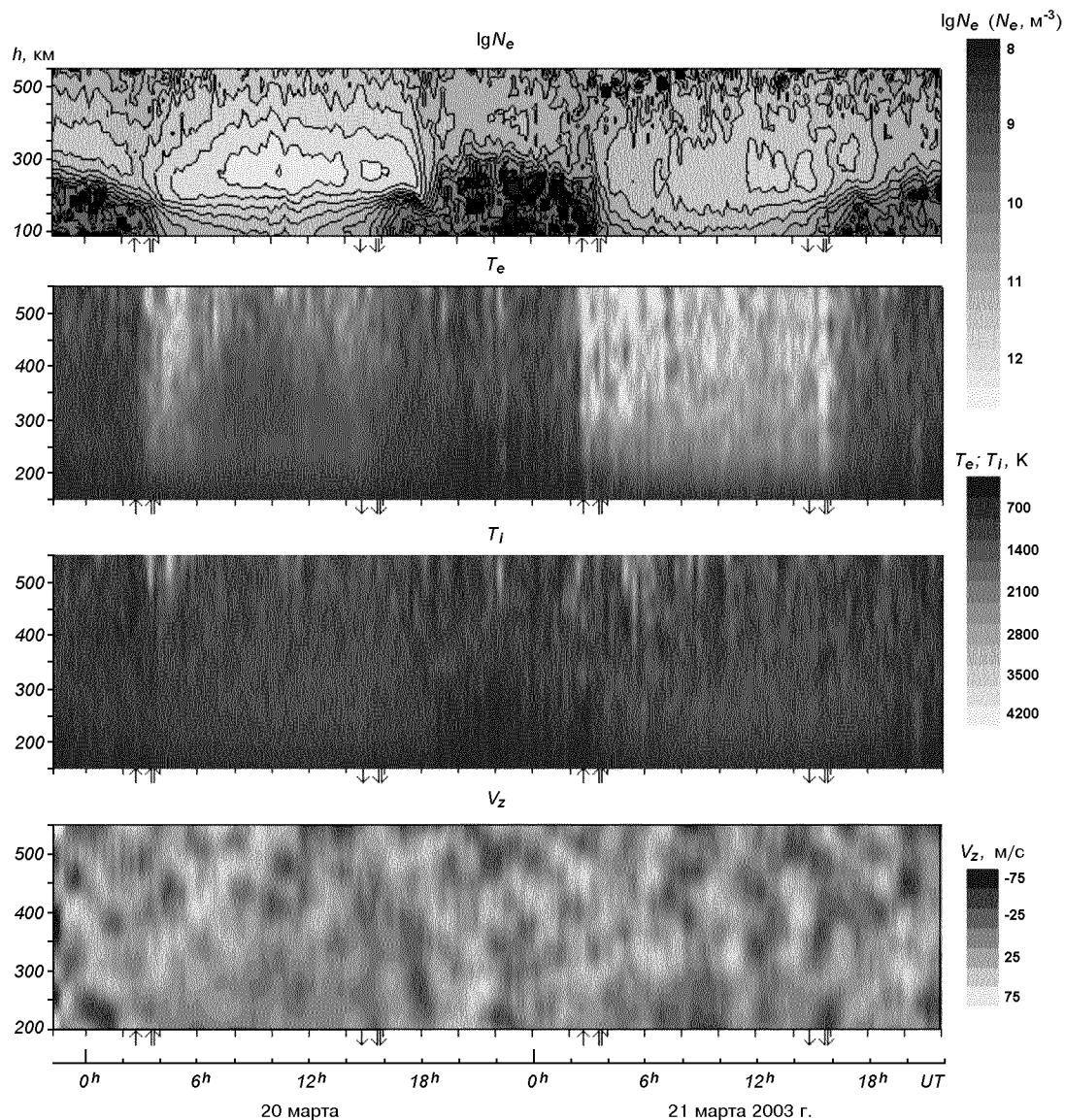


Рис. 14. Высотно-временные вариации параметров ионосферы 20—21 марта 2003 г.:  $\lg N_e$ , температур электронов  $T_e$  и ионов  $T_i$ , вертикальной скорости переноса плазмы  $V_z$

ния послужило уменьшение  $NmF2$  в два раза при смене фаз бури, тогда как в спокойный день оно составляло около 20 %. Оценки показали [3, 4, 7, 10], что уменьшение  $NmF2$  произошло за счет увеличения нисходящей скорости переноса плазмы  $V_z$  (рис. 15) и изменения скорости  $W$  на  $-25$  м/с вблизи максимума слоя  $F2$  на фоне увеличения коэффициента потерь  $\beta$  ( $O^+$ )

почти в пять раз при снижении  $hmF2$  примерно от 280 до 230 км (рис. 13, б). Дальнейшее развитие депрессии  $N_e$ , по-видимому, было связано с изменением нейтрального состава с максимумом в утреннем секторе [30, 31], к которому с восходом Солнца и увеличением температуры  $T_e$  до 2000—3500 К мог добавиться также вклад колебательно-возбужденных молекул

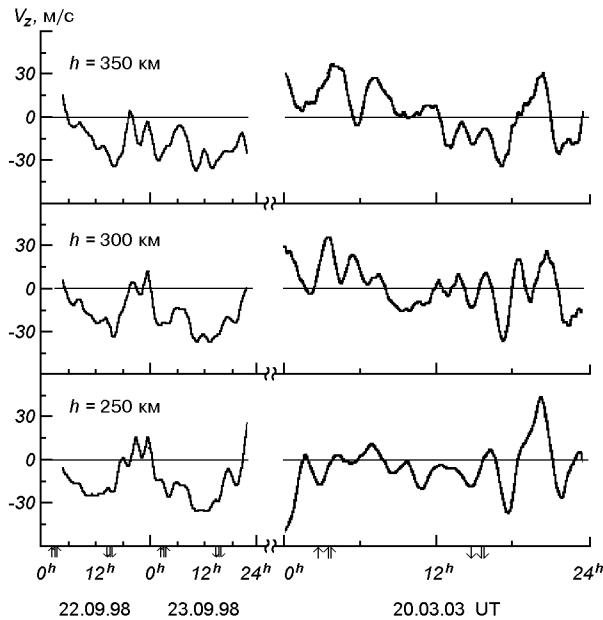


Рис. 15. Временные вариации вертикальной составляющей скорости  $V_z$  переноса плазмы: *a* — в спокойные сутки 22–23 сентября 1998 г., *б* — в возмущенные сутки 20 марта 2003 г.

$N_2(v)$  в увеличение потерь ионов  $O^+$  [23, 28, 29].

Рассматриваемая умеренная магнитная буря не вызвала существенных термосферных возмущений. Расчеты показали [3, 4, 7, 10], что температура нейтралов  $T_n$  в дневное время увеличилась примерно на 50 и 100 К в течение положительной и отрицательной фаз ИБ, а высота термопаузы, где атмосфера становится изотермичной, составляла около 300 км, как и в спокойный день. При этом установлено, что модель MSIS-86 дает заниженные значения  $T_n$  по сравнению с расчетными величинами в дневное время. В слабо возмущенных условиях 22 марта на высоте 300 км отличия составляли около 120 К, во время бури — до 150 К 20 марта и до 180 К 21 марта.

В то же время тепловой режим плазмы оказался очень чувствительным к ионосферным возмущениям. Расчеты показали, что подвод энергии к электронному газу  $Q/N_e$  около полудня во время отрицательной фазы бури (21 марта) превышал значение  $Q/N_e$  в течение положительной фазы (20 марта) в 2.5–4 раза, а в слабо возмущенные сутки (22 марта) — до двух раз (рис. 16). При этом во время отрицательной фазы отмечена также наибольшая по модулю величина плотности потока тепла  $\Pi_T$ , переноси-

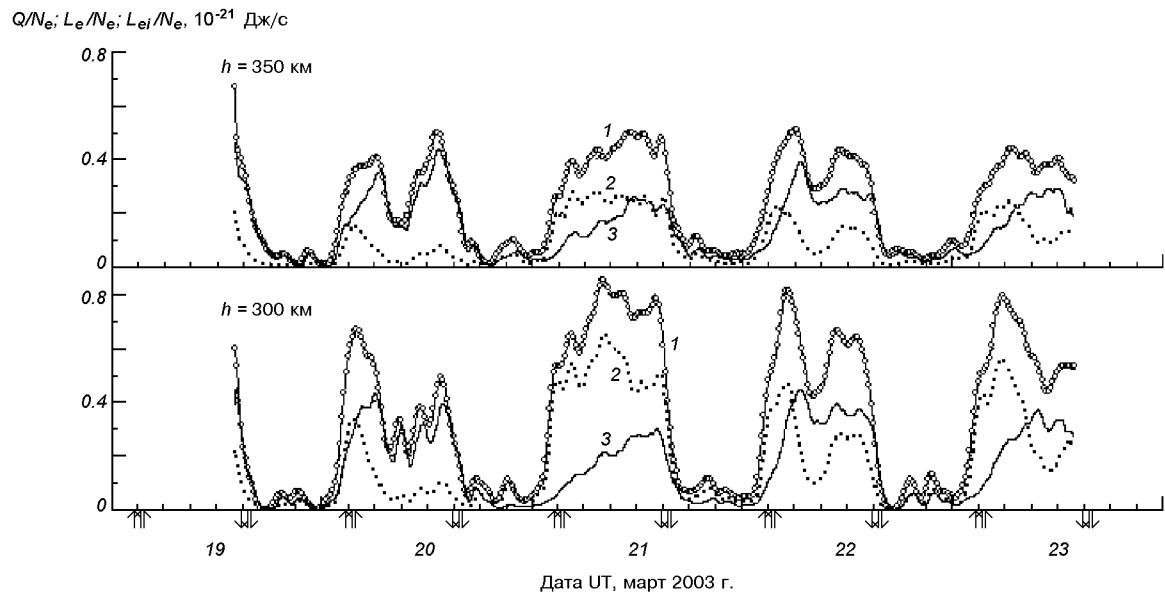


Рис. 16. Временные вариации скоростей нагрева электронного газа (из расчета на один электрон)  $Q/N_e$  (*1*) и теплообмена электронов с атомами кислорода  $L_e/N_e$  (*2*) и ионами  $L_{ei}/N_e$  (*3*) в период 19–23 марта 2003 г.

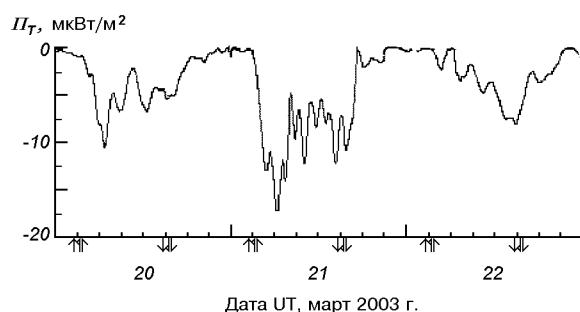


Рис. 17. Временные вариации плотности  $\Pi_T$  потока тепла, переносимого электронами из плазмосферы в ионосферу, на высоте 445 км в период 20–22 марта 2003 г.

мого электронами из плазмосферы (рис. 17). Это свидетельствовало о значительном изменении теплового баланса между ионосферой и плазмосферой во время бури.

## ОБСУЖДЕНИЕ

На примере рассмотренных особенностей пяти магнитных бурь, которые охватывают около полуцикла солнечной активности, и сопутствующих им процессов в ионосфере над Харьковом (табл. 1) можно сформулировать основные закономерности этих процессов. Описанные ионосферные бури можно условно разделить на три группы.

К *первой группе* относятся интенсивные ионосферные бури, развивающиеся в периоды крайне сильных магнитных бурь ( $K_{p\max} \geq 8$ ). К ним принадлежали магнитные бури 25 сентября 1998 г., 29–30 мая 2003 г. и 7–10 ноября 2004 г. Они имели продолжительные периоды (от 6–9 до 12 ч) высокой геомагнитной активности ( $K_p \geq 8$ ), минимальные значения индекса  $D_{st} = -210, -131$  и  $-383$  нТл, активный период главной фазы бури протекал с высокими значениями производной  $|D_{st} / dt| = 35–65$  нТл/ч, характеризующей скорость нарастания магнитосферного кольцевого тока, а значит и мощность МБ, и приходился на интервал времени, когда харьковский радар находился в ночном и предутреннем секторах. Сопровождающим их ионосферным бурям были присущи редкие для средних широт возмущения: уменьшение в течение

главной фазы МБ электронной концентрации  $NmF2$  до 3.5–7 раз; подъем слоя  $F2$  на 100–180 км днем и на 150–300 км ночью; ночное нагревание плазмы до 2400–3200 К; увеличение температуры нейтралов на 200–600 К и увеличение высоты термопаузы не менее чем до 400 км; изменение процессов, контролирующих тепловой баланс ионосферы и плазмосферы; значительное уменьшение относительной концентрации ионов водорода  $N(H^+)/N_e$  во время главной фазы бури и ее последующее нарастание в фазе восстановления. Основной причиной возмущений является деформация магнитосферы, которая сопровождается смещением главного ионосферного провала, провала легких ионов и горячей зоны на геомагнитные оболочки  $L$ , лежащие глубоко во внутренней плазмосфере (для Харькова  $L = 1.9$ ).

Деформация магнитосферы является результатом взаимодействия солнечного ветра и переносимого им ММП с геомагнитным полем, которое может приводить к пересоединению силовых линий геомагнитного и межпланетного магнитных полей при усилении южного компонента последнего, в рассматриваемых бурях  $B_z \approx -15...-45$  нТл. Отметим, что для данной группы бурь величина инжектируемой в магнитосферу энергии солнечного ветра  $\varepsilon \geq 75...450$  ГДж/с была значительной. Нестационарные возмущения магнитосферных электрических полей, сопровождающие усиление авроральных электроструй во время суббури на фоне бури, а также продолжительные высapsulationы энергичных частиц из магнитосферы могли приводить к проникновению магнитосферных электрических полей в средние широты и дестабилизировать состояние ионосферы. Результатом этих событий стали значительные изменения параметров ионосферы.

Ко *второй группе* относится интенсивная ионосферная буря, сопровождающая умеренную магнитную бурю 20–21 марта 2003 г. ( $K_{p\max} = 5$ ). Последняя явилась откликом геомагнитного поля на малое поступления энергии солнечного ветра в магнитосферу (энергетическая функция Акасофи  $\varepsilon_{\max} \approx 30$  ГДж/с). Буря началась в утренние часы (04:45 UT), главная фаза развивалась медленно ( $|D_{st} / dt| \approx 5$  нТл/ч), достигнув  $D_{st\min} = -57$  нТл в 20:00 UT. Ионосферная буря имела двухфазный

Таблица 1. Основные параметры геокосмических бурь (индекс «0» относится к невозмущенным условиям, г. ф. МБ — главная фаза магнитной бури, о. ф. ИБ — отрицательная фаза ионосферной бури)

Параметр	7—10 ноября 2004 г.	25 сентября 1998 г.	29—30 мая 2003 г.	17 апреля 2002 г.	20—21 марта 2003 г.
$K_{p\max}$	9—	8+	8+	7	5
$D_{st\min}$ , нТл	-373	-210	-131	-105	-57
$B_{z\min}$ , нТл	-45	-17	-15	-24	-7
$AE$ , нТл	2500	2000—2500	2000—2500	1500	1500
$\varepsilon_{\max}$ , ГДж/с	450	100	75	40	30
$NmF2/(NmF2)_0$ (п. ф. ИБ)	—	—	—	1.15 (г. ф. МБ, день)	1.5 (г. ф. МБ, день)
$\Delta hmF2$ , км (п. ф. ИБ)	—	—	—	50	20
$(NmF2)_0/NmF2$ (о. ф. ИБ)	6—7 (вблизи г. ф. МБ)	3.5 (г. ф. МБ, ночь)	4 (г. ф. МБ)	—	5
$\Delta hmF2$ , км (о. ф. ИБ)	300 (ночь) 150—180 (день) (г. ф. МБ)	100 (г. ф. МБ, ночь)	160 (г. ф. МБ)	—	> 100 (ночь и утро после г. ф. МБ)
$\Delta T_e = T_e - T_{e0}$ , К	1100	750	1400—2400	≈0	700
$T_e/T_{e0}$	2.6 (300 км г. ф. МБ, ночь)	1.5 (500 км, г. ф. МБ, утро)	2.75—4 (≈300—800 км, г. ф. МБ, ночь)	≈1 (300 км, г. ф. МБ, день)	1.4 (300 км, о. ф. ИБ, день)
$\Delta T_i = T_i - T_{i0}$ , К	450	400	400—1400	≈0	100
$T_i/T_{i0}$	1.6 (300 км, г. ф. МБ, ночь)	1.4 (500 км, г. ф. МБ, утро)	1.5—3 (≈300—800 км, г. ф. МБ, ночь)	≈1 (300 км, г. ф. МБ, день)	≈1.1 (300 км, о. ф. ИБ, день)
$\Delta T_n = T_n - T_{n0}$ , К	680	510	330	≈0	100
$T_n/T_{n0}$	≈ 2 (300 км, г. ф. МБ, ночь)	≈ 1.5 (400 км, г. ф. МБ)	≈ 1.4 (320 км, г. ф. МБ, ночь)	≈ 1 (300 км, г. ф. МБ, день)	≈ 1.1 (300 км, о. ф. ИБ, день)
$\Pi_{p\max}$ , $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$	не вычислялся	$4 \cdot 10^{12}$ (300 км, г. ф. МБ, утро)	$5 \cdot 10^{12}$ (≈300 км, после г. ф. МБ, утро)	$-6 \cdot 10^{13}$ (350 км, г. ф. МБ, день)	не вычислялся
$(Q/N_e)/(Q/N_e)_0$	0.9 (300 км, г. ф. МБ, день)	≈ 0.5 (300 км, г. ф. МБ)	0.7 (≈300 км, о. ф. ИБ, день)	не оценивалось	1.3 (300 км, о. ф. ИБ, день)
$\Pi_T/\Pi_{T0}$	≈ 3 (350 км, г. ф. МБ, день)	1.9 (350 км, г. ф. МБ)	1.2 (355 км, о. ф. ИБ, день)	≈1	3.0 (445 км, о. ф. ИБ, день)
$E_y$ , мВ/м	**35...45 (день) и 50 (ночь) (г. ф. МБ)	*13...17 (утро) **17 и 12 (г. ф. МБ)	*20 (утро) **25 (ночь) и 20 (день)	не зарегистрированы	*-10...+15 (период захода Солнца)
		***			

Примечание. \* — Эффекты проникновения в ионосферу средних широт магнитосферных электрических полей с компонентой  $E_y$ , связанные с нестационарными возмущениями этих полей

\*\* — Эффекты проникновения в ионосферу средних широт магнитосферных электрических полей с компонентой  $E_y$ , связанные с выбыпаниями энергичных частиц из магнитосферы

\*\*\* — Необычная волна меридионального ветра к экватору в дневное время

Таблица 2. Характеристики составляющих геокосмической бури (МБ — магнитная буря, ИБ — ионосферная буря, АБ — атмосферная буря, ЭБ — электрическая буря, ГИП — главный ионосферный провал)

Интенсивность бурь	Примеры	Эффекты ионосферной бури	Причины	Механизм
Интенсивная МБ Интенсивная ИБ Интенсивная АБ Интенсивная ЭБ	Бури 25.09.98, 29—30.05.03, 7—10.11.04	Уменьшение $NmF2$ в 3.5—7 раз. Ночной нагрев плазмы до 2400—3200 К. Подъем слоя $F2$ на 100—300 км. Уменьшение относительной концентрации ионов водорода $N(H^+)/N_e$ на порядок величины с последующим восстановлением. Эффекты проникновения в средние широты магнитосферных электрических полей	Смещение аврорального овала, ГИП, провала легких ионов и горячей зоны в средние широты, опустошение магнитной силовой трубы. Магнитосферные суббури	Взаимодействие солнечного ветра с геомагнитным полем, деформация магнитосферы. Высыпание энергичных частиц из магнитосферы
Умеренная МБ Интенсивная ИБ Интенсивная АБ Интенсивная ЭБ	Бури 20—21.03.03	Уменьшение $NmF2$ до пяти раз, сопровождаемое увеличением $T_e$ в дневное время до 2700—3300 К на высотах 300—500 км, подъемом максимума слоя $F2$ более чем на 100 км в ночные часы. Эффекты проникновения в средние широты магнитосферных электрических полей и прохождения ПАВ	Смена фазы бури за счетdestabilizирующего воздействия импульса электрического поля с «переключением» направления компоненты $E_y$ с запада на восток и ПАВ, генерируемых магнитосферными суббурами	Магнитосферные суббури, сопровождаемые генерацией ПАВ и нестационарными возмущениями магнитосферных электрических полей
Интенсивная МБ Умеренная ИБ Умеренная АБ Слабая ЭБ	Бури 17.04.02	Увеличение $NmF2$ на 15 %, подъем слоя $F2$ на 50 км, температура плазмы не изменилась	Перестройка глобальной термосферной циркуляции и нейтрального состава за счет нагрева высоколатитной атмосферы	Трансформация отрицательной ИБ в высоких широтах в положительную fazu в дневном секторе средних широт

характер и началась с положительной фазы. Отличительная особенность этой бури состояла в том, что ее отрицательная фаза, протекая на фоне умеренной магнитной активности, сопровождалась сильнейшим ионосферным возмущением с уменьшением  $NmF2$  до пяти раз, увеличением температуры электронов в дневное время до 2400—3500 К на высотах 300—500 км, подъемом максимума слоя  $F2$  более чем на 100 км в ночь 20—21 марта и вблизи восхода Солнца. Причиной смены фаз бури, которая произошла в течение менее одного часа в заходный период, по-видимому, явилось наложение эффектов двух дестабилизирующих факторов, генерируемых магнитосферными суббурами: проникновения импульса электрического поля в ионосферу над Харьковом с составляющей  $E_y$ , изменяющей направление с запада на восток и имеющей значения −10 и +15 мВ/м, и прохож-

дения ПАВ. Эффект проникновения импульса электрического поля с зональной составляющей  $E_y \approx -10$  мВ/м, направленной на запад, мог положить начало отрицательной ионосферной бури.

Ионосферная буря *третьей группы*, которую мы отнесли к умеренным ионосферным бурам, развивалась во время очень сильной магнитной бури 17 апреля 2002 г. ( $A_p = 41$ ,  $K_{p\max} \approx 7$ ,  $D_{st\min} = -106$  нТл), которая была вызвана сравнительно небольшим поступлением энергии в магнитосферу ( $\epsilon_{\max} \approx 40$  ГДж/с). Наблюдения в Харькове характеризуют ионосферные эффекты главной фазы первой магнитной бури из серии последовательных геомагнитных возмущений с изменяющейся интенсивностью, которые происходили в течение 17—20 апреля. Особенность этой бури состояла в значительном уменьшении электронной концентрации и нагреве верхней

атмосферы в высоких широтах с постепенным ослаблением этих эффектов в направлении к средним широтам. В дневном секторе на широте радара в Харькове буря трансформировалась в небольшую положительную фазу (с увеличением  $NmF2$  на 15 % и подъемом слоя на 50 км), без выраженного изменения теплового режима ионосферы. Эти данные характеризуют только начальную фазу ионосферных возмущений по наблюдениям в Харькове. Они, безусловно, имели дальнейшее развитие, не регистрируемое нами. Тем не менее, результаты представляют интерес как частный случай возмущения среднеширотной ионосферы в период главной фазы очень сильной магнитной бури, начавшейся в Харькове в дневное время.

На основе проведенного анализа предложена классификация ионосферных возмущений применительно к условиям среднеширотной ионосферы европейского региона. Она представлена в табл. 2. Выявленные особенности возмущений ионосферы над Харьковом позволяют построить морфологическую картину и физическую схему их развития. Таких схем представляется три.

1. Очень сильная магнитная буря, к которой относятся бури с  $K_p \geq 7$ , сопровождается интенсивными ионосферной, атмосферной и электрической бурями. Ионосферная буря является отрицательной. Интенсивной ионосферной бурей будем именовать бурю, для которой  $N_e$  уменьшается более чем в два раза. Магнитная буря может начинаться в дневное время (бури 29—30 мая 2003 г. и 7—10 ноября 2004 г.) либо около полуночи (буря 25 сентября 1998 г.). Важно то, что активный период ее главной фазы развивается в ночном либо утреннем секторах (для Харькова). Буря сопровождается деформацией магнитосферы, которая вызывает редкие для средних широт явления. Они связаны со смещением аврорального овала, ГИП, провала легких ионов и горячей зоны на геомагнитные оболочки  $L$ , лежащие глубоко во внутренней плазмосфере ( $L \approx 1.9$ ). Эти процессы приводят к значительным изменениям структуры, динамики и теплового режима ионосферы и термосферы.

2. Умеренная магнитная буря, к которой относятся бури с  $K_p = 5—6$ , сопровождается интенсивными ионосферной, атмосферной и электрической бурями. Примером может служить маг-

нитная буря 21 марта 2003 г. при  $A_p = 29$ ,  $K_{pmax} = 5$ ,  $D_{smin} = -57$  нТл. Ее начало приходится на утренние часы, максимум главной фазы развивается в вечернее время. Ионосферная буря имеет двухфазную структуру. Она начинается с положительной фазы, имеет сильно выраженную отрицательную фазу и сопровождается уменьшением  $NmF2$  до пяти раз. Смена фаз зарегистрирована в заходный период. Причиной смены фаз бури могло быть дестабилизирующее воздействие двух факторов: импульса электрического поля с составляющей  $E_y \approx -10...+15$  мВ/м, изменяющей направление, и ПАВ, генерируемых магнитосферными суббурями. Оказалось, что интенсивная отрицательная ионосферная буря в средних широтах может протекать на фоне магнитного возмущения умеренной интенсивности. На основе сопоставления эффектов электрических полей во время бурь 20 марта и 30 мая 2003 г. установлено, что смена фаз бури могла произойти в условиях нестационарной ионосферы заходного периода в сезон равноденствия.

3. Очень сильная магнитная буря ( $K_p \geq 7$ ) сопровождается умеренными ионосферной, атмосферной и слабой электрической бурями. Под умеренной ионосферной бурей будем понимать такую бурю, когда  $N_e$  изменяется (уменьшается или увеличивается) на 10—50 %. Такой была магнитная буря 17 апреля 2002 г. ( $A_p = 41$ ,  $K_{pmax} \approx 7$ ,  $D_{smin} = -106$  нТл). Буря этого типа началась в дневное время (для Харькова), сопровождалась быстрым развитием глубокого отрицательного ионосферного возмущения в высоких широтах, которое ослабевало при распространении в средние широты. На широте Харькова возмущение трансформировалось в небольшую положительную фазу, которая не привела к значительным изменениям в состоянии ионосферы.

## выводы

1. Проведен сравнительный анализ результатов наблюдений пяти геокосмических бурь разной интенсивности, выполненных с помощью радара НР в Харькове. Показано, что бури существенно отличаются по своим проявлениям. Установлены особенности их развития.

2. Предложена классификация ионосферных возмущений с выделением трех характерных групп возмущений в соответствии с особенностями их развития:

- интенсивная магнитная буря сопровождается интенсивной ионосферной бурей;
- умеренная магнитная буря сопровождается интенсивной ионосферной бурей;
- интенсивная магнитная буря сопровождается умеренной ионосферной бурей.

3. Рассмотрена физическая схема развития каждой группы ионосферных возмущений над Харьковом, которая может быть применима для среднеширотного региона Европы. Показана взаимосвязь магнитной, ионосферной, атмосферной и электрической бурь. Эта взаимосвязь дополнительно свидетельствует о том, что магнитную, ионосферную, атмосферную и электрическую бури следует рассматривать как проявления единого сложного процесса — геокосмической бури [15—18].

1. Брюнелли Б. Е., Намгаладзе А. А. Физика ионосферы. — М.: Наука, 1988.—528 с.
2. Григоренко Е. И., Емельянов Л. Я., Пазюра С. А. и др. Возмущения ионосферной плазмы во время сверхсильной магнитной бури 29—31 мая 2003 года: результаты наблюдений на харьковском радаре некогерентного рассеяния // Успехи современной радиоэлектроники.—2005.—№ 4.—С. 21—39.
3. Григоренко Е. И., Лысенко В. Н., Пазюра С. А. и др. Аномальная ионосферная буря 21 марта 2003 года. // Космічна наука і технологія.—2004.—10, № 1.—С. 4—11.
4. Григоренко Е. И., Лысенко В. Н., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Особенности ионосферной бури 20—23 марта 2003 г. // Геомагнетизм и аэрономия.—2005.—45, № 6.—С. 789—802.
5. Григоренко Е. И., Лысенко В. Н., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Анализ и классификация ионосферных бурь в средних широтах Европы. 1 // Космічна наука і технологія.—2007.—13, № 5.—С. 58—76.
6. Григоренко Е. И., Пазюра С. А., Пуляев В. А. и др. Динамические процессы в ионосфере во время геокосмической бури 30 мая и затмения Солнца 31 мая 2003 года. // Космічна наука і технологія.—2004.—10, № 1.—С. 12—25.
7. Григоренко Е. И., Пазюра С. А., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Аномальная ионосферная буря 20—23 марта 2003 г.: результаты измерений и моделирования // Космічна наука і технологія.—2005.—11, № 3/4.—С. 4—19.
8. Григоренко Е. И., Пазюра С. А., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Сильнейшая геокосмическая буря 30—31 мая 2003 г.: результаты измерений и моделирования // Космічна наука і технологія.—2005.—11, № 3/4.—С. 20—37.
9. Григоренко Е. И., Пазюра С. А., Таран В. И. и др. Динамические процессы в ионосфере во время сильнейшей магнитной бури 30—31 мая 2003 года // Геомагнетизм и аэрономия.—2005.—45, № 6.—С. 803—823.
10. Григоренко Е. И., Таран В. И., Черногор Л. Ф., Черняев С. В. Аномальная ионосферная буря 21 марта 2003 года: результаты наблюдений на харьковском радаре некогерентного рассеяния // Успехи современной радиоэлектроники.—2005.—№ 4.—С. 3—20.
11. Данилов А. Д., Морозова Л. Д. Ионосферные бури в области F2. Морфология и физика (Обзор) // Геомагнетизм и аэрономия.—1985.—25, № 5.—С. 705—721.
12. Данилов А. Д., Морозова Л. Д., Мирмович Э. Г. О возможной природе положительной фазы ионосферных бурь // Геомагнетизм и аэрономия.—1985.—25, № 5.—С. 768—772.
13. Криберг И. А., Тацкин А. В. Ионосфера и плазмосфера. — М.: Наука. 1984.—190 с.
14. Таран В. И. Исследование ионосферы в естественном и искусственно возмущенном состояниях методом некогерентного рассеяния // Геомагнетизм и аэрономия.—2001.—41, № 5.—С. 659—666.
15. Черногор Л. Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // Радиофизика и радиоастрономия.—2003.—8, № 1.—С. 59—106.
16. Черногор Л. Ф. Земля — атмосфера — геокосмос как открытая динамическая нелинейная система // Космічна наука і технологія.—2003.—9, № 5/6.—С. 96—105.
17. Черногор Л. Ф. Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера как открытая динамическая нелинейная физическая система. Часть 1 // Нелинейный мир.—2006.—4, № 12.—С. 655—697.
18. Черногор Л. Ф. Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера как открытая динамическая нелинейная физическая система. Часть 2 // Нелинейный мир.—2007.—5, № 4.—С. 198—231.
19. Bailey G. J., Moffett R. J., Murphy J. A. Calculated daily variations of  $O^+$  and  $H^+$  at mid-latitudes. II. Sunspot maximum results // J. Atmos. Terr. Phys.—1979.—41.—P. 471—482.
20. Banks P. M. Charged particle temperatures and electron thermal conductivity in the upper atmosphere // Ann. Geophys.—1966.—22.—P. 577—584.
21. Buonsanto M. J. Millstone Hill incoherent scatter F region observations during the disturbances of June 1991 // J. Geophys. Res.—1995.—100, N A4.—P. 5743—5755.
22. Buonsanto M. J. A case study of the ionospheric storm dusk effects // J. Geophys. Res.—1995.—100, N A12.—P. 23857—23869.
23. Buonsanto M. J. Ionospheric storms — a review // Space Sci. Rev.—1999.—88.—P. 563—601.
24. Foster J. C., Cummer S., Inan U. S. Midlatitude particle and electric field effects at the onset of the November 1993 Geomagnetic Storm // J. Geophys. Res.—1998.—103.—P. 26359—26366.
25. Foster J. C., Rich F. J. Prompt midlatitude electric field effects during severe geomagnetic storms // J. Geophys. Res.—1998.—103.—P. 26367—26372.
26. Goncharenko L., Salah J. E., Van Eyken A., et al.

- Observations of the April 2002 geomagnetic storm by the global network of incoherent scatter radars // Ann. Geophys.—2005.—23, N 1.—P. 163—181.
27. Naghmoosh A. A., Murphy J. A. A comparative study of H<sup>+</sup> and He<sup>+</sup> at sunspot minimum and sunspot maximum // J. Atmos. Terr. Physics.—1983.—45, N 10.—P. 673—682.
28. Pavlov A. V. The role of vibrationally excited Oxygen and Nitrogen in the ionosphere during the undisturbed and geomagnetic storm period of 6—12 April 1990 // Ann. Geophys.—1998.—16.—P. 589—601.
29. Pavlov A. V., Buonsanto M. J. Using steady-state vibrational temperatures to model effects of N<sub>2</sub><sup>\*</sup> on calculations of electron densities // J. Geophys. Res.—1996.—101.—P. 26941—26945.
30. Prölss G. W. On explaining the local time variation of ionospheric storm effects // Ann. Geophys.—1993.—11.—P. 1—9.
31. Prölss G. W. Common origin of positive ionospheric storms at middle latitudes and the geomagnetic activity effect at low latitudes // J. Geophys. Res.—1993.—98, N A4.—P. 5981—5991.
32. Reddy C. A., Nishida A. Magnetospheric substorms and nighttime height changes of the F2 region at middle and low latitudes // J. Geophys. Res.—1992.—97, N A3.—P. 3039—3061.
33. Richards P. G., Torr D. G., Buonsanto M. J., Sipler D. P. Ionospheric effects of the March 1990 magnetic storm: comparison of theory and measurement // J. Geophys. Res.—1994.—99, N A12. P. 23359—23365.
34. Shunk R. W., Nagy A. F. Electron temperature in the F region of the ionosphere: theory and observations // Rev. Geoph. Space Physics.—1978.—16, N 3.—P. 355—399.

---

#### ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF IONOSPHERE STORMS AT THE MIDLATITUDES OF EUROPE. 2

*Ye. I. Grigorenko, V. N. Lysenko, V. I. Taran,  
L. F. Chernogor*

The results of our comparison analysis for ionosphere-thermosphere effects of three geospace storms which differ in the intensity and passing character are presented. The observations of ionosphere disturbances were carried out with the use of the Kharkiv incoherent scatter radar. A classification of the ionosphere disturbances with the separation of three groups according to their peculiarities is suggested. The physical development schemes for each of the groups of the disturbances that can be applied for the midlatitude ionosphere over Europe are described.

## НАШІ АВТОРИ

---

ГРИГОРЕНКО Олена Іванівна — завідувач сектору обробки та геофізичного аналізу даних Інституту іоносфери Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України.

Напрям науки — морфологія і динаміка середньоширотної іоносфери, іоносферно-плазмофера взаємодія, іоносферні ефекти геокосмічних бур.

ДРАНОВСЬКИЙ Володимир Йосипович — Державне конструкторське бюро «Південне», член-кореспондент Національної академії наук України, лауреат Державної премії України.

Напрям науки — розробка і створення космічних апаратів, комплексів та систем дистанційного зондування Землі.

ЄМЕЛЬЯНОВ Олег Львович — провідний інженер Державного конструкторського бюро «Південне».

Напрям науки — створення та оптимізація параметрів оптико-електронних і радіофізичних систем ДЗЗ космічного базування.

ЄФІМОВ Валентин Борисович — завідувач відділу Центру радіофізичного зондування Землі Національної академії наук та Національного космічного агентства України ім. А. І. Калмикова, кандидат фізико-математичних наук, лауреат Державної премії України.

Напрям науки — розсіяння радіохвиль поверхнями, розробка і створення радіофізичних систем дистанційного зондування морських акваторій.

КАВЕЛІН Сергій Сергійович — заступник начальника КБ Державного конструкторського бюро «Південне», лауреат Державної премії України.

Напрям науки — проектування і розробка космічних апаратів, комплексів та систем дистанційного зондування морських акваторій.

КОМЯК Володимир Олександрович — старший науковий співробітник Інституту радіоелектроніки Національної академії наук України, кандидат фізико-математичних наук, лауреат Державної премії України.

Напрям науки — розробка і створення радіофізичних і оптико-електронних систем дистанційного зондування морських акваторій.

КОРОТАЄВ Геннадій Костянтинович — заступник директора Морського гідрофізичного Інституту Національної академії наук України, доктор фізико-математичних наук, професор, лауреат Державної премії України.

Напрям науки — динаміка океанічних і морських процесів, оперативна супутникова океанологія, системи оперативного моніторингу морських акваторій.

КУРЕКІН Олександр Сергійович — старший науковий співробітник Інституту радіоелектроніки Національної академії наук України, кандидат технічних наук, лауреат Державної премії України.

Напрям науки — розсіяння радіохвиль поверхнями, розробка і створення радіофізичних систем дистанційного зондування морських акваторій.

**ЛИСЕНКО** Валерій Миколайович — заступник директора з наукової роботи Інституту іоносфери Національної академії наук та Міністерства освіти і науки України, кандидат фізико-математичних наук.

Напрям науки — обробка випадкових сигналів, теплові процеси в іоносфері.

**ПІЧУГІН** Олександр Петрович — старший науковий співробітник Наукового центру оперативного моніторингу Землі, кандидат фізико-математичних наук, лауреат Державної премії України.

Напрям науки — запровадження космічних методів, засобів і технологій у різних областях науки і техніки.

**ПУСТОВОЙТЕНКО** Володимир Володимирович — провідний науковий співробітник Морського гідрофізичного Інституту Національної академії наук України, кандидат фізико-математичних наук.

Напрям науки — оперативна супутникова океанологія, системи оперативного моніторингу морських акваторій, радіофізичні засоби дистанційного зондування.

**САЛТИКОВ** Юрій Дмитрович — завідувач відділу Державного конструкторського бюро «Південне», лауреат Державної премії України.

Напрям науки — створення космічних апаратів, комплексів та систем дистанційного зондування, оптимізація параметрів оптико-електронних і радіофізичних систем ДЗЗ.

**ТАРАН** Віталій Іванович — директор Інституту іоносфери Національної академії наук України та МОН України, доктор фізико-математичних наук, професор.

Напрям науки — метод некогерентного розсіювання, високопотенціальні радари некогерентного розсіювання, фізика іоносфери у збудженному стані.

**ТЕРЬОХІН** Юрій Володимирович — старший науковий співробітник Морського гідрофізичного Інституту Національної академії наук України, кандидат технічних наук, Лауреат Державної премії України.

Напрям науки — оперативна супутникова океанологія, системи оперативного моніторингу морських акваторій, системи піdsупутникового забезпечення.

**ЦИМБАЛ** Валерій Миколайович — директор Центру радіофізичного зондування Землі Національної академії наук та Національного космічного агентства України ім. А. І. Калмікова, кандидат технічних наук, лауреат Державної премії України.

Напрям науки — розсіяння радіохвиль поверхнями, розробка і створення радіофізичних систем дистанційного зондування морських акваторій.

**ЧОРНОГОР** Леонід Феоктистович — професор кафедри космічної радіофізики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України, доктор фізико-математичних наук, лауреат Державної премії УРСР.

Напрям науки — космічна радіофізика, фізика та екологія геокосмосу, космічна погода.

**ЯЦКІВ** Ярослав Степанович — директор Головної астрономічної обсерваторії Національної академії наук України, завідувач відділу космічної геодинаміки, академік НАН України, доктор фізико-математичних наук, засłużений діяч науки і техніки України, лауреат Державних премій СРСР та України.

Напрям науки — космічна геодинаміка та позатмосферна астрономія.