

ISSN 1561-8889

# КОСМІЧНА НАУКА І ТЕХНОЛОГІЯ



НАЦІОНАЛЬНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ТОМ 10

№ 5/6

2004

■ Про перспективні  
космічні  
експерименти та  
дослідження

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 10, № 5/6, 2004

KYIV

МАТЕРІАЛИ  
Четвертої Української конференції  
з перспективних космічних досліджень

19—26 вересня 2004 р.

Proceeding of the 4-th Ukrainian Conference  
for Perspective Space Researches  
(19—26 September 2004)

## Матеріали

### Четвертої Української конференції з перспективних космічних досліджень (19-26 вересня 2004 р.)

#### ЗМІСТ

- Лукьященко В. И., Суворов В. В., Цимбалиук М. М., Васильева Т. В., Головинкин А. В.* Перспективы дальнейшего развития совместной российско-украинской программы исследований и экспериментов на РС МКС **6**
- Твердохлебова Е. М., Корсун А. Г., Габдуллин Ф. Ф., Карабаджак Г. Ф.* Электроразрядные процессы в плазменном окружении МКС **12**
- Івченко В. М., Козак Л. В., Венедиктов Ю. І., Збруцький О. В., Корепанов В. Є., Крючков Є. І., Лізунов Г. В., Лукенюк А. А., Федоренко А. К.* Проект "Геокосмос" для Українського молодіжного супутника **17**
- Видьмаченко А. П., Морозенко О. В.* Картирование физических характеристик поверхностного слоя Луны и ультрафиолетовая поляриметрия с орбитальной лунной станции **21**
- Неводовський Є. П., Відьмаченко А. П., Морозенко О. В., Неводовський П. В., Синявський І. І.* Український молодіжний супутник: дослідження аерозольного шару атмосфери Землі за допомогою УФ-поляриметра **27**
- Іванов Ю. С., Синявський І. І., Сосонкин М. Г.* Бортовой УФ-спектрополяриметр для мониторинга планетных атмосфер **32**
- Гаврилов Р. В., Кислов А. М., Меленевский Ю. А., Церковный А. И.* Имитатор излучения Земли для термовакуумных испытаний космических аппаратов **35**
- Гаврилов Р. В., Кислов А. М., Романенко В. Г.* Моделирование лучистых потоков в имитаторах солнечного излучения **38**
- Гаврилов Р. В., Меленевский Ю. А., Конюхов С. Н., Драновский В. И., Кошкин М. И., Алексеев Ю. С., Коротков А. С., Щеголь В. А., Соколов В. А., Еременко В. В., Комаров В. Г., Махонин Е. И.* Стенд для тепловакуумных испытаний космических аппаратов **42**
- Чесалин Л. С., Застенкер Г. Н., Круковская Е. В., Лакутина Е. В., Луценко В. Н., Шевырев Н. Н.* Бортовое информационное обеспечение научной

## Proceeding

### of the 4th Ukrainian Conference for Perspective Space Researches (19-26 September 2004)

#### CONTENTS

- Lukiaschenko V. I., Suvorov V. V., Tsimbaliuk M. M., Vasilieva T. V., Golovinkin A. V.* The prospects for further development of the joint Russian-Ukrainian program of investigations and experiments aboard the Russian Segment of the International Space Station **6**
- Tverdokhlebova E. M., Korsun A. G., Gabdullin F. F., Karabadzhak G. F.* Electric discharge processes in the ISS plasma environment **12**
- Ivchenko V. M., Kozak L. V., Venedyktov Yu. I., Zbrutskyi O. V., Korepanov V. Ye., Kriuchkov Ye. I., Lizunov G. V., Lukeniuk A. A., Fedorenko A. K.* The Geocosmos Project for the Ukrainian Junior Satellite **17**
- Vid'machenko A. P., Morozhenko O. V.* Mapping of physical characteristics of the Moon's superficial layer and ultra-violet polarimetry from a Lunar orbital station **21**
- Nevodovskiy Ye. P., Vid'machenko A. P., Morozhenko O. V., Nevodovskiy P. V., Syniavskiy I. I.* The Ukrainian youth satellite: Investigation of the Earth's aerosol stratum with the use of UV-polarimeter **27**
- Ivanov Yu. S., Sinyavsky I. I., Sosonkin M. G.* On-board UV-spectropolarimeter for monitoring of planetary atmospheres **32**
- Gavrilov R. V., Kislov A. M., Melenevsky Yu. A., Tserkovny A. I.* The simulator of the Earth's radiation for thermo-vacuum tests of spacecrafts **35**
- Gavrilov R. V., Kislov A. M., Romanenko V. G.* Computer simulation of radiant fluxes in solar simulators **38**
- Gavrylov R. V., Melenevskiy Yu. A., Konyukhov S. N., Dranovskiy V. I., Koshkin M. I., Alekseev Yu. S., Korotkov A. S., Shogol V. A., Sokolov V. A., Eremenko V. V., Komarov V. G., Makhonin E. I.* Stand rig facility for thermo-vacuum testing of space vehicles **42**
- Chesalin L. S., Zastenker G. N., Krukovskaia Ye. V., Lakutina Ye. V., Lutsenko V. N., Shevyrev N. N.* Onboard information service of the scientific program in **47**

- программы российско-украинского проекта "Интербол-Прогноз" (высокоапогейный спутник "Интербол-3")
- Абламейко С. В., Кравцов А. А., Меньшиков В. А., Пушкарский С. В.* 52  
Космические исследования и разработки, проводимые в рамках белорусско-российских программ "Космос-БР" и "Космос-СГ"
- Барабанов Н. А., Бандуристий Л. М., Венедиктов Ю. И., Довгаль С. Г., Селиванов Ю. А., Черемных О. К., Безруких В. В., Гдалевич Г. Л.* 56  
Измерение времени пролета инжектируемых частиц в ходе проведения космического эксперимента "Кольцо" на борту МКС
- Абурджанія Г. Д., Ломінадзе Д. Г., Хантадзе А. Г., Харшиладзе О. А.* 62  
Механізм генерації та характеристики поширення структур ультранизькочастотних іоносферних електромагнітних хвиль планетарного масштабу
- Черемных О. К., Парновский А. С.* 82  
Баллонные моды во внутренней магнитосфере Земли с учетом конечной проводимости ионосферы
- Кызыуров Ю. В.* 86  
О возможных изменениях в спектрах неоднородностей электронной концентрации, получаемых при ракетных экспериментах в спорадическом E-слое
- Рапопорт Ю. Г.* 90  
Новая фотохимически-электростатическая модель сейсмоионосферного взаимодействия и вариации приземного электрического поля перед землетрясениями
- Бахмутов В. Г.* 93  
Связь вариаций геомагнитного поля с изменением атмосферной циркуляции и климата в Европе
- Яременко Л. Н., Мозговая Т. А.* 100  
Сопряженность магнитных суббурь в средних широтах северного и южного полушарий
- Яременко Л. Н., Мельник Г. В.* 106  
Магнитные бури в экваториальном поясе и полярных областях
- Лысенко В. Н., Черняк Ю. В.* 110  
Особенности методики определения параметров ионосферной плазмы во время естественных возмущений в ионосфере
- Бурмака В. П., Таран В. И., Черногор Л. Ф.* 113  
Радарные наблюдения волновых процессов в ионосфере, сопутствовавших полетам космических аппаратов
- Агапитов А. В.* 117  
Распространение низкочастотных волновых пакетов Ps6 в хвосте магнитосферы после магнитной суббури
- the Russian-Ukrainian Project Interball-Prognoz (high-apogee spacecraft Interball-3)
- Ablameiko S. V., Kravtsov A. A., Menshikov V. A., Pushkarskii S. V.* Space investigations and developments within the framework of the Byelorussian-Russian Programs Cosmos-BR and Cosmos-SG
- Barabanov N. A., Banduristiy L. M., Venediktov Yu. I., Dovgal S. G., Selivanov Yu. A., Cheremnykh O. K., Bezrukih V. V., Gdalevich G. L.* Injected particle time-of-flight measurements during the space experiment aboard the ISS
- Aburjania G. D., Lominadze J. G., Khantadze A. G., Kharshiladze O. A.* Generation mechanism and features of propagation of the ULF planetary-scale electromagnetic wavy structures in the ionosphere
- Cheremnykh O. K., Parnowski A. S.* Ballooning modes in the inner magnetosphere of the Earth with finite ionospheric conductivity
- Kyzyurov Yu. V.* On possible changes in electron-density irregularity spectra obtained during rocket experiments in sporadic-E
- Rapoport Yu. G.* New photochemistry-electrostatic model of seis-moionospheric coupling and variations of near-ground quasistatic electric field before earthquakes
- Bakmutov V. G.* The connection between geomagnetic secular variations and atmospheric circulation and climate changes in Europe
- Yaremenko L. N., Mozgovaya T. A.* Conjugativity of magnetic substorms within middle latitudes of the northern and southern hemispheres
- Yaremenko L. N., Melnik G. V.* Magnetic storms in the equatorial belt and in polar regions
- Lysenko V. N., Cherniak Yu. V.* Some peculiarities of the procedure for determination of ionospheric plasma parameters during natural disturbances in the ionosphere
- Burmaka V. P., Taran V. I., Chernogor L. F.* Radar observations of wave-like disturbances in ionosphere, associated with space vehicle flights
- Agapitov A. V.* Ps6 propagation in the Earth magnetosphere tail after magnetic substorms

- Панасенко С. В., Черногор Л. Ф.* Результаты исследования волновых возмущений в мезосфере **122** *Panasenko S. V., Chernogor L. F.* Some results of investigation of wave disturbances in the mesosphere
- Ладиков-Роев Ю. П., Логинов А. А., Маслова Н. В., Черемных О. К.* Модель спикулы в солнечной короне **128** *Ladikov-Roev Yu. P., Loginov A. A., Maslova N. V., Cheremnykh O. K.* A model of a spicule in the solar corona
- Ладиков-Роев Ю. П., Линник А. А., Сальников Н. Н., Черемных О. К.* Магнитно-вихревая модель выбросов корональной массы **131** *Ladikov-Roev Yu. P., Linnik A. A., Salnikov N. N., Cheremnykh O. K.* Magneto-vortical model of coronal mass ejection
- Гопасюк О. С., Гопасюк С. И.* О колебаниях полутени солнечных пятен **135** *Gopasyuk O. S., Gopasyuk S. I.* On sunspot penumbra oscillations
- Зельк Я. И., Степанян Н. Н., Андреева О. А.* Вращение активных областей и корональных дыр по наблюдениям Солнца в линии He I  $\lambda$  1083 нм **138** *Zyelyk Ya. I., Stepanian N. N., Andreeva O. A.* Rotation of active regions and coronal holes from observations of the Sun in the line He I  $\lambda$  1083 nm
- Степанов А. В., Цап Ю. Т., Копылова Ю. Г., Куприянова Е. Г.* Корональные петли и пульсации излучения вспыхивающих звезд **141** *Stepanov A. V., Tsap Yu. T., Kopylova Yu. G., Kupriyanova E. G.* Coronal loops and pulsations of radiation from flare stars
- Фиделис В. В.* Вариации синхротронного и инверсного комптоновского излучения от блазара 1ES 1959+650 в 2003 г. **145** *Fidelis V. V.* Variations of synchrotron and inverse Compton radiation from the blazar 1ES 1959+650 in 2003
- Минин О. А., Лобанов В. Ф., Якубовский В. П.* Современная система слежения за искусственными спутниками Земли для станции "Кацивели-1893" **148** *Minin O. A., Lobanov V. F., Yakubovsky V. P.* The modern system for tracking over artificial Earth satellites at the "Katsiveli-1893" station
- Епишев В. П., Исак И. И., Мотрунич И. И., Новак Э. И.* Метод определения величины и природы возмущений, оказывающих воздействие на вращение ИСЗ **152** *Epishev V. P., Isak I. I., Motrunich I. I., Novak E. J.* A procedure for determination of value and nature of disturbances acting on rotation of AES
- Кузин С. П., Татевян С. К.* Мониторинг движения геоцентра по данным спутниковых измерений систем GPS, DORIS и SLR **156** *Kuzin S. P., Tatevian S. K.* Monitoring of the geocentre motions on the basis of DORIS, GPS, and SLR data
- Єпішев В. П., Мотрунич І. І., Клімик В. У.* Ризик зіткнення штучних космічних об'єктів на геосинхронних орбітах **159** *Epishev V. P., Motrunych I. I., Klimyk V. U.* Hazard of collisions of artificial space objects in geosynchronous orbits
- Каблак Н. І., Клімик В. У., Швалагін І. В., Каблак У. І.* Моніторинг випаданої водяної пари за допомогою GPS для прогнозування погоди **163** *Kablak N. I., Klimyk V. U., Shvalagin I. V., Kablak U. I.* Monitoring of the besieged water vapour with the help of GPS for weather prediction
- Мащенко А. Н., Федякин А. И.* Оптимизация параметров космического аппарата дистанционного зондирования земли по критерию экономической эффективности **167** *Mashchenko A. N., Fedyakin A. I.* Parametric optimization of Earth-observation spacecraft according to criterion for economic efficiency
- Волошин В. И., Левенко А. С.* Система экологического мониторинга ветровых электростанций Украины с использованием ДЗЗ **171** *Voloshyn V. I., Levenko A. S.* System of Ukrainian wind power stations ecological monitoring with the use of remote sensing of the Earth
- Кравцов С. Л., Орешкина Л. В.* Обработка данных дистанционного зондирования для обнаружения и распознавания классов объектов **175** *Kravtsov S. L., Oreshkina L. V.* Processing of remote sensing data for detection and recognition of object classes
- Волошин В. И., Корчинский В. М., Негода А. А.* **178** *Voloshyn V. I., Korchinski V. M., Negoda O. O.*

- Повышение информативности панхромных цифровых изображений дистанционного зондирования Земли  
*Капустин Е. И., Кириллов А. И., Махонин Е. И., Волох К. Ф.* Создание структуры архива данных дистанционного зондирования Земли Национального космического агентства Украины **181**
- Капустин Ye. I., Kirillov O. I., Makhonin Ye. I., Volokh K. F.* Remotely sensed data archive of National Space Agency of Ukraine: Creation of structure and ways of integration
- Волошин В. И., Бушуев Е. И., Марченко В. Т., Федоров О. П.* Принципы построения и функционирования системы геоинформационного космического обеспечения **184**
- Voloshyn V. I., Bushuyev Ye. I., Marchenko V. T., Fedorov O. P.* Principles of construction and functioning of geoinformational space support system
- Волошин В. И., Бушуев Е. И., Паршина О. И., Панкратов А. Ю., Глущенко А. М.* Один из подходов к определению площади озимых культур с использованием данных космических съемок **187**
- Voloshyn V. I., Bushuyev Ye. I., Parshina O. I., Pankratov A. Y., Glushchenko A. M.* Actual problems of agrarian land resources control and ways of their solution with the use of space surveys data
- Волошин В. И., Бушуев Е. И., Паршина О. И., Федоров О. П.* Методика класифікації покривних елементів ландшафту **190**
- Voloshyn V. I., Bushuyev Ye. I., Parshina O. I., Fedorov O. P.* Method of classification of integumentary landscape elements
- Волошин В. И., Левенко А. С., Переметчик Н. Н.* Прогнозирование проявлений опасных геологических процессов в городе Днепропетровске с использованием методов аэрокосмического дистанционного зондирования Земли **194**
- Voloshyn V. I., Levenko A. S., Peremetchik N. N.* Forecast of manifestations of dangerous geological processes in Dnipropetrovsk with the use of methods of aerospace remote sensing of the Earth
- Руденко А. В., Савельев Ю. В., Коваль Э. З., Ленова Л. И., Волощук Е. М.* Концептуальные аспекты создания грибостойких полиуретанов целевого назначения **197**
- Rudenko A. V., Saveliev Yu. V., Koval E. Z., Lenova L. I., Voloschuk E. M.* Conceptual aspects in creation of fungus-resistant polyurethans having special purpose
- Мищенко Л. Т., Тороп В. В., Мищенко И. А.* Вплив кліностатування на електропровідність тканин вірусінфікованих листків пшениці **200**
- Mishchenko L. T., Torop V. V., Mishchenko I. A.* Clinorotation effects on virus infected wheat leaf tissue electric conductivity
- Гамалея Н. Ф., Шшико Е. Д., Горобец О. Б.* Клеточная модель для изучения влияния измененной гравитации на циркадианную ритмику человека **204**
- Gamaleia N. F., Shishko E. D., Horobets O. B.* A cell model for the study of altered gravitation effects on human circadian rhythmicity
- Адамчук-Чала Н. И.* Вплив кліностатування на трансформацію етіопластів в хлоропласти паростків ячменю **208**
- Adamchuk-Chala N. I.* Clinorotation effect on the transformation from etyoplasts to chloroplasts for barley seedlings
- Артеменко О. А., Попова А. Ф.* Экспрессия  $\delta$ -циклинов на ранних стадиях развития зародышей *Brassica rapa L.* в условиях клиностатирования (а також рисунок на стор. 213) **211**
- Artemenko O. A., Popova A. F.* The  $\delta$ -cyclin expression at early stages of embryogenesis of *Brassica rapa L.* under clinorotation
- Воловик О. И., Сытник С. К., Топчий Н. Н.* Влияние имитированной невесомости (клиностатирования) на фотосинтетический аппарат растений ячменя (*Hordeum Vulgare L.*) **215**
- Volovik O. I., Sytnik S. K., Topchiy N. N.* Effect of the simulated weightlessness (clinorotation) on a photosynthetic apparatus of Barley Plants (*Hordeum vulgare L.*)
- Козеко Л. Е.* Актин проростков *Beta vulgaris* при клиностатировании **218**
- Kozeko L. Ye.* Actin of *Beta vulgaris* seedlings under the clinorotation

- Козировська Н. О., Корнійчук О. С.,  
Вознюк Т. М., Ковальчук М. В.,  
Литвиненко Т. Л., Рогущький І. С.,  
Митрохин О. В., Естрела-Льоніс В. Р.,  
Бородінова Т. І., Машковська С. П., Фойнг Б. Г.,  
Кордюм В. А. Використання мікробної  
спільноти у попередньому сценарії  
виращування *Tagetes patula* у місячній  
оранжереї **221** *Kozyrovska N. O., Korniiichuk O. S.,  
Voznyuk T. M., Kovalchuk M. V., Lytvynenko T. L.,  
Rogutskyi I. S., Mytrokhy O. V., Estrella-  
Liopis V. R., Borodinova T. I., Mashkovska S. P.,  
Foing B. H., Kordyum V. A. Microbial community  
in a precursory scenario of growing *Tagetes patula*  
in a lunar greenhouse*
- Носач Л. Н., Повниця О. Ю., Жовноватая В. Л. **226** *Nosach L. N., Povnitsa O. Yu., Zhovnovataia V. L.*  
Исследование влияния клиноостативирования на  
состояние перевиваемых линий клеток  
человека **226** *Investigations of the influence of microgravity on  
the state of human cell lines*
- Шнюкова Є. І., Недуха О. М. Вплив імітованої **229** *Shniukova Ye. I., Nedukha O. M. The influence of  
мікрогравітації на формування запасних  
полісахаридів міні-бульб картоплі **229***  
Юбилей Прометея. К 85-летию со дня  
рождения члена-корреспондента АН УССР  
Николая Федоровича Герасюты **233** *The eighty-fifth anniversary of the Corresponding  
Member of Academy of Sciences of USSR  
N. F. Gerasiuta*

1. Багров А. В., Ерпылев Н. П., Микуша А. М. и др. Экспериментальная геодинамика: наблюдения геостационарных ИСЗ // Науч. информ.—1991.—Вып. 69.—С. 35—51.
2. Хуторовский З. Н., Каменский С. Ю., Бойков В. Ф., Смелов В. Л. Риск столкновения космических объектов на низких высотах // Столкновения в космическом пространстве (космический мусор). — М.: Космосинформ, 1995.—С. 19—90.

#### HAZARD OF COLLISIONS OF ARTIFICIAL SPACE OBJECTS IN GEOSYNCHRONOUS ORBITS

V. P. Epishev, I. I. Motrunych, V. U. Klimuk

We present the spatial distribution of unguided objects in the zone of geosynchronous satellites, distribution of orbital elements for these objects, and distribution of parameters of relative motion at their rendezvous with controlled geostationary satellites. The probabilities of collision between unguided objects as well as of their collision with controlled geostationary satellites are studied.

УДК 528.28:629.783

© Н. І. Каблак, В. У. Клімук, І. В. Швалагін, У. І. Каблак

Лабораторія космічних досліджень Ужгородського національного університету, Ужгород

### МОНІТОРИНГ ВИПАДАЮЧОЇ ВОДЯНОЇ ПАРИ ЗА ДОПОМОГОЮ GPS ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОГОДИ

Волога зенітна затримка, яка одержується із аналізу даних GPS-спостережень, може бути перетворена у значення випадаючої водяної пари, що дає вагомий внесок у моделювання клімату та оперативне передбачення погоди. При цьому повинно бути відоме значення середньої температури в атмосфері. Приведено оцінку значень випадаючої водяної пари в пункті Київ.

**Вступ.** Для точного прогнозу погоди необхідна інформація виключної якості з високим просторово-часовим розділенням. Через різні обмеження традиційні спостереження у радіодіапазоні або в системі метеорологічних супутників часто не враховують такий важливий параметр, як тропосферна водяна пара. Використання GPS дозволяє застосовувати недорогу технологію для регіонального і глобального моніторингу вмісту водяної пари. Параметр тропосферної затримки  $\Delta\rho$  електромагнітної хвилі є основною величиною при побудові та аналізі метеорологічної моделі для прогнозування погоди. Тропосферна затримка складається з двох компонентів: зенітної гідростатистичної затримки  $\Delta\rho_d$ , яка залежить від стану сухої складової атмосфери, і зенітної вологої затримки  $\Delta\rho_w$ , яка залежить від вологості повітря.

Похибки врахування тропосферної рефракції в GPS-вимірюваннях впливають перш за все на загальний масштаб геодезичних вимірювань і на точність визначення висоти пунктів спостережень, а також на горизонтальні координати даних пунктів.

**Вплив нейтральної атмосфери на GPS-вимірювання.** Вплив нейтральної тропосфери на розповсюдження GPS визначається поправкою у відстань [1, 2, 4, 5]:

$$\Delta\rho = 10^{-6} \int N dS + (L - G), \quad (1)$$

де  $N = N(S)$  — індекс рефракції вздовж кривої розповсюдження сигналу,  $L$  — шлях розповсюдження сигналу,  $G$  — геометрична відстань. Перша складова поправки (1) — це поправка за рахунок зміни швидкості розповсюдження сигналу, друга — геометрична поправка. Індекс рефракції [2, 4] визначається формулою

$$N = K_1 \left( \frac{P_d}{T} \right) Z_d^{-1} + \left[ K_2 \left( \frac{e}{T} \right) + K_3 \left( \frac{e}{T^2} \right) \right] Z_w^{-1},$$

де  $P_d$ , мбар — тиск сухого повітря;  $e$ , мбар — парціальний тиск водяної пари;  $T$ , К — температура повітря;  $Z_d^{-1}$ ,  $Z_w^{-1}$  — фактори стиску сухого і вологого повітря або величини, обернені коефіцієнтам стиску сухого повітря і водяної пари;  $K_1$ , К/мбар — коефіцієнт, що характеризує поляризованість молекул сухого повітря;  $K_2$ , К/мбар — коефіцієнт, що враховує поляризацію молекул води;  $K_3$ ,  $10^5$  К<sup>2</sup>/мбар — коефіцієнт, що відображає вплив зміни електричної орієнтації полярних молекул води.

Із рівняння Менделєєва — Клапейрона одержуємо

$$N = K_1 R \rho + \left[ K_2' \left( \frac{e}{T} \right) + K_3 \left( \frac{e}{T^2} \right) \right] Z_w^{-1}, \quad (2)$$

де

$$K_2' = K_2 - K_1 \left( \frac{R_d}{R_w} \right) = K_2 - K_1 \frac{M_w}{M_d},$$



$R_d = 287.06 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$  — питома газова стала сухого повітря,  $R_w = 461.525 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$  — питома газова стала водяної пари,  $c$  — загальна густина повітря,  $M_d$  і  $M_w$  — молекулярні маси сухого повітря і водяної пари. Перший член в рівнянні (2) — показник заломлення сухого повітря.

Інтеграл в zenітному напрямку дає поправку за рахунок впливу сухої складової атмосфери:

$$\Delta\rho_d^z = 10^{-6} K_1 R_d \int_{r_s}^{r_a} \rho dz,$$

де  $r_s$  — геоцентричний радіус антени,  $r_a$  — геоцентричний радіус вершини нейтральної атмосфери,  $dz$  — одиниця довжини.

Атмосферна поправка у відстань до штучних супутників Землі, спричинена впливом водяної пари, в zenіті становить

$$\Delta\rho_w^z = 10^{-6} \int_{h_0}^{h_{\max}} \left[ K_2 \left( \frac{e}{T} \right) + K_3 \left( \frac{e}{T^2} \right) \right] Z_w^{-1} dh,$$

$$dz = dh.$$

*Визначення випадваючої водяної пари за допомогою GPS-спостережень.* Вміст водяної пари в атмосфері — це одна з найбільш важливих змінних, що формує клімат Землі. Короткочасні зміни — це суттєва і необхідна частина інформації для прогнозування погоди. Розподіл водяної пари в атмосфері можна визначити за допомогою радіозондів. Один з головних недоліків радіозондів — це відносно низька точність датчиків в результаті забруднення їх під час запуску.

Використання GPS-систем дозволяє проводити регіональний та глобальний моніторинг випадваючої водяної пари. Використовуючи значення тропосферної затримки, одержане при обробці GPS-спостережень, випадваючу водяну пару (IWV) можна визначити за формулою [3]

$$IWV = \Delta\rho_w^z / \xi, \quad (3)$$

де

$$\xi = 10^{-6} R_w \left[ K_2 + \frac{K_3}{T_m} \right].$$

В останній формулі середню температуру  $T_m$  можна знайти із формули [3]:

$$T_m = \left( \int_{h_0}^{h_{\max}} \frac{e}{T} Z_w^{-1} dh \right) / \int_{h_0}^{h_{\max}} \frac{e}{T^2} Z_w^{-1} dh.$$

Отже, для переходу від  $\Delta\rho_w$  до значень випадую-

чої водяної пари необхідно знати середню температуру атмосфери над даним пунктом. З цією метою потрібно побудувати регресійні залежності середньої температури  $T_m$  від температури на поверхні Землі  $T_0$  у пунктах спостереження.

*Експериментальні дослідження.* На основі даних аерологічного зондування атмосфери (значення  $T$ ,  $P$ ,  $W$ ) в пункті Київ в 2002 та 2003 рр. зроблено порівняльний аналіз значень поправок  $\Delta\rho_e$  (еталонні значення), визначених прямим методом за даними аерологічного зондування, значень поправок  $\Delta\rho_{GPS}$ , знайдених оберненим, незалежним методом (за даними GPS-спостережень), а також значень  $\Delta\rho_s$ , обчислених по моделі Саастамойнена, з використанням тільки наземних значень метеопараметрів  $p_0$ ,  $T_0$ ,  $W_0$ .

На рис. 1 наведено значення атмосферних поправок у віддаль при радіовіддалемірних спостереженнях за даними аерологічного зондування атмосфери в п. Київ протягом 2002-2003 рр. По горизонтальній осі — номер дня, починаючи з 1 січня 2002 р. Добре помітні сезонні зміни значень поправок: влітку вони значно більші, ніж взимку. Середнє значення поправки  $\Delta\rho$  на кожний день року виражається синусоїдою (рис. 1), знайденою за методом найменших квадратів:

$$\Delta\rho = A \sin \left( \frac{2\pi n}{T} + \varphi \right) + \Delta\rho_0, \quad (4)$$

де амплітуда  $A = 0.0399 \text{ м}$ , період  $T = 356.17 \text{ діб}$ , фаза  $\varphi = 227.41^\circ$ , вісь синусоїди (середнє значення поправки)  $\Delta\rho_0 = 2.3588 \text{ м}$ ,  $n$  — номер дня від початку 2002 р.; середня квадратична похибка  $\sigma = 0.0327 \text{ м}$ .

На рис. 2 наведено розподіл різниць атмосферних

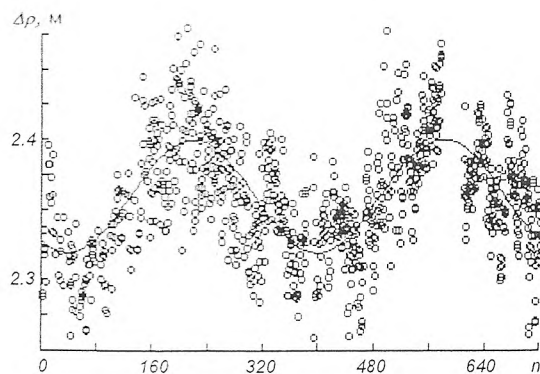


Рис. 1. Сезонні зміни поправок у віддаль при радіовіддалемірних спостереженнях за даними аерологічного зондування атмосфери в пункті Київ протягом 2002—2003 рр.

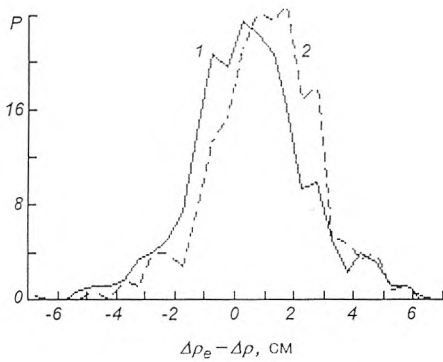


Рис. 2. Розподіл різниць  $\Delta\rho_e - \Delta\rho_S$  (1) і  $\Delta\rho_e - \Delta\rho_{GPS}$  (2)

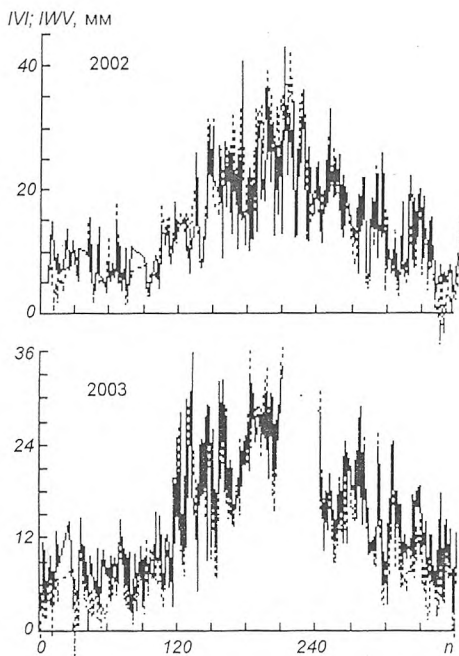


Рис. 3. Річні зміни випадаючої водяної пари, п. Київ, 2002 та 2003 рр.

поправок  $\Delta\rho_e - \Delta\rho_S$  та різниць  $\Delta\rho_e - \Delta\rho_{GPS}$  за 2002—2003 рр. в п. Київ. По вертикальній осі — частота випадків, віднесена до одиничного інтервалу значень цих різниць  $d$ :

$$P = \frac{m}{k \cdot \Delta d},$$

де  $m$  — число значень  $d$ , що попадає в відповідний інтервал  $\Delta d$ ;  $k$  — число всіх значень  $d$ , що використовувалися в обчисленнях.

Розходження між  $\Delta\rho_e$  і  $\Delta\rho_S$  пояснюються тим, що  $\Delta\rho_S$  не враховує вертикальний розподіл змін мете-

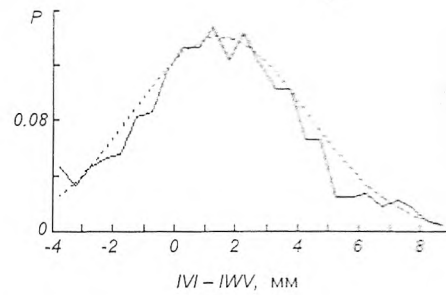


Рис. 4. Розподіл значень  $IVI - IWV$  і крива Гаусса

орологічних параметрів. На значення поправки в радіодіапазоні великий вплив також мають інверсії температури, які зумовлюють зростання парціального тиску, що впливає на величину поправки.

Графік розподілу різниць ( $\Delta\rho_e - \Delta\rho_{GPS}$ ) зміщений відносно початку координат. При обробці GPS-спостережень  $\Delta\rho_{GPS}$  визначається як невідомий параметр на деякому проміжку часу спостережень, наприклад, на інтервалі 1 год [1].

На основі даних аерологічного зондування атмосфери протягом 2002 і 2003 рр. у пункті Київ обчислені значення випадаючої водяної пари  $IVI$  (суцільна крива на рис. 3) за формулою (3). Пунктирна крива на рис. 3 — значення випадаючої водяної пари  $IWV$ , знайдені за даними GPS-спостережень.

У пункті Київ за даний період досліджень  $IWV$  змінюється в межах від 0 до 35 мм, що співпадає із даними досліджень для регіону Німеччини [3].

За даними спостережень в 2002—2003 рр. в Києві знайдено розподіл різниць  $d = IVI - IWV$  (рис. 4, суцільна крива). Інтервали групування різниць  $\Delta d = 0.5$  мм. Розподіл близький до кривої Гаусса (пунктирна крива на рис. 4) з параметрами: середнє значення  $d_c = 1.45$ , середнє квадратичне відхилення  $\sigma = 2.829$ . Середнє квадратичне відхилення отриманого розподілу від кривої Гаусса — 0.012.

Беручи до уваги, що точність визначення  $IWV$  становить 2 мм, можна стверджувати, що різниці між одержаними значеннями випадаючої водяної пари двома методами практично немає.

Якість прогнозу погоди, тобто визначення випадаючої водяної пари в атмосфері залежить від точності визначення середньої температури. Для пункту Київ запропоновано визначати середню температуру за регресійною залежністю (рис. 5), знайденою за даними аерологічного зондування в Києві в 2002—2003 рр.:

$$T_m = 0.77762007 T_0 + 55.5098500,$$

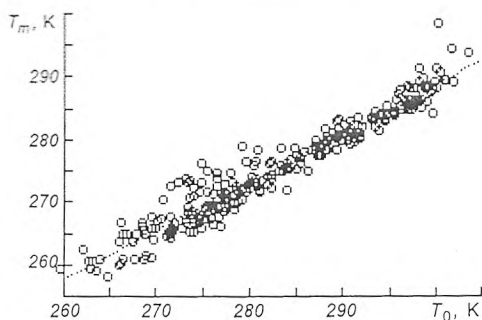


Рис. 5. Залежність середньої температури від поверхневої температури

коефіцієнт кореляції  $\rho = 0.9686$ , середнє квадратичне відхилення  $\sigma = 2.12588$ .

**Висновки.** Використання GPS-систем дозволяє проводити регіональний та глобальний моніторинг випадаючої водяної пари — одного з найважливіших параметрів, що формує клімат Землі. Його короткочасні зміни — це суттєва і необхідна частина інформації для прогнозування погоди. Тому дані дослідження слід провадити для всіх пунктів України, де існують перманентні GPS-станції. Недоліком GPS-спостережень є те, що вони не дають

інформації про вертикальний розподіл водяної пари. Значення випадаючої водяної пари для п. Києва змінюється в межах від 0 до 35 мм.

1. Гофманн-Велленгоф Б., Ліхтенеггер Г., Коллінз Д. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): теорія і практика. — К.: Наук. думка, 1996.—376 с.
2. Каблак Н. І., Клімук В. У. та ін. // Наук. вісник Ужгородського університету. Сер. Фізика.—1999.—№ 5.—С. 67—70.
3. Herring T. A., Anthes R. A., Ware R. H. GPS Meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the GPS. // J. Geophys. Res.—1992.—97.—P. 15787—15801.
4. Mironov N., Shvalagin I., Kablak N. Earth rotation, reference systems in geodynamics and solar system. — Varschava, 18—25 September 1995.—P. 161—164.
5. Saastamoinen I. I. Contribution to the theory of atmospheric refraction // Bull. geod.—1973.—107.—P. 13—34.

#### MONITORING OF THE BESIEGED WATER VAPOUR WITH THE HELP OF GPS FOR WEATHER PREDICTION

N. I. Kablak, V. U. Klimuk, I. V. Shvalagin, U. I. Kablak

Estimates of the zenith wet delay which are derived from GPS observational data analysis can be converted into the value of precipitable water vapour. This is important for the climate modelling and weather forecast. For this purpose, the weighted mean temperature of the atmosphere is required. We present some estimates of the precipitable water vapour for GPS observations in Kyiv.