

КОСМІЧНА НАУКА І ТЕХНОЛОГІЯ

Том 19
5(84) + 2013

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ + ЗАСНОВАНО В ЛЮТОМУ 1995 р. + ВИХОДИТЬ 6 РАЗІВ ЗА РІК + КИЇВ

95 РОКІВ



ЗМІСТ

CONTENTS

- | | | |
|---|-----------|---|
| <i>Загальнодержавна цільова науково-технічна космічна програма на 2013—2017 роки</i> | 5 | <i>The state purpose-oriented scientific-technical space program for 2013—2017</i> |
| <i>Концепція проекту Закону України «Про державне регулювання у сфері дистанційного зондування Землі»</i> | 14 | <i>The conception of a project of the Law of Ukraine “On the State Control in the Sphere of Earth Remote Sensing”</i> |
| <i>Шувалов В. А., Лазученков Д. Н., Носиков С. В., Кочубей Г. С. Идентификация землетрясений по зондовым измерениям возмущений параметров ионосферной плазмы на КА «Сич-2»</i> | 16 | <i>Shuvalov V. A., Lazuchenkov D. N., Nosikov S. V., Kochubey G. S. Identification of earthquakes with the use of Sich-2 probe measurements of ionospheric plasma perturbations</i> |
| <i>Бовчалюк А. П. Вплив пожеж на розподіл аерозолі над Україною за даними супутникових та наземних вимірювань</i> | 27 | <i>Bovchaliuk A. P. Fire impact on aerosol distribution over Ukraine from satellite and ground-based measurements</i> |
| <i>Костюченко Ю. В., Білоус Ю. Г., Мовчан Д. М., Копачевський І. М., Ющенко М. В., Артеменко І. Г., Попадюк Л. В. Застосування методів нелінійної просторово-часової регуляризації для аналізу даних метеорологічних спостережень</i> | 42 | <i>Kostyuchenko Yu. V., Bilous Yu. H., Movchan D. M., Kopachevsky I. M., Yushchenko M. V., Artemenko I. G., Popadyuk L. V. The use of methods of the nonlinear spatial-temporal data regularization for the analysis of meteorological observations</i> |

Найдич Ю. В., Габ И. И., Стецюк Т. В., Костюк Б. Д. Влияние гравитации на смачивание и капиллярные явления в контактных системах жидкость — твердое тело

Засуха С. А., Макаров А. Л., Лихолит Н. И., Семенов Л. П., Меленевский Ю. А., Архипов В. Т. Особенности криогенных систем охлаждения детекторов ИК-сканеров для микроспутников

Вергун Л. Ю., Черняк В. Я., Недибальук О. А., Орловська С. Г., Карімова Ф. Ф., Шкороподо М. С. Конформаційні зміни в структурі твердого парафінового палива на початковому етапі його спалювання

ДІЯЧІ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

До 100-річчя від дня народження академіка НАН України В. С. Будника

НАШІ АВТОРИ

50 Naidich Yu. V., Gab I. I., Stetsyuk T. V., Kostyuk B. D. Gravitation influence on wetting and capillary phenomena in contact liquid — solid systems

56 Zasukha S. A., Makarov A. L., Lykholit N. I., Semenov L. P., Melenevskiy Y. A., Arkhipov V. T. Some features of cryogenic cooling systems of infrared scanner detectors for microsatellites

63 Vergun L. Yu., Chernyak V. Ya., Nedibalyuk O. A., Orlovskaya S. G., Karimova F. F., Shkoropado M. S. The conformation changes of the solid paraffin's structure during initial stage of its burning

FIGURES OF SPACE AND ROCKET INDUSTRY OF UKRAINE

70 For 100th birthday of academician of NAS V. S. Budnyk

73 OUR AUTHORS

Свідоцтво про реєстрацію КВ № 1232 від 2 лютого 1995 р.

Підписано до друку 00.00.13. Формат 84×108/16. Папір крейдований. Гарн. Ньютон. Друк офс.
Ум. друк. арк. 7,77. Обл.-вид. арк. 8,16. Тираж 100 прим. Зам. № 0000.

Оригінал-макет виготовлено та тираж видруковано Видавничим домом «Академперіодика» НАН України,
01004, Київ, вул. Терещенківська, 4

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи серії ДК № 544 від 27.07.2001 р.

*27 листопада 2013 р. виповнюється 95 років
головному редакторові журналу
«Космічна наука і технологія»,
Президентові Національної академії наук України,
академіку Борису Євгеновичу ПАТОНУ*

*Редакційна колегія журналу сердечно вітає
Бориса Євгеновича
з цією знаменною датою
і зичить йому доброго здоров'я та наснаги
для здійснення усіх його творчих задумів
в ім'я науки і техніки України*



ЗАГАЛЬНОДЕРЖАВНА ЦІЛЬОВА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОСМІЧНА ПРОГРАМА НА 2013—2017 роки

Мета Програми

Забезпечення розвитку сучасних космічних технологій в Україні є важливим чинником, що визначає стратегічне місце держави у світі.

Виконання космічних програм за роки незалежності дало змогу розв'язати невідкладні проблеми розвитку космічної діяльності, зберегти науковий і виробничий потенціал в інтересах національної економіки та безпеки, вийти на міжнародний космічний ринок із власною продукцією і послугами, інтегрувати Україну до міжнародної космічної спільноти, сформувати основи внутрішнього ринку космічних послуг, здійснити перші кроки на шляху до комерціалізації космічної діяльності.

Разом з тим вплив космічної діяльності на вирішення актуальних питань науково-технічного, соціально-економічного, екологічного, культурного і освітнього розвитку суспільства, забезпечення національної безпеки та реалізації геополітичних інтересів держави не відповідає потенціалу космічної галузі.

Проблемою, яка потребує розв'язання, є значна диспропорція між рівнем космічного потенціалу та його впливом на результати вирішення актуальних загальнодержавних і суспільних завдань.

Мета Програми полягає у підвищенні ефективності використання космічного потенціалу для вирішення актуальних завдань соціально-економічного, екологічного, культурного, інформаційного і науково-освітнього розвитку суспільства, забезпечення національної безпеки та захисту геополітичних інтересів держави.

Шляхи і способи розв'язання проблеми

Можливі три варіанти розв'язання проблеми, які передбачають:

перший — збереження наявного підходу до бюджетного фінансування космічної діяльності, що дасть змогу частково задовольнити суспільні потреби у сфері дистанційного зондування Землі, супутникових навігаційних та телекомунікаційних послуг, частково забезпечити присутність України на світовому ринку космічних послуг та участь у виконанні міжнародних програм, що передбачають проведення фундаментальних космічних досліджень, виконати окремі прикладні наукові роботи із створення перспективних зразків ракетно-космічної техніки;

другий — значне збільшення обсягу державної підтримки, що дасть змогу забезпечити широкомасштабне розгортання космічної системи спостереження Землі та геофізичного моніторингу «Січ», реалізацію національних телекомунікаційних і наукових проектів, участь у проведенні міжнародних досліджень космічного простору в мирних цілях (зокрема, вітчизняних космонавтів-дослідників у космічних експериментах на поверхні Місяця), виконання наукових та освітніх програм, створення ракетно-космічної техніки, забезпечення конкурентоспроможності виробничого потенціалу, але не враховує фінансові можливості держави;

третій, оптимальний — удосконалення механізму надання державної підтримки, забезпечення інвестиційної привабливості космічної діяльності та пропорційного залучення позабюджетних коштів, що дасть змогу створити сприятливі умови для розвитку космічних технологій, сформувати внутрішній ринок космічних послуг і підвищити рівень експортного потенціалу держави.

Проблему передбачається розв'язати шляхом удосконалення механізму формування державного замовлення, запровадження державно-приватного партнерства та забезпечення інвестиційної привабливості космічної діяльності в результаті:

задоволення суспільних потреб у сфері дистанційного зондування Землі, а також супутникових навігаційних і телекомунікаційних послуг;

розширення присутності вітчизняних підприємств на світовому ринку космічних послуг, забезпечення доступу в космос;

проведення наукових космічних досліджень, прикладних наукових досліджень з питань створення перспективних зразків ракетно-космічної техніки та передових технологій, реалізації престижних національних проєктів, а також виконання науково-освітніх програм;

прискорення темпів розвитку ракетно-космічної техніки та підвищення її конкурентоспроможності; поглиблення міжнародного співробітництва.

Необхідність фінансування Програми з державного бюджету обумовлена тим, що:

космічні технології та інформація є важливою складовою частиною засобів виконання загальнодержавних завдань для забезпечення сталого розвитку, безпеки і оборони держави, підвищення її науково-технічного потенціалу;

рівень розвитку ракетно-космічної техніки визначає стратегію держави, її спроможність створювати необхідні засоби стримування, а також забезпечувати незалежний доступ у космос;

розвиток космічних технологій є одним із найбільш ефективних засобів стимулювання розвитку високотехнологічних галузей національної економіки, визначальним фактором її конкурентоспроможності;

провадження космічної діяльності є вагомим фактором інтенсифікації міжнародної співпраці, інструментом інтеграції держави в європейські структури, засобом набуття Україною статусу регіонального лідера.

Завдання і заходи

Основними завданнями Програми є:

забезпечення розвитку космічних технологій та їх інтеграції до реального сектору національної економіки і сфери національної безпеки та оборони:

- здійснення дистанційного зондування Землі з космосу;
 - удосконалення космічних систем телекомунікації та навігації;
 - провадження космічної діяльності в інтересах національної безпеки та оборони;
- проведення наукових космічних досліджень;
- удосконалення ракетно-космічної техніки та технологій її виготовлення:
- створення космічних комплексів;
 - забезпечення промислово-технологічного розвитку;
- поглиблення міжнародного співробітництва.

Паспорт Програми наведено в додатку 1, перелік завдань і заходів з їх реалізації, з визначенням строків виконання, обсягів та джерел фінансування наведено у додатку 2. Етапи виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт визначаються згідно з національними стандартами.

Забезпечення розвитку космічних технологій та їх інтеграції до реального сектору національної економіки і сфери національної безпеки та оборони спрямоване на задоволення суспільних потреб у сфері дистанційного зондування Землі, супутникових навігаційних та телекомунікаційних послуг шляхом впровадження досягнень космічної діяльності в реальний сектор національної економіки для розв'язання актуальних проблем суб'єктів господарської, управлінської і наукової діяльності, зміцнення національної безпеки та оборони.

Виконання завдання «Здійснення дистанційного зондування Землі» дасть змогу задовольнити суспільні потреби у сфері дистанційного зондування Землі шляхом розгортання на орбіті угруповання космічних апаратів спостереження Землі та створення ефективної наземної системи використання аерокосмічних даних, необхідних для забезпечення аерокосмічного моніторингу природокористування, а також контролю за кризовими явищами природного та техногенного характеру з метою мінімізації негативних наслідків для навколишнього природного середовища.

Орбітальне угруповання космічних апаратів спостереження Землі створюється вперше. Передбачається, що до його складу ввійде, окрім наявного на орбіті космічного апарата «Січ-2», ще один космічний апарат «Січ-2-1», який забезпечить глобальний огляд поверхні Землі в оптичному діапазоні з розрізністю 8 метрів. Це дасть змогу на належному рівні забезпечити прикладне використання даних для оцінки стану озимих культур, визначення видового складу лісів, дистанційного контролю снігового покриву,

класифікації підстильної поверхні за покривними елементами ландшафту, пошуку родовищ нафти та газу, виявлення лісових і степових пожеж тощо. Використання інформації, отриманої від орбітального угруповання космічних апаратів, дасть також змогу провести наукові дослідження з метою удосконалення методів прогнозування врожайності пшениці, оцінки стану водних екотонів, моніторингу опадів, оцінки впливу геодинамічних факторів на екологічний стан урбанізованих територій, пошуку нафти та газу на суходолі, комплексного моніторингу акваторій Чорного та Азовського морів, контролю параметрів оптичних технічних засобів дистанційного зондування в польоті.

Запуск космічного апарата дистанційного зондування передбачається здійснити ракетою-носієм вітчизняного виробництва «Циклон-4» з пускового центру Алкантара (Федеративна Республіка Бразилія). Зважаючи на положення Закону України «Про страхування» від 7 березня 1996 року № 85/96-ВР, для захисту майнових інтересів держави забезпечується страхування ризиків, пов'язаних з підготовкою космічного апарата до запуску на космодромі, запуском та експлуатацією у космосі. Передбачається також забезпечити страхування експлуатації супутника «Січ-2», який перебуває на навколоземній орбіті (запущено у 2011 році).

Програмою передбачається також створення оптичної космічної системи з просторовою розрізненістю 2,5 метра «Січ-2М» (запуск передбачається у 2018 році), а також виконання початкових етапів робіт щодо створення космічної системи «Січ-3Р» (запуск — орієнтовно 2020 рік), обладнаної сучасним радіолокатором із синтезованою апертурою антени. Космічний апарат «Січ-2М» є удосконаленим космічним апаратом «Січ-2» і його створення дасть змогу суттєво покращити технічні характеристики системи «Січ». Космічний апарат «Січ-3Р» забезпечить моніторинг підстильної поверхні незалежно від погодних умов, що для географічних широт України є надзвичайно важливим. Зважаючи на те, що такий космічний апарат у державі розробляється вперше, передбачено створення радіолокатора, проведення його всебічних випробувань, а також формування технічних вимог до платформи космічного апарата.

Створення перспективного бортового оптичного сканера високої просторової розрізненості для космічних апаратів дасть змогу досягти світового рівня показників просторового розрізнення та забезпечити ефективне розв'язання ряду спеціальних завдань контролю навколишнього природного середовища. При цьому комплексне використання знімків різної просторової розрізненості значно підвищить ефективність виконання завдань моніторингу навколишнього природного середовища. Запуск космічного апарата, обладнаного цим сканером, передбачається забезпечити під час виконання наступної космічної програми.

Технології створення космічних апаратів високого просторового розрізнення (як в оптичному, так і в радіочастотному діапазоні) мають перспективу попиту на світовому ринку космічних послуг, тому їх розроблення є актуальним.

На сучасному етапі розвитку космічних технологій багатопозиційні радіолокаційні системи дають змогу отримувати просторові зображення підстильної поверхні Землі, що відкриває нові перспективи під час інтерпретації та практичного використання даних (наприклад, створення просторових карт місцевості). Для освоєння цієї передової технології передбачається створення макетного зразка бістатичного радіолокатора та проведення комплексу його наземних випробувань. Ця технологія також має перспективу попиту на світовому ринку космічних послуг і її освоєння є актуальним завданням для розвитку космічної техніки.

З метою забезпечення ефективного використання супутникових даних передбачається розроблення та впровадження промислових технологій їх оброблення з отриманням результатів підтвердженої достовірності, для чого буде розроблено відповідну нормативно-законодавчу базу та забезпечено метрологічну підтримку складових елементів системи отримання дистанційних даних шляхом: створення контрольно-калібрувального полігона (для контролю параметрів технічних засобів дистанційного зондування в польоті), розроблення і впровадження методів метрологічної підтримки процесів та технічних засобів приймання, накопичення, оброблення та інтерпретації даних дистанційного зондування з використанням тестових полігонів (для калібрування і валідації даних). Передбачається, що здійснення зазначених заходів забезпечить перехід від переважно демонстраційного етапу використання даних дистанційного зондування до етапу їх промислового використання. Це, в свою чергу, дасть змогу забезпечити виконання вимог законодавства у сфері моніторингу навколишнього природного середовища (зокрема, Закону Укра-

їни «Про метрологію і метрологічну діяльність» від 11 лютого 1998 року № 113/98-ВР) та легітимізувати результати оброблення і інтерпретації даних дистанційного зондування.

Широка міжнародна кооперація, яка особливо важлива для розвитку сфери космічної діяльності, дає змогу оптимізувати витрати на створення космічної техніки, що на сучасному етапі становлення держави є надзвичайно актуальним. Виконання міжнародних програм у сфері дистанційного зондування разом з Російською Федерацією, Республікою Білорусь, Республікою Казахстан, країнами Європейського Союзу та іншими державами дасть змогу створити віртуальне угруповання космічних апаратів на орбіті та значно розширити можливості використання космічної інформації за рахунок обміну даними, що актуально для всіх країн, особливо під час проведення моніторингу кризових явищ у навколишньому природному середовищі.

Особливістю космічної діяльності є необхідність витрачання значних коштів без істотного економічного ефекту. Разом з тим тенденції розвитку світового ринку космічних послуг свідчать про нагальну потребу у всебічній комерціалізації всіх її складових. Зважаючи на це, передбачається здійснення заходів щодо створення внутрішнього ринку космічних послуг шляхом формування системи розповсюдження даних, проведення підготовки та перепідготовки фахівців з дистанційного зондування Землі на замовлення заінтересованих центральних органів виконавчої влади (на безоплатній основі) та суб'єктів господарювання (на комерційних засадах). Підприємства, які вийдуть на внутрішній ринок космічних послуг, у подальшому будуть мати змогу диверсифікувати джерела фінансування своєї діяльності на міжнародному ринку космічних послуг та збільшити обсяг відрахувань до бюджету.

Виконання завдання «Удосконалення космічних систем телекомунікації та навігації» сприятиме формуванню єдиного інформаційного простору держави (за рахунок розвитку засобів космічного зв'язку та мовлення з використанням національного космічного апарата «Либідь» на геостационарній орбіті), а також забезпечить підвищення ефективності функціонування транспортної системи держави (за рахунок впровадження супутникових навігаційних і геоінформаційних технологій).

Національна супутникова система зв'язку є системоутворювальним фактором, що дає змогу створити на її основі ряд сервісів (телевізійні мовні платформи, телекомунікаційні мережі тощо). Крім того, під час створення цієї системи передбачається реалізувати додаткові можливості з метою виходу на регіональні ринки зв'язку Європи та Африки. Функціонування системи забезпечить надання значній частині населення України високоякісних послуг телевізійного мовлення (в тому числі високої чіткості), а також послуг мобільного телевізійного мовлення та резервування корпоративних телекомунікаційних мереж.

Передбачається подальший розвиток Системи координатно-часового та навігаційного забезпечення з використанням інформації, отриманої від іноземних глобальних навігаційних супутникових систем ГЛОНАСС (Російська Федерація), GPS (США), Galileo (Європейський Союз).

Ураховуючи те, що для забезпечення прийнятного рівня похибок визначення координат більшість користувачів цих систем використовують наземні мережі контрольно-корегувальних станцій з розповсюдженням корегувальної інформації наземними та супутниковими каналами зв'язку, передбачається здійснити заходи щодо подальшого розвитку в державі цих мереж на двох рівнях: національному — для отримання субметрового рівня похибок та регіональному — для отримання сантиметрового рівня похибок.

Передбачене Програмою застосування українських станцій в європейському (EGNOS) та російському (СДКМ) супутникових функціональних доповненнях глобальних навігаційних супутникових систем з розповсюдженням даних Системи координатно-часового та навігаційного забезпечення на основі міжнародних стандартів дасть змогу зробити використання передових інформаційних технологій нормою повсякденного життя громадян держави.

Крім того, передбачається створити інтегровану багатофункціональну Систему контролю та аналізу космічної обстановки, яка забезпечить моніторинг космічних об'єктів з використанням радіолокаційних, квантово-оптичних та оптико-електронних засобів (з метою пошуку та спостереження за фрагментами космічного сміття), визначення та прогнозування орбіт космічних апаратів, прогнозування часу та районів падіння потенційно небезпечних космічних об'єктів, розв'язання задач спеціального характеру.

З метою підвищення ефективності функціонування цієї системи в подальшому передбачається її дооснащення сучасною наземною радіолокаційною станцією з багатопроменевими цифровими антенними решітками та створення багатопозиційного наземного комплексу спостереження за космічними

об'єктами в оптичному діапазоні. Вперше за часи незалежності для цього будуть використані всі наявні в державі квантово-оптичні та оптико-електронні засоби.

Створювана Система контролю та аналізу космічної обстановки є джерелом стратегічної інформації про діяльність міжнародного співтовариства в космосі та одним з елементів забезпечення безпеки держави.

Виконання завдання «Проведення космічної діяльності в інтересах національної безпеки та оборони» сприятиме забезпеченню довгострокових інтересів держави у сфері національної безпеки та обороноздатності за рахунок розвитку космічних технологій оборонного і подвійного призначення.

Ураховуючи те, що однією з основних тенденцій сучасного розвитку військової справи є інформатизація, передбачається здійснення заходів щодо істотного підвищення її рівня в державних органах, які здійснюють повноваження у сфері національної безпеки та оборони, особливо під час виконання ними оперативних завдань. Цього передбачається досягти за рахунок контролю космічного простору, супутникового зв'язку та навігації, а також виконання робіт з оснащення військових та спеціальних підрозділів сучасною вітчизняною апаратурою, у якій використовується інформація космічних систем.

Виконання завдання «Проведення наукових космічних досліджень» забезпечить прискорення наукового прогресу шляхом проведення наукових космічних досліджень, переважно за участю українських вчених в міжнародних програмах з дослідження космічного простору в мирних цілях та ініціювання реалізації престижних вітчизняних наукових космічних проєктів, виконання прикладних наукових досліджень щодо створення перспективних зразків ракетно-космічної техніки та передових технологій, розроблення науково-освітніх програм.

Пріоритетним є розвиток тих напрямів космічних досліджень, які за широкого міжнародного співробітництва дають змогу отримати результати, що відповідають сучасному світовому рівню. Перш за все, це дослідження, які проводяться науковими школами у сфері сонячно-земних зв'язків, астрофізики, космічної біології, матеріалознавства, що історично склалися в державі.

У сучасному світі формування адекватних відповідей на виклики, пов'язані з глобальними змінами навколишнього природного середовища, погіршенням екологічної ситуації, а також природними та техногенними катастрофами, стає життєво необхідним для суспільства. Важливу роль у цих процесах відіграє фактор впливу «космічної погоди» (або сонячно-земних зв'язків) на живий і неживий світ Землі. Зважаючи на це, сьогодні дослідженню «космічної погоди» у світовій науці приділяється значна увага. В Україні історично склалася наукова школа світового рівня з дослідження «космічної погоди», якою ініційовано проведення міжнародного експерименту «Іоносат» стосовно дослідження характеристик просторового розподілу електромагнітних параметрів навколосезонної плазми з метою, зокрема пошуку її адекватних відгуків на вплив факторів, що передують землетрусам. Перший етап цього експерименту під назвою «Потенціал» на цей час реалізується на борту космічного апарата «Січ-2». Реалізацію другого етапу під назвою «Іоносат-Мікро» передбачається виконати на борту спеціально створеного наукового космічного апарата «Мікросат-М» (запуск ракетою «Циклон-4» у 2013 році). Третій (основний) етап експерименту — «Іоносат-Стандарт» буде реалізовано з використанням угруповання з трьох космічних апаратів «Мікросат-С» під час виконання наступної космічної програми. Зважаючи на значний інтерес світової наукової спільноти до космічного експерименту «Іоносат», його реалізація дасть змогу підвищити престиж української науки на світовому рівні, буде сприяти інтеграції українських вчених до світової системи космічних наукових досліджень, забезпечить експериментам за ініціативи вітчизняних вчених інвестиційну привабливість.

З метою виконання зобов'язань України, визначених Програмою російсько-українського співробітництва у сфері дослідження та використання космічного простору в мирних цілях на 2012–2016 роки, передбачається участь українських вчених у проведенні фундаментальних наукових досліджень (проєкти «Спектр-Р» («Радіоастрон»), «Спектр-РГ», «Спектр-УФ», «Гамма-400», «Спектр-М» («Міліметрон») тощо). Участь у проведенні цих досліджень дасть змогу використати наявну в Україні унікальну наземну космічну інфраструктуру для управління науковими космічними апаратами, приймання інформації з космічних апаратів, що досліджують далекий космос, радіолокації планет Сонячної системи (в тому числі з метою забезпечення посадки на них автоматичних космічних апаратів). Цією програмою передбачається проведення ряду біологічних експериментів, ініційованих українською науковою школою з досліджень

біології космосу і спрямованих на вивчення процесів розвитку організмів в умовах мікрогравітації, пошук механізму виникнення життя. Зважаючи на стратегічні перспективи експансії людства на інші планети Сонячної системи та, у віддаленій перспективі, в інші зоряні світи, біологічні дослідження є актуальними і мають світові пріоритети.

Наявна в Україні наземна космічна інфраструктура є унікальною і вчені, насамперед вітчизняної наукової школи з радіоастрономічних досліджень, зацікавлені у її інтегруванні до міжнародних (зокрема, європейських) систем радіоінтерферометричних досліджень, яке можливе тільки за умови приведення характеристик технічних засобів інфраструктури до рівня світових. З цією метою передбачається дооснащення технічних засобів рядом систем різного призначення (для управління наведенням антенн, приймання сигналів, їх реєстрації та передавання). Крім того, передбачається провести з використанням наявної наземної інфраструктури ряд радіоінтерферометричних досліджень за власними науковими програмами, які стануть вкладом української науки у загальні зусилля світової наукової спільноти щодо фундаментальних досліджень Всесвіту і розв'язання проблем вивчення космічного сміття та астероїдної безпеки. Ці проблеми набувають особливої актуальності, зважаючи на можливе загрозове зближення із Землею астероїдів, падіння яких може поставити на межу знищення світову цивілізацію.

Не всі космічні експерименти можуть бути проведені в автоматичному режимі, особливо це стосується біологічних експериментів. Без дослідження впливу факторів космічного простору на організм людини є неможливими міжпланетні перельоти, які стануть реальністю для людства в порівняно недалекій перспективі. З огляду на те, що вітчизняні проекти з реалізації пілотованих польотів найближчим часом видаються нереальними (як найбільш витратний напрям космічної діяльності), єдиним шляхом проведення космічних експериментів, які потребують обов'язкової участі людини, є міжнародна кооперація. Програмою передбачено проведення спільних російсько-українських експериментів на російському сегменті Міжнародної космічної станції. Крім виконання міжнародних зобов'язань України, це дасть змогу українським ученим, по-перше, провести космічні експерименти і отримати наукові результати, які можуть принести Україні міжнародне визнання, по-друге, інтегруватися в міжнародну систему наукових космічних досліджень.

На цей час у світі найбільш актуальними напрямками наукових космічних досліджень є здійснення експедицій на Місяць, підготовка експедицій на Марс і астероїди, посадка автоматичних космічних апаратів на тверді ядра комет з метою визначення шляхів використання ресурсів космосу для задоволення потреб людства (перш за все енергетичних) та пошуку ознак життя. Для координації зусиль світової спільноти у цьому напрямі реалізується міжнародна ініціатива «GLOBAL EXPLORATION STRATEGY (GES)», членом якої є Україна. Зважаючи на це, Програмою передбачається формування наукових програм щодо фундаментальних досліджень об'єктів Всесвіту, а також обґрунтування ряду космічних експериментів з дослідження Місяця (зокрема, радіолокація поверхні Місяця в міліметровому діапазоні довжин хвиль електромагнітного спектру, картографування космічної сфери в діапазоні енергій 10^{21} еВ з використанням поверхні Місяця як мішені, спектрополяриметричні дослідження складу ґрунту, піднятого з поверхні Місяця мікрометеоритами). Проведення зазначених експериментів під час виконання наступних космічних програм дасть змогу досягти вагомих наукових результатів та покращити імідж України як космічної держави.

Досвід діяльності космічних агентств передових космічних держав свідчить, що науково-освітні (молодіжні) космічні програми є ефективним засобом привернення уваги творчої молоді до вивчення космосу, залучення її до космічних досліджень, популяризації в суспільстві знань про космос. Крім того, виконання науково-освітніх програм дає змогу перевірити новітні наукові ідеї, що формулюються, як правило, молодими вченими. Передбачене виконання науково-освітніх програм є особливо актуальним в умовах гострої кадрової потреби в космічній галузі. Уперше за часи незалежності Програмою передбачено забезпечити запуск університетського (молодіжного) наносупутника (масою до 10 кілограмів), на якому молодіжні колективи наукових установ космічної галузі держави та провідних технічних університетів зможуть проводити свої наукові експерименти. У процесі виконання науково-освітніх програм молоді вчені отримають змогу зробити перші кроки в науці і техніці, встановити наукові зв'язки із закордонними ровесниками, повірити у свій творчий потенціал та реалізувати його на теренах держави.

Удосконалення ракетно-космічної техніки та технологій її виготовлення спрямоване на сприяння економічному розвитку держави за рахунок використання космічної техніки та технологій, покращення діяльності підприємств космічної галузі.

Виконання завдання «Створення космічних комплексів» дасть змогу забезпечити прискорення темпів розвитку конкурентоспроможної космічної техніки, створити основу для розроблення принципово нових космічних систем і їх елементів, приладів, наземної інфраструктури, впровадження інновацій із залученням не тільки українських підприємств, а і підприємств інших країн у складі міжнародних консорціумів.

Зважаючи на те, що відсутність власного космодрому є істотним стримувальним фактором розвитку космічної діяльності в державі, створення космодрому Алкантара у Федеративній Республіці Бразилія (для запусків ракети-носія «Циклон-4») забезпечить Україні незалежний доступ в космос, а також стане важливим елементом збезреження сегмента запусків космічних апаратів на світовому ринку космічних послуг і формування підґрунтя для його розширення.

Протягом строку дії Програми передбачається проведення льотних випробувань та введення у штатну експлуатацію космічного ракетного комплексу «Циклон-4». Це дасть змогу отримати незалежний доступ в космос та створити надійне підґрунтя для успішного виконання космічних програм України, Федеративної Республіки Бразилія та третіх сторін на комерційній основі.

До цього часу виробництво ракет-носіїв становить основу присутності України на світовому ринку космічних послуг. Тому передбачено сприяння комерційній експлуатації ракет-носіїв «Зеніт-3SL» («Морський старт»), «Зеніт-2SLБ», «Зеніт-3SLБ» («Наземний старт»), «Дніпро», а також здійснення заходів із створення конкурентоспроможних ракетно-космічних комплексів нового покоління на комерційній основі («Antares»), що дасть змогу залучити значні кошти з інших джерел для створення космічної техніки та забезпечити підприємства космічної промисловості стабільними замовленнями, а їх працівників — престижною високооплачуваною роботою.

Забезпечення конкурентоспроможності космічної техніки можливе тільки в результаті постійного удосконалення її технічних характеристик, створення перспективних зразків, у тому числі на нових принципах функціонування. Зважаючи на це, передбачено розроблення технічних пропозицій щодо перспективних систем виведення космічних апаратів на орбіту, а також створення перспективних приладів і агрегатів для бортових та наземних систем.

Зазначені напрацювання стануть основою для створення конкурентоспроможної космічної техніки у процесі виконання наступних космічних програм.

Програмою передбачено виконання робіт з удосконалення технологій виробництва космічної техніки, в тому числі впровадження сучасних комп'ютерних технологій проектування, здійснення заходів щодо забезпечення якості, стандартизації та сертифікації космічної техніки, створення нових матеріалів, які дадуть змогу забезпечити її конкурентоспроможність.

Виконання завдання «Забезпечення промислово-технологічного розвитку» дасть змогу провести технічне оновлення виробництва космічної техніки, підтримати функціонування унікальних об'єктів космічної діяльності.

Завдання «Поглиблення міжнародного співробітництва» спрямовано на розширення міжнародної співпраці у напрямі дослідження космічного простору в мирних цілях, поглиблення стратегічного партнерства з Російською Федерацією, Федеративною Республікою Бразилія, Канадою, США, державами Балтійсько-Чорноморського регіону (зокрема, шляхом гармонізації національних законодавчих та нормативних актів з міжнародними, здійснення заходів щодо охорони інтелектуальної власності у сфері космічної діяльності).

Очікувані результати, ефективність виконання Програми

Виконання Програми забезпечить:

формування космічної системи спостереження Землі та геофізичного моніторингу «Січ» з космічним сегментом (угруповання з двох вітчизняних космічних апаратів), наземним комплексом управління та наземним інформаційним комплексом і її ефективну експлуатацію;

сприяння створенню, експлуатації та комерційному використанню Національної супутникової системи зв'язку «Либідь»;

експлуатацію, а також сприяння комерційному використанню Системи координатно-часового та навігаційного забезпечення, створення регіональних навігаційно-інформаційних систем, надання високо-точної навігаційної інформації користувачам в Україні та за її межами;

гарантоване оперативне надання державним органам, що здійснюють повноваження у сфері оборони і національної безпеки (за їх замовленням), послуг космічного зв'язку та ретрансляції даних, координатно-часового та навігаційного забезпечення, розповсюдження інформації, що надходить від супутників дистанційного зондування Землі, і розроблення сучасних технологій її спеціального використання, створення багатофункціональних технічних засобів спеціального використання, модернізацію і підтримку експлуатації системи контролю та аналізу космічного простору;

проведення наукових космічних досліджень з астрофізики, космічної біології і матеріалознавства у межах національних та міжнародних проектів, проведення за ініціативою українських вчених космічного експерименту з дослідження іоносфери «Іоносат-Мікро», створення наукових приладів для участі в міжнародних наукових експериментах та модернізацію радіотелескопа РТ-70, виконання науково-освітніх програм та створення університетського (молодіжного) наносупутника, виконання перспективних наукових програм;

штатну експлуатацію космічного ракетного комплексу «Циклон-4» з пускового центру Алкантара (Федеративна Республіка Бразилія), створення умов для запуску космічних апаратів в інтересах космічних програм України, Федеративної Республіки Бразилія та третіх сторін;

започаткування робіт із створення перспективної ракетно-космічної техніки (ракета-носії, транспортні космічні засоби для освоєння траси «Земля — Місяць», реактивні рушійні установки на екологічно чистих компонентах палива, космічні апарати дистанційного зондування з радіолокатором із синтезованою апертурою антени і оптичним сканером, системи управління для ракет-носіїв і космічних апаратів, прилади службової бортової апаратури космічних апаратів), а також визначення напрямів подальшого розвитку систем виведення космічних апаратів на орбіту;

виконання комплексу робіт з розвитку перспективних технологій створення ракетно-космічної техніки та нових матеріалів;

реалізацію ефективної кадрової політики, розвиток системи підготовки та перепідготовки кадрів, зокрема системи їх стажування за кордоном;

сприяння комерційній експлуатації ракет-носіїв «Циклон-4», «Зеніт-2SLБ», «Зеніт-3SLБ» («Наземний старт»), «Зеніт-3SL» («Морський старт»), «Дніпро»;

розвиток співробітництва з Російською Федерацією, країнами Європейського Союзу, Федеративною Республікою Бразилія, Канадою, Республікою Білорусь, США, Республікою Казахстан та країнами Азіатсько-Тихоокеанського регіону, а також активізацію здійснення заходів щодо співробітництва з країнами Балтійсько-Чорноморського регіону;

здійснення заходів щодо розширення співпраці України з Європейським космічним агентством, активну участь держави у роботі міжнародних форумів та організацій, у тому числі системи ООН, з питань космічної діяльності та мирного освоєння космічного простору;

здійснення комплексу заходів, спрямованих на зміцнення позиції українських експортерів продукції космічної промисловості на світовому ринку;

гармонізацію національних стандартів у галузі створення ракетно-космічної техніки з міжнародними та європейськими і запровадження визнаних на міжнародному рівні систем сертифікації, метрологічного забезпечення та управління якістю.

Ефективність виконання Програми визначається за такими показниками:

у сфері економіки:

- отримання комерційного (прямого) доходу в обсязі, орієнтовно, 2,5 млрд гривень;
- отримання непрямого доходу в обсязі, орієнтовно, 3,24 млрд гривень;

у соціальній сфері:

- розширення можливості доступу громадян до сучасних інформаційних технологій;
- посилення в суспільстві інтересу до проблем дослідження космосу;

- підвищення серед молоді престижу науково-технічної діяльності;
 - розширення можливостей для наукових працівників щодо інтеграції у світову систему наукових досліджень;
 - збільшення співвідношення між середньою заробітною платою на підприємствах, що підпорядковані ДКА, та в державі до 1,2;
 - збільшення кількості робочих місць до 1550;
 - у сфері екології — підвищення оперативності та якості інформаційного обслуговування користувачів інформації щодо екологічного стану навколишнього природного середовища.
- Очікувані результати виконання Програми наведені у додатку 3.

Обсяги та джерела фінансування

Виконання Програми здійснюється за рахунок коштів державного бюджету та інших джерел.

Орієнтовний обсяг фінансування Програми становить 2,58 млрд гривень, у тому числі з державного бюджету — 1,12 млрд гривень. Обсяг фінансування Програми визначається щороку виходячи з можливостей державного бюджету.

Орієнтовний розподіл фінансування за роками, (млн гривень):

Джерела фінансування	Разом	За роками				
		2013	2014	2015	2016	2017
Державний бюджет	1120	235,7	234,7	238,7	202,9	208
Інші джерела	1460	389	207	258	295	311
Усього	2580	624,7	441,7	496,7	497,9	519

Кошти державного бюджету спрямовуються в установленому порядку на проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт згідно з Програмою.

Залучення коштів з інших джерел планується здійснювати, зокрема на основі державно-приватного партнерства між Державним космічним агентством та приватними партнерами згідно із законодавством.

Обсяги фінансування окремих завдань і заходів Програми коригуються Державним космічним агентством з урахуванням обсягу видатків, передбаченого у державному бюджеті на її виконання, та державних пріоритетів у сфері космічної діяльності.

Програму передбачається виконати з використанням матеріально-технічних ресурсів підприємств космічної, авіаційної та машинобудівної галузей національної економіки.



КАБІНЕТ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ

РОЗПОРЯДЖЕННЯ
від 28 серпня 2013 р. № 657-р
Київ

Про схвалення Концепції проекту Закону України «Про державне регулювання у сфері дистанційного зондування Землі»

1. Схвалити Концепцію проекту Закону України «Про державне регулювання у сфері дистанційного зондування Землі», що додається.

2. Державному космічному агентству разом з іншими заінтересованими центральними органами виконавчої влади розробити з урахуванням положень Концепції, схваленої цим розпорядженням, та подати у тримісячний строк Кабінетові Міністрів України проект Закону України «Про державне регулювання у сфері дистанційного зондування Землі».

Прем'єр-міністр України М. АЗАРОВ

СХВАЛЕНО
розпорядженням Кабінету Міністрів України
від 28 серпня 2013 р. № 657-р

КОНЦЕПЦІЯ проекту Закону України «Про державне регулювання у сфері дистанційного зондування Землі»

Проблема, яка потребує розв'язання

На сьогодні недостатньо врегульоване на законодавчому рівні питання щодо провадження діяльності у сфері дистанційного зондування Землі, зокрема щодо:

впровадження та комплексного використання технологій дистанційного зондування Землі для виконання державних завдань з проведення моніторингу надзвичайних ситуацій, у сфері агропромислового комплексу, надрокористування, екомоніторингу, земле- та лісикористування, національної безпеки та оборони;

забезпечення міжвідомчої координації і кооперації щодо обміну та багатоцільового використання закуплених за бюджетні кошти даних дистанційного зондування Землі;

створення та функціонування єдиної державної системи архівування та доступу до даних дистанційного зондування Землі, а також системи контролю за їх розповсюдженням.

У цілому зазначене не дає змогу ефективно використовувати наявні в державі дані дистанційного зондування Землі для задоволення державних потреб, а також спричиняє багаторазове дублювання закупівель.

Рівень правового регулювання щодо провадження діяльності у сфері дистанційного зондування Землі є задовільним лише у сегменті топографо-геодезичної та картографічної діяльності.

Мета Концепції

Метою Концепції є визначення на законодавчому рівні правових економічних, організаційних та фінансових засад провадження діяльності у сфері дистанційного зондування Землі, а також державного регулювання у даній сфері.

Шляхи та способи розв'язання проблеми

Розв'язати проблему передбачається шляхом:

визначення на законодавчому рівні основних пріоритетів держави, а також загальних умов і вимог щодо провадження діяльності у сфері дистанційного зондування Землі;

запровадження механізму державного регулювання у сфері дистанційного зондування Землі;

визначення умов отримання, оброблення, розповсюдження, використання і архівації даних дистанційного зондування Землі в Україні, в тому числі з урахуванням прийнятих міжнародних зобов'язань в рамках укладених договорів з питань співробітництва у сфері дистанційного зондування Землі;

встановлення правил міжвідомчої координації і кооперації щодо обміну та багатоцільового використання закуплених за бюджетні кошти даних дистанційного зондування Землі споживачами;

створення єдиної системи доступу, міжвідомчого використання, архівування та контролю за розповсюдженням даних дистанційного зондування Землі, що закуплені за бюджетні кошти;

впровадження механізму уникнення дублювання в ході здійснення закупівель даних дистанційного зондування Землі;

забезпечення стабільного функціонування та розвитку існуючої в Україні наземної інфраструктури дистанційного зондування Землі.

Способами розв'язання проблеми є:

визначення повноважень центральних та місцевих органів виконавчої влади у сфері дистанційного зондування Землі;

забезпечення широкомасштабного впровадження технологій дистанційного зондування Землі у сфері національної безпеки та оборони;

створення системи інформаційної взаємодії між органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування та суб'єктами господарювання щодо закупівлі, розповсюдження та комплексного використання даних дистанційного зондування Землі;

розроблення в рамках Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми та надання державним органам уніфікованих методик оброблення даних дистанційного зондування Землі;

створення Державного архіву даних дистанційного зондування Землі із системою інтерактивного розподіленого доступу до інформації для споживачів;

забезпечення взаємодії та інформаційного обміну даними дистанційного зондування Землі в рамках міжнародного співробітництва;

впровадження механізму реалізації проектів у сфері дистанційного зондування Землі в рамках державно-приватного партнерства;

встановлення відповідальності у сфері дистанційного зондування Землі у разі порушення вимог законодавства.

Очікувані результати

Прийняття Закону України «Про державне регулювання у сфері дистанційного зондування Землі» дасть змогу:

впровадити у центральних та місцевих органах виконавчої влади новітні геоінформаційні технології та системи на основі даних дистанційного зондування Землі;

створити загальнодержавну систему доступу до оперативної та архівної інформації дистанційного зондування Землі для підтримки прийняття рішень органами виконавчої влади;

реалізовувати єдину державну технічну політику під час розроблення, впровадження та використання методик тематичного оброблення інформації дистанційного зондування Землі;

активізувати діяльність у сфері дистанційного зондування Землі, сприяти формуванню та швидкому зростанню внутрішнього ринку даних дистанційного зондування Землі і активізації виробничої діяльності у сфері дистанційного зондування Землі;

залучити інвестиції для реалізації інвестиційних проектів у сфері дистанційного зондування Землі.

Фінансові, матеріально-технічні і трудові ресурси

Реалізація Концепції не потребує залучення додаткових фінансових, матеріально-технічних і трудових ресурсів.

УДК 533.95

В. А. Шувалов, Д. Н. Лазученков, С. В. Носиков, Г. С. Кочубей

Інститут технічної механіки Національної академії наук України
та Державного космічного агентства України, Дніпропетровськ

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ЗОНДОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ ВОЗМУЩЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ НА КА «СИЧ-2»

Разработана процедура идентификации флуктуаций пространственно-временного распределения нейтральных и заряженных частиц по зондовым измерениям научной аппаратурой ИТМ на КА «Сич-2». Определена локализация извержений вулканов, эпицентров землетрясений, которые зарождаются и происходят на подспутниковой трассе КА, а также локализацию южного и северного авроральных пиков в ионосфере Земли.

ВВЕДЕНИЕ

Ионосферная плазма — индикатор, чутко реагирующий на воздействие «сверху» (Солнце, гелиосферные возмущения) и воздействие «снизу» (Земля, процессы в литосфере, земной коре, на ее поверхности, в морях и океанах). На воздействие «сверху» (вспышки на Солнце, потоки плазмы солнечного ветра) ионосфера реагирует, как правило, постфактум (с опозданием), на воздействие «снизу» (разрушение земной коры, процессы в литосфере, землетрясения) — с опережением. Это обстоятельство может быть использовано для прогнозирования, идентификации пространственно-временной локализации природных и техногенных катастрофических явлений.

Состояние ионосферной плазмы, ее нейтрального и заряженных компонентов характеризуют основные кинетические параметры: температура электронов, ионов и нейтралов T_e , T_i , T_n ; концентрации нейтральных (N_n) и заряженных ($N_{i,e}$) частиц (ионов и электронов); степень неизотермичности T_i/T_e , степень ионизации $\epsilon = N_i/(N_i + N_n)$ и потенциал пространства (плазмы) Φ_0 . Пространственно-временные распре-

деления, флуктуации основных кинетических параметров нейтрального и заряженных компонентов, электрических и магнитных полей, развитие неустойчивостей в ионосферной плазме могут быть использованы для прогноза землетрясений, извержений вулканов, для определения пространственно-временной локализации зон сейсмической активности, торнадо, песчаных бурь и прочих катаклизмов [11, 12, 14].

Для диагностики, мониторинга и регистрации флуктуаций основных кинетических параметров ионосферной плазмы как предвестников землетрясений и индикаторов извержений вулканов, их локализации может быть использована научная аппаратура на орбитальных космических платформах [2, 4, 5, 10–12, 25]. При этом зондовые методы диагностики потоков неравновесной разреженной плазмы в ионосфере не замкнуты: вольтамперные характеристики (ВАХ) электрических зондов не позволяют определить параметры нейтральных частиц.

С целью повышения информативности зондовых методов при диагностике неизотермической плазмы низкой плотности в ионосфере в состав комплекса научной аппаратуры КА «Сич-2» (запущен 17 августа 2011 г. на гелиосинхронную орбиту высотой 700 км и наклоном 98°) включены две зондовые системы, разработанные и изготовленные в ИТМ:

1) детектор заряженных частиц (DE) — одиночный цилиндрический зонд Ленгмюра радиусом $r_p = 0.05$ см и длиной $l_p = 12.0$ см с охранным электродом радиусом $r_g = 0.2$ см и длиной $l_g = 12.5$ см. При измерениях ВАХ ось симметрии зонда Ленгмюра должна быть ортогональна к вектору скорости U_∞ полета КА и параллельна поверхности Земли;

2) детектор нейтральных частиц (DN), состоящий из двух зондов давления с инверсно-магнетронными преобразователями (ИМП) в качестве чувствительных элементов. Нормали к плоскости входных отверстий ИМП взаимно ортогональны. При измерениях нормаль к апертуре первого ИМП $\mathbf{n}_1$ должна быть параллельна вектору скорости U_∞ полета КА, а нормаль $\mathbf{n}_2$ к апертуре второго ИМП — перпендикулярна к вектору скорости U_∞ . В работах [21–23] показано, что применение детекторов DE и DN на КА «Сич-2» с использованием специальных процедур анализа и обработки выходных сигналов приборов позволяет замкнуть задачу диагностики потоков неравновесной разреженной плазмы в ионосфере и определить полный комплекс основных кинетических параметров, характеризующих состояние околоспутниковой среды.

Цель данной работы — показать, что пространственно-временные распределения кинетических параметров нейтральных и заряженных частиц, измеренные зондовыми системами ИТМ на КА «Сич-2», позволяют определять локализацию южного и северного авроральных пиков концентрации электронов в ионосфере Земли; локализацию эпицентров произошедших, происходящих в момент пролета КА и зарождающихся землетрясений и извержений вулканов на подспутниковой трассе на поверхности Земли.

ЗОНДОВАЯ ДИАГНОСТИКА ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ НА КА «СИЧ-2»

Нейтральные частицы. Для измерения параметров нейтрального компонента ионосферной разреженной плазмы на КА «Сич-2» использовался детектор DN при достаточно жестких ограничениях по ориентации зондов давления относительно вектора скорости U_∞ полета КА.

Для выходных сигналов двух зондов давления детектора DN при $\theta_1 = 0$ и $\theta_2 = \pi/2$ и скоростном отношении $S_n = U_\infty / \sqrt{2kT_n/M_n} \geq 2.5$ согласно [22, 23] имеем для температуры нейтральных частиц

$$T_n = \xi \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^2 \frac{T_{w_1}}{T_{w_2}} \frac{\Psi_1}{\Psi_2}, \quad (1)$$

концентрации

$$N_n = P_1 / k \sqrt{\xi T_{w_1}} \Psi_1 \quad (2)$$

или

$$N_n = P_2 / k \sqrt{T_n T_{w_2}} \Psi_2, \quad (3)$$

где $\theta_{1,2}$ — углы между вектором скорости U_∞ полета КА и нормалью $\mathbf{n}_{1,2}$, $\xi^{0.5} = U_\infty \sqrt{2\pi M_n / k}$, k — постоянная Больцмана, M_n — масса нейтральных частиц, $P_{1,2}$ — давление, измеряемое зондами 1 и 2, $T_{w_{1,2}}$ — температура стенок корпуса зондов, $\Psi_{1,2}$ — коэффициенты Клаузинга, затабулированные в работе [8].

Соотношения (1)–(3) позволяют оценить по выходным сигналам детектора DN значения температуры T_n и концентрации N_n нейтральных частиц, их пространственно-временные распределения в ионосфере вдоль траектории КА.

Заряженные частицы. Собираение заряженных частиц детектором DE, измерение ВАХ бесконечно длинного цилиндрического зонда на КА «Сич-2» осуществлялось при условиях, когда $l_p/r_p \gg 1$, $r_p/\lambda_d \ll 1$, $l_p/r_e \leq 2\pi$ и $r_p/r_e \ll 1$ (λ_d — дебаевский радиус в невозмущенной плазме,

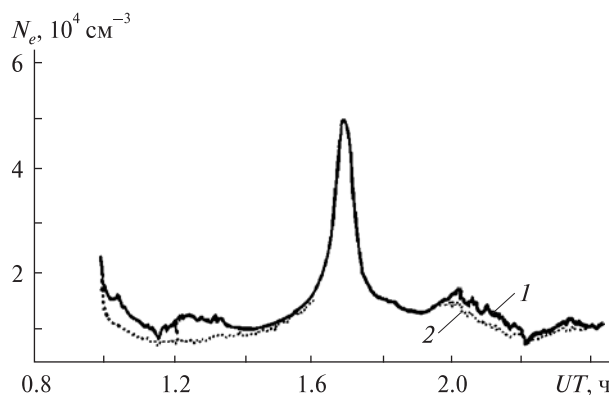


Рис. 1. Изменения концентрации электронов N_e со временем, полученные 14 сентября 2011 г. КА «Сич-2»: 1 — ток насыщения (9), (10), 2 — ток при $\phi_w = 0$ (8)

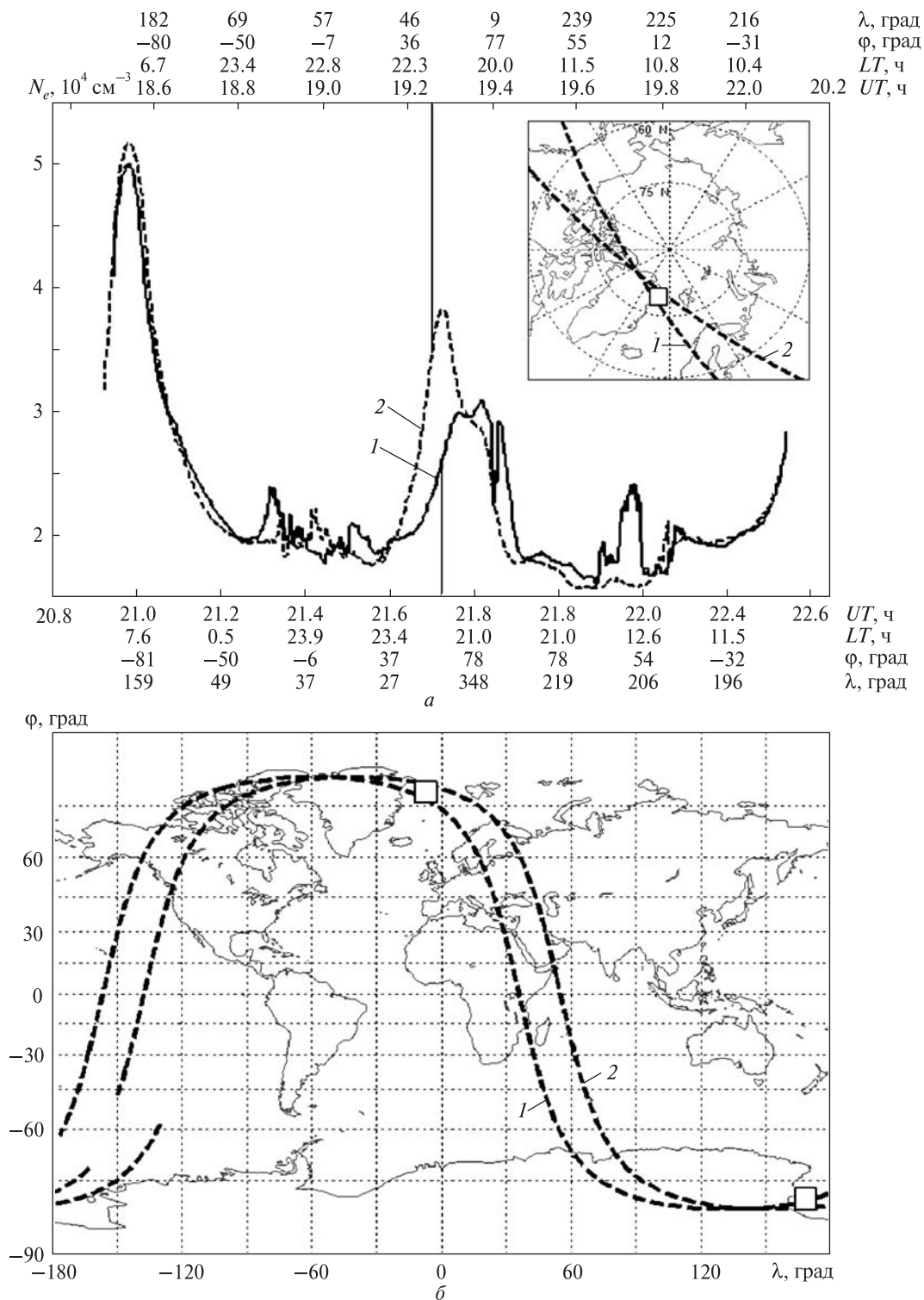


Рис. 2. а — пространственно-временные распределения концентрации электронов N_e , полученные 23 ноября (1) и 4 декабря 2011 г. (2) КА «Сич-2», б — подспутниковые трассы. Квадратики — южный и северный полярные пики

$r_{i,e}$ — ларморовский радиус ионов и электронов). В полярной ионосфере на высоте $h \approx 700$ км при средних значениях $\lambda_d \approx 3.5$ см; $r_e \approx 2.5$ см; $r_i \approx \approx 330$ см и $l_p \approx 12$ см все приведенные выше условия выполняются.

При измерениях ВАХ ось зонда параллельна поверхности Земли. Участок вольтамперных характеристик, соответствующий торможению электронов в поле отрицательно заряженного зонда, в полулогарифмическом масштабе остается прямолинейным. Признаков влияния магнитного поля Земли на области торможения ($\Phi_W < 0$) и насыщения ($\Phi_W \gg 1$) электронного тока на зонд при $0.02 \leq r_p/r_e \leq 0.008$, как и в работах [5, 26], не обнаружено (здесь $\Phi_W = e\varphi_W/(kT_e)$ — безразмерный потенциал зонда, e — заряд электрона, $\varphi_W = \varphi_p - \varphi_0$ — потенциал зонда φ_p относительно потенциала плазмы φ_0). На собирание электронов практически не влияет и ориентация зонда относительно вектора скорости U_∞ полета КА. Для определения температуры T_e и концентрации N_e использовались области торможения и насыщения электронного тока на зонд и формулы [20, 22, 23]:

$$T_e = \frac{e}{k} \left(\frac{d \ln I_e}{d \varphi_p} \right)^{-1}, \quad (4)$$

$$T_e = \frac{4e}{\pi k} \frac{I_{0e}^2}{(dI_e^2/d\varphi_p)} \quad (5)$$

и

$$T_e = \frac{e}{k} \left(\frac{1}{I_e} \frac{dI_e}{d\varphi_p} \right)^{-1}. \quad (6)$$

Величина

$$I_{0e} = A_p j_{0e} = 2\pi r_p l_p e N_e \left(\frac{kT_e}{2\pi m_e} \right)^{0.5}$$

характеризует электронный ток при $\varphi_W = \varphi_p - \varphi_0 = 0$ ($A_p = 2\pi r_p l_p$ — собирающая площадь зонда, j_{0e} — плотность хаотического тока электронов на зонд).

Потенциал плазмы φ_0 определялся по точке пересечения асимптот линейных участков тока при тормозящих электроны потенциалах и электронного тока насыщения I_e

$$\varphi_0 = \varphi_p - I_e^2 \left(\frac{dI_e^2}{d\varphi_p} \right)^{-1}. \quad (7)$$

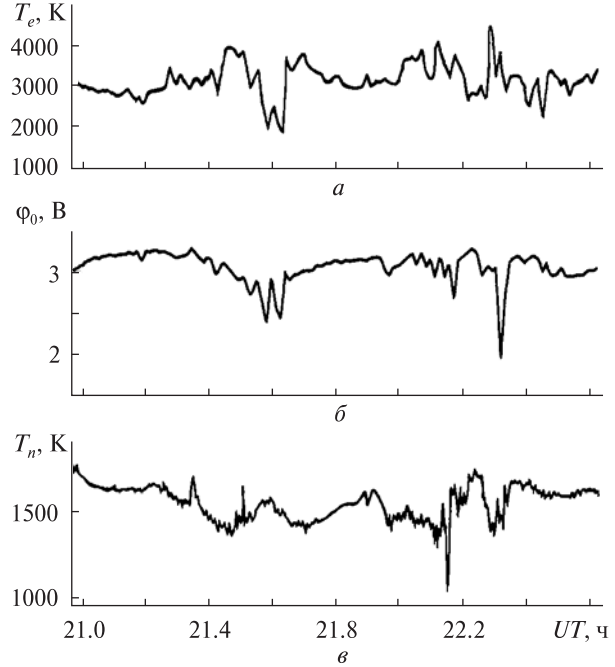


Рис. 3. Изменение параметров плазмы: а — температуры T_e электронов, б — потенциала φ_0 , в — температуры T_n нейтралов вдоль траектории КА «Сич-2» 23 ноября 2011 г.

Концентрация электронов при $\varphi_W = 0$ определялась из выражения

$$N_e = \frac{I_{e0}}{A_p e (kT_e / 2\pi m_e)^{0.5}}, \quad (8)$$

а при $\Phi_W \geq 10$ и $\varphi_p \gg \varphi_0$ — из выражения

$$N_e = \left(\frac{\pi^2 m_e}{2A_p^2 e^3} \frac{dI_e^2}{d\varphi_p} \right)^{0.5}, \quad (9)$$

или

$$N_e \approx \frac{\pi I_e}{A_p e (2e\varphi_p / m_e)^{0.5}}. \quad (10)$$

На рис. 1 для сравнения приведены кривые изменения концентрации N_e со временем, измеренные детектором DE на КА «Сич-2» 14 сентября 2011 г.: кривая 1 — ток насыщения, формулы (9)—(10), кривая 2 — ток при $\varphi_W = 0$, формула (8). При вычислении N_e по (9) и (10) знание T_e и φ_0 не требуется.

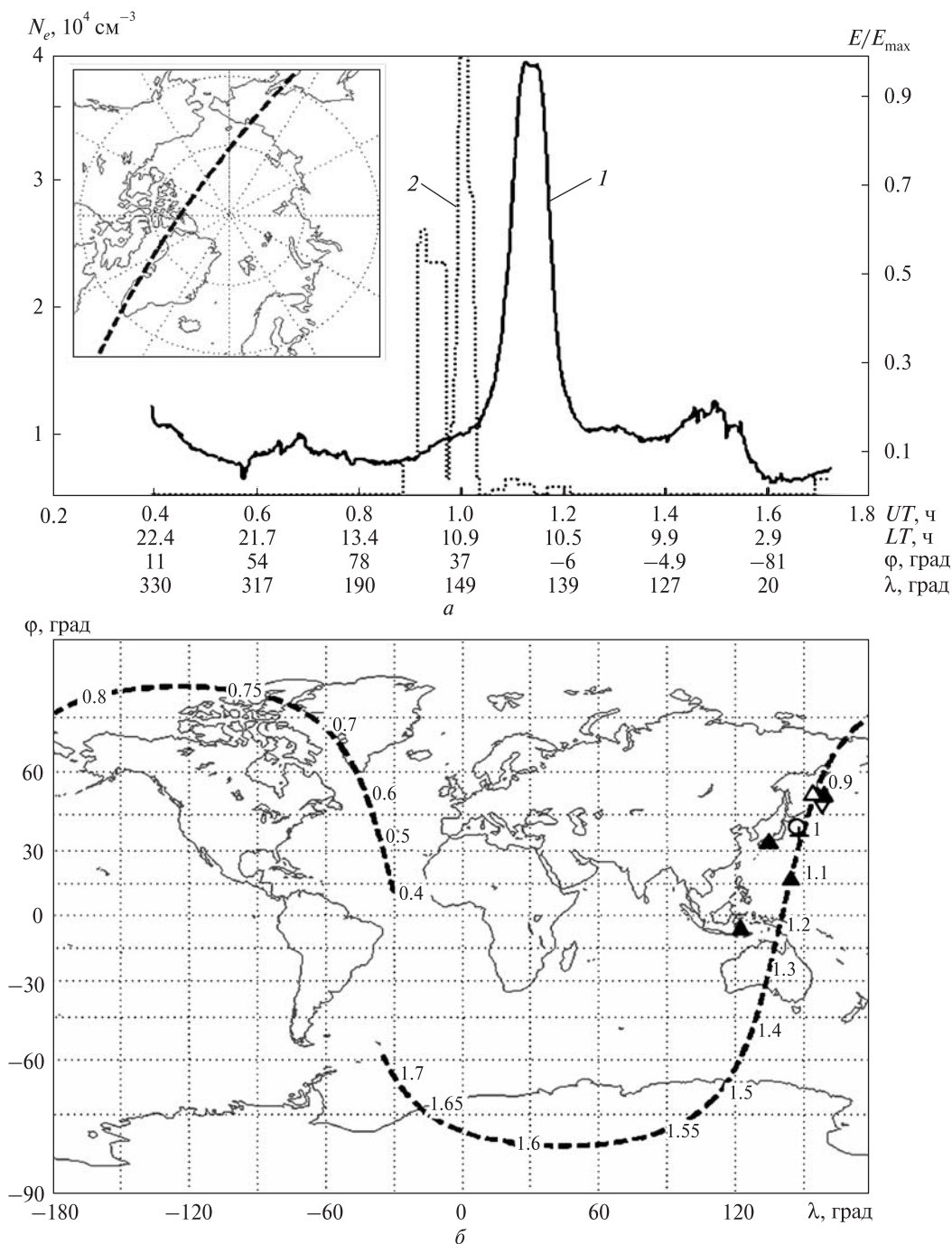


Рис. 4. *a* — распределение концентрации N_e электронов (кривая 1) и энергии землетрясения E (кривая 2) вдоль траектории КА «Сич-2» 1 сентября 2011 г., *б* — положения эпицентров землетрясений и извержений вулканов на подспутниковой трассе: кружок и треугольник — землетрясения 31 августа 2011 г. ($UT = 5:53$, глубина $h = 27$ км, магнитуда $M = 4.9$ и $UT = 12:28$, $h = 46$ км, $M = 4.8$); перевернутый треугольник и крестик — зарождающиеся землетрясения (произошедшие 1 сентября 2011 г. $UT = 3:53$, $h = 39$ км, $M = 4.7$ и 2 сентября 2011 г., $UT = 5:57$, $h = 23$ км, $M = 4.7$); темные треугольники — извержения вулканов с 31 августа по 6 сентября 2011 г. Вдоль подспутниковой трассы указано время UT пролета КА (пик N_e зарегистрирован в $UT = 1:01$)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Авроральные пики. Пространственно-временные распределения кинетических параметров ионосферной плазмы, вычисленные по выходным сигналам зондов на КА «Сич-2» с использованием соотношений (1)–(10), представлены на рис. 2, *а*: кривая 1 — измерения 23 ноября 2011 г., 2 — 4 декабря 2011 г. На рис. 2, *б* показаны подспутниковые трассы, квадратиками обозначены зоны полярных пиков — максимумов N_e . Положения максимумов N_e характеризуют авроральные (полярные) пики: дневной полярный пик соответствует широтам $\varphi \approx 80^\circ$ южной широты, ночной — широтам $\varphi \approx 75^\circ$ северной широты. Максимумы N_e отстоят на $\Delta UT \approx 0.8$ ч. Распределения температуры T_e электронов, потенциала плазмы ϕ_0 и температуры T_n нейтральных частиц 23 ноября 2011 г. на рис. 3 имеют сложную изрезанную структуру. Приведенные распределения соответствуют представлениям об особенностях структуры F2-области высокоширотной ионосферы [1, 3], а точность определения положения авроральных пиков подтверждает корректность процедуры идентификации пространственно-временных распределений кинетических параметров ионосферной плазмы.

Извержение вулкана. Пространственно-временное распределение концентрации электронов N_e , вычисленной по зондовому току насыщения детектора DE на КА «Сич-2» 1 сентября 2011 г. — формулы (9), (10), приведено на рис. 4, *а* (кривая 1). На рис. 4, *б* штриховой линией показана траектория КА (подспутниковая трасса), эпицентры землетрясений и извержений вулканов, произошедших к моменту пролета КА. Информация об извержениях вулканов и землетрясениях — данные United State Geological Survey (USGS), а также Главного центра специального контроля ГКАУ.

Кривая 2 на рис. 4, *а* — зависимость энергии землетрясения от магнитуды $E(M)/E_{\max}$. Оценки охватывают временной диапазон ± 2 сут от 1 сентября 2011 г., полосу шириной $\Delta z = \pm 700$ км относительно подспутниковой трассы; землетря-

сения с магнитудой $M > 4.5$ и глубиной $h \leq 60$ км. Для оценок использовалось упрощенное нами для $M \geq 4.5$ соотношение Гутенберга [19]: $E(M) = 10^{-M(0.025M-1.9)}$ кДж. Порядок величин энергии, выделяющейся при землетрясении, иллюстрирует зависимость $E(M)/E(5)$ на рис. 5.

Сопоставление структуры пространственно-временного распределения концентрации электронов N_e (кривая 1, рис. 4, *а*), локализации эпицентров произошедших и зарождающихся землетрясений (рис. 4, *б*) и зависимости $E(M, UT)/E_{\max}$ (кривая 2 на рис. 4, *а*) позволяют предположить, что ответственным за максимум N_e , структуру кривой 1 рис. 4, *а* является извержение вулкана, происходившее в рассматриваемом районе с 31 августа по 6 сентября 2011 г. Координаты извержений вулканов показаны на рис. 4, *б*.

Землетрясения. Рис. 6 иллюстрирует пространственно-временное распределение концентрации электронов N_e (кривая 1 на рис. 6, *а*) на траектории КА «Сич-2» 2 октября 2011 г. и сейсмоактивную обстановку на подспутниковой трассе (штриховая кривая рис. 6, *б*).

В день пролета КА «Сич-2» 2 октября 2011 г. землетрясения с магнитудой $M \geq 4.5$ в рассматриваемой районе не наблюдались. Оценки выделяющейся энергии $E(M, UT)/E_{\max}$ соответствуют произошедшим (кривая 2 на рис. 6, *а*) и зарождающимся (кривая 3 на рис. 6, *а*) землетрясениям. Максимум распределения N_e обусловлен, по-видимому, произошедшими 1 октября 2011 г. землетрясениями.

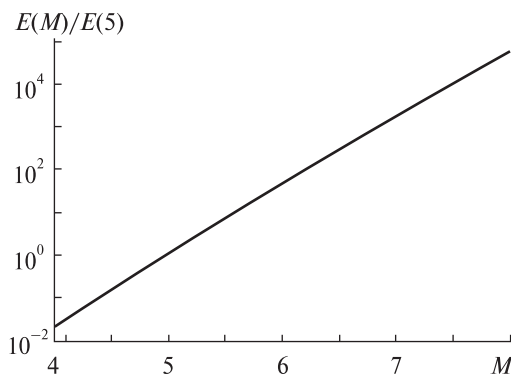


Рис. 5. Нормированная зависимость энергии $E(M)/E(5)$, выделяющейся при землетрясении, от магнитуды M

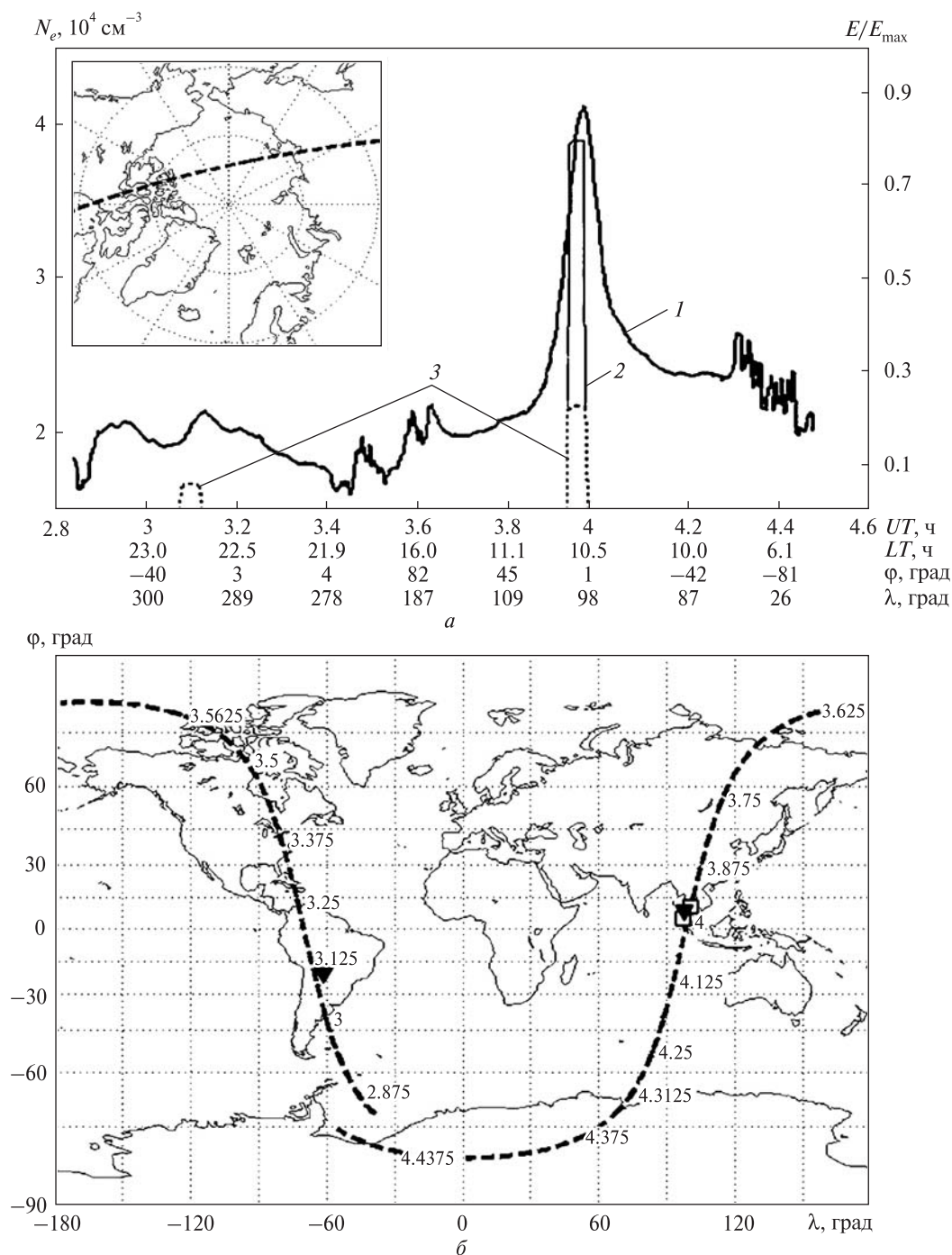


Рис. 6. а — распределение концентрации N_e электронов вдоль траектории КА «Сич-2» 2 октября 2011 г. (кривая 1) и энергии $E(M)/E_{\text{max}}$ землетрясения 1 октября 2011 г., $UT = 04:00$ (кривая 2), а также землетрясения 3 октября 2011 г. (кривая 3); б — положения эпицентров землетрясений вдоль подспутниковой трассы КА «Сич-2» 2 октября 2011 г.: треугольники — землетрясения 1 октября 2011 г. ($UT = 04:47$, $h = 46$ км, $M = 5.2$ и $UT = 12:47$, $h = 15$ км, $M = 5.1$), квадратики — зарождающиеся землетрясения 3 октября 2011 г. ($UT = 04:53$, $h = 42$ км, $M = 4.8$ и $UT = 17:53$, $h = 40$ км, $M = 4.6$)

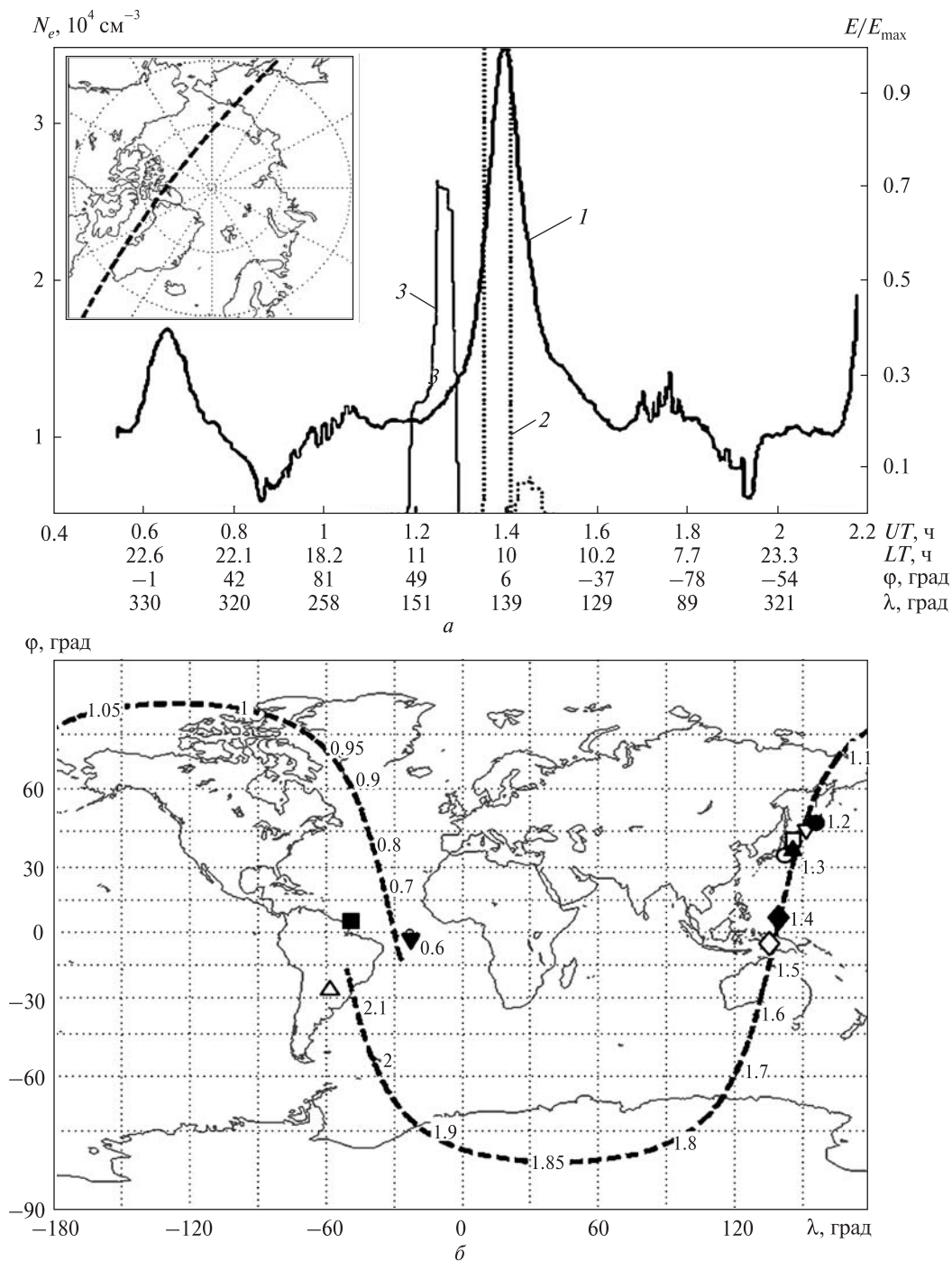


Рис. 7. а — распределение концентрации N_e электронов вдоль траектории КА «Сич-2» 5 марта 2012 г. (кривая 1), энергии $E(M)/E_{\text{max}}$ для землетрясений $M > 5$, (кривая 2) и энергии $E(M)/E_{\text{max}}$ для землетрясений $4.5 < M \leq 5$ (кривая 3); б — положения вдоль подспутниковой трассы КА «Сич-2» 5 марта 2012 г. эпицентров землетрясений (произошедших к моменту пролета $UT = 1:04$ либо зарождающихся): прямой темный треугольник — 3 марта, $UT = 8:53$ ч, $h = 27$ км, $M = 4.8$, светлый кружок — 4 марта, $UT = 13:53$, $h = 19$ км, $M = 4.7$, темный кружок — 5 марта, $UT = 3:53$, $h = 55$ км, $M = 4.7$, светлый квадратик — 5 марта, $UT = 6:53$, $h = 52$ км, $M = 5.0$, темный ромбик — 6 марта, $UT = 6:53$, $h = 45$ км, $M = 5.3$, обратный светлый треугольник — 6 марта, $UT = 22:53$, $h = 37$ км, $M = 4.9$, светлый ромбик — 7 марта, $UT = 12:53$, $h = 53$ км, $M = 5.6$, светлый треугольник — 5 марта, $UT = 14:01$, $h = 50$ км, $M = 4.8$, темный квадратик — 6 марта, $UT = 14:20$, $h = 10$ км, $M = 4.8$, обратный темный треугольник — 6 марта, $UT = 16:05$, $h = 12$ км, $M = 4.8$

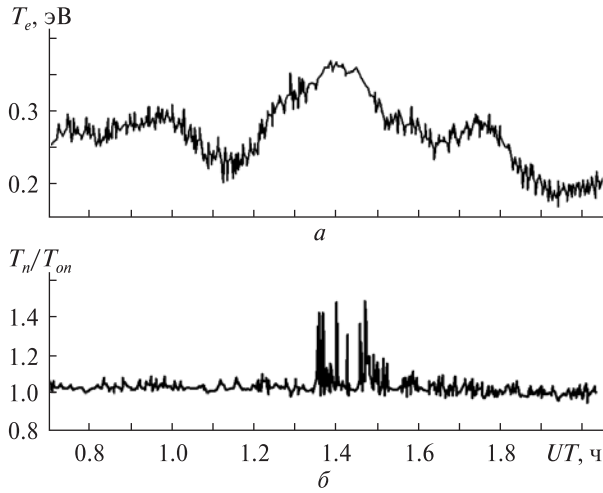


Рис. 8. Распределения параметров плазмы вдоль траектории КА «Сич-2» 5 марта 2012 г.: *a* — температуры электронов T_e , *б* — температура нейтралов T_n/T_{on}

Пространственно-временное распределение концентрации электронов N_e , измеренное детектором DE вдоль траектории КА «Сич-2» 5 марта 2012 г., показано на рис. 7, *a* (кривая 1). Сейсмо-активная обстановка для ± 2 сут и $h \leq 60$ км приведена на рис. 7, *б*.

Зависимости $E(M, UT)/E_{\max}$ на рис. 7, *a* представляют: кривая 2 — землетрясения с магнитудой $M > 5$, кривая 3 — землетрясения с магнитудой $4.5 < M \leq 5$. Таким образом, кривая 1 — N_e и штриховая кривая 2 рис. 7, *a* характеризуют зарождающиеся землетрясения с магнитудой $M > 5$ (6 и 7 марта 2012 г.).

Максимум распределений температуры электронов T_e и температуры нейтралов T_n/T_{on} 5 марта 2012 г. на рис. 8 ($T_{on} = 1540$ К — среднее значение температуры нейтральных частиц) может служить дополнительным признаком для идентификации эпицентра зарождающегося землетрясения.

Учитывая, что связь между температурами электронов T_e , ионов T_i и нейтралов T_n в ионосферной плазме может быть представлена в виде [3, 6, 23]

$$T_i = T_n + \frac{T_e - T_n}{1 + \frac{\delta_{in} v_{in}}{\delta_{ei} v_{ei}}}, \quad (11)$$

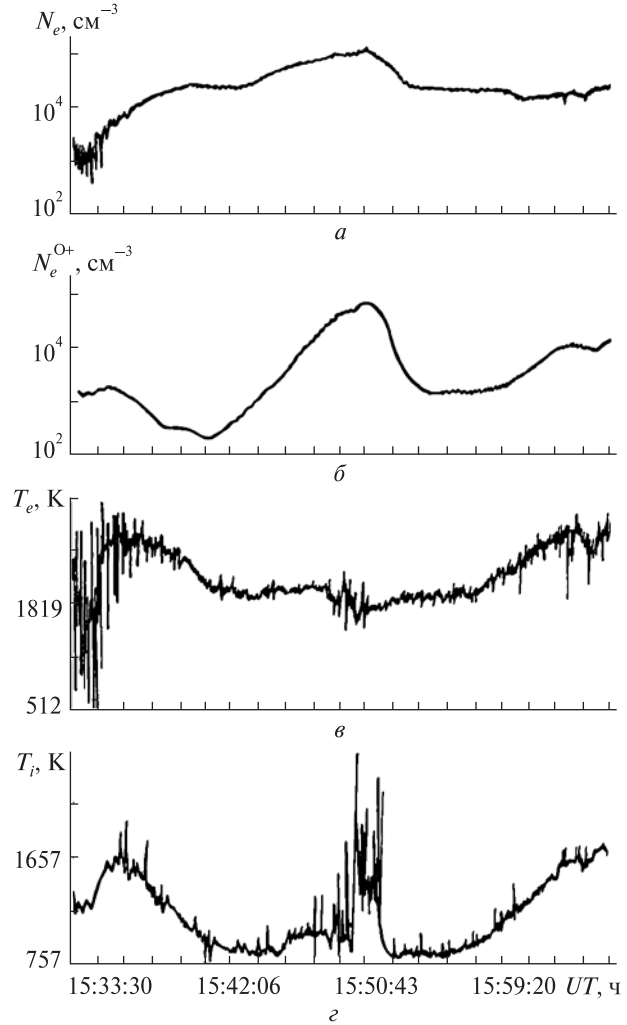


Рис. 9. Распределения параметров плазмы, измеренные на КА DEMETER 28 марта 2005 г. по данным [25]

максимуму температуры нейтралов T_n в ионосфере должен соответствовать максимум температуры ионов T_i с погрешностью до 10 %. В выражении (11) для атомарного кислорода в ионосфере

$$\delta_{in} = \frac{8}{3} \frac{M_i M_n}{(M_i + M_n)^2} \left(1 - \frac{T_n}{T_i} \right),$$

$$v_{in} = N_n \sigma_{in} \sqrt{\frac{8k}{\pi M_n} (T_i + T_n)},$$

$$v_{ei} = 3.7 N_i \ln \Lambda / T_e^{3/2},$$

где $\delta_{en} = \delta_{en}(T_e)$ — средняя доля энергии, теряе-

мой при соударении электронов и ионов с нейтралами, значения $\delta_{en}(T_e)$ приведены в работах [13, 15, 16, 19, 24], ν_{ei} — частота соударений для пар «ион-нейтрал» и «электрон-ион», $\ln \Lambda$ — кулоновский логарифм [15], σ_{in} — эффективное сечение для соударений ионов и нейтралов.

Вывод о том, что максимумы распределений концентраций $N_{i,e}$ заряженных частиц (ионов и электронов) и температуры $T_{i,n}$ тяжелых частиц (ионов и нейтралов) могут быть использованы для идентификации эпицентров землетрясений, согласуется с результатами зондовых измерений параметров ионосферной плазмы 28 марта 2005 г. на КА DEMETER [25]. На рис. 9 приведены вариации N_e и T_e , измеренные одиночным цилиндрическим зондом Ленгмюра (ISL), а также $N_i^{O^+}$ и T_i , измеренные анализатором ионов тепловой плазмы, согласно данным [25]. Максимумы возмущений на пространственно-временных распределениях ионов и электронов, измеренные на высоте 700 км, соответствуют эпицентру землетрясения на о. Суматра с магнитудой $M = 8.6$ при $UT = 15:50$ [25].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана процедура идентификации флуктуаций пространственно-временных распределений параметров нейтральных и заряженных частиц, измеренных зондовыми методами и средствами в ионосферной плазме на КА «Сич-2».

По результатам зондовых измерений возмущений параметров ионосферной плазмы на КА «Сич-2» и КА DEMETER показано, что максимумы распределений концентрации заряженных частиц (электронов и ионов) и температуры тяжелых частиц (ионов и нейтралов) могут быть использованы, с учетом динамики подспутниковой точки, для идентификации локализации южного (дневного) и северного (ночного) авроральных пиков в полярной ионосфере, а также для идентификации извержений вулканов, локализации эпицентров произошедших к моменту пролета КА, происходящих в момент пролета КА и зарождающихся землетрясений.

1. Альперт Я. Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. — М.: Наука, 1972. — 563 с.

2. Боярчук К. А., Ораевский В. Н., Пулинец С. А. и др. Система малых спутников для прогнозирования землетрясений // Космонавтика и ракетостроение. — 2002. — № 1 (26). — С. 43—50.
3. Брюнелли Б. Е., Намгаладзе А. А. Физика ионосферы. — М.: Наука, 1988. — 528 с.
4. Гохберг М. Б., Лапшин М. Н., Стеблов Г. М., Шалимов С. Л. Ионосферный отклик на подводные Курильские землетрясения по наблюдениям со спутников GPS // Исслед. Земли из космоса. — 2011. — № 1. — С. 30—38.
5. Губский В. Ф. Влияние магнитного поля на измерения концентрации и температуры электронов цилиндрическими зондами в ионосфере Земли // Солнечно-земная физика. — 2008. — 1, вып. 12. — С. 261—269.
6. Гуревич А. В., Шварцбург А. В. Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере. — М.: Наука, 1973. — 272 с.
7. Короновский Н. В., Абрамов В. А. Землетрясения: причины, последствия, прогноз // Соросовский образовательный журн. Науки о Земле. — 1988. — № 12. — С. 71—78.
8. Кошмаров Ю. А., Рыжов Ю. А., Свищевский С. Б. Экспериментальные методы в механике разреженных газов. — М.: Машиностроение, 1981. — 200 с.
9. Кринберг И. А. Кинетика электронов в ионосфере и магнитосфере Земли. — М.: Наука, 1978. — 215 с.
10. Кузнецов В. Д., Ораевский В. Н. «Полярно-эклиптический патруль» для исследования Солнца и контроля космической погоды // Космонавтика и ракетостроение. — 2002. — № 1 (26). — С. 51—59.
11. Курт В. Г., Зайдель Р. М. Геофизические исследования космологического происхождения космических гамма-всплесков // Космич. исследования. — 1996. — 34, № 4. — С. 400—406.
12. Лазарев В. И., Тельцов М. В., Школьников С. И. Пространственное распределение и динамика продольных токов во время магнитных возмущений по наблюдениям ИСЗ «Интеркосмос-Болгария-1300» // Космич. исследования. — 1998. — 26, № 4. — С. 604—613.
13. Месси Т., Бархон Е. Электронные и ионные столкновения. — М.: Изд-во иностр. лит., 1959. — 567 с.
14. Павлов В. А. Воздействие землетрясений и извержений вулканов на ионосферную плазму // Изв. вузов. Радиофизика. — 1979. — 22, № 2. — С. 19—37.
15. Райзер Ю. П. Физика газового разряда. — М.: Наука, 1987. — 592 с.
16. Саттон Дж., Шерман А. Основы технической магнитной газодинамики. — М.: Мир, 1968. — 402 с.
17. Сказик А. И. Определение положения источника акустико-гравитационной волны, находящейся вблизи земной поверхности по данным спутниковых

- измерений электронной концентрации в ионосфере // Радиолокационные исследования природных сред: Тр. 23 Всероссийского симп. (Санкт-Петербург). — 2005. — Вып. 5. — С. 455 — 459.
18. Фаткуллин М. Н., Солодовников Г. К., Можжаев А. А., Мигулин В. В. Флуктуации амплитуды радиоволн в ионосфере, вызванные землетрясением в Спитаке // Космич. исследования. — 1998. — **36**, № 4. — С. 387—390.
19. Хаксли Л., Кромптон Р. Диффузия и дрейф электронов в газах. — М.: Мир, 1977. — 672 с.
20. Шотт Л. Электрические зонды // Методы исследования плазмы / Под ред. В. Лохте-Хольтгревена. — М.: Мир, 1971. — С. 459—495.
21. Шувалов В. А., Корепанов В. Е., Лукенюк А. А. и др. Моделирование зондовых измерений параметров околоспутниковой плазмы на КА «Сич-2» // Космична наука і технологія. — 2012. — **18**, № 6. — С. 5—13.
22. Шувалов В. А., Лукенюк А. А., Письменный Н. И., Кулагин С. Н. Зондовая диагностика околоспутниковой среды на КА «Сич-2» // Космична наука і технологія. — 2013. — **19**, № 1. — С. 13—19.
23. Шувалов В. А., Письменный Н. И., Лазученков Д. Н., Кочубей Г. С. Зондовая диагностика потоков лабораторной и ионосферной разреженной плазмы // Приборы и техника эксперимента. — 2013. — № 4. — С. 98—100.
24. Энгель А. Ионизованные газы. — М.: Физматгиз, 1959. — 332 с.
25. Lebreton J. P., Stverak S., Travnicek P., et al. The ISL Langmuire probe experiment processing on board Demeter: Scientific objectives, description and first results // Planetary and Space Sci. — 2006. — N 54. — P. 472—486.
26. Rubinstein J., Laframboise J. G. Upper-bond current to a cylindrical probe in a collisionless magnetoplasma // Phys. Fluids. — 1978. — **21**, N 9. — P. 1655—1656.
- Стаття надійшла до редакції 25.06.13
- В. О. Шувалов, Д. М. Лазученков,
С. В. Носиков, Г. С. Кочубей
- ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЗЕМЛЕТРУСІВ ЗА ЗОНДОВИМИ ВИМІРЮВАННЯМИ ЗБУРЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ІОНОСФЕРНОЇ ПЛАЗМИ НА КА «СІЧ-2»**
- Розроблено процедуру ідентифікації флуктуацій просторово-часового розподілу нейтральних і заряджених часток за зондовими вимірюваннями науковою апаратурою ІТМ на КА «Січ-2». Визначено локалізацію вивержень вулканів, епіцентрів землетрусів, що зароджуються та відбуваються на підсупутниковій трасі КА, а також локалізацію південного і північного авроральних піків у іоносфері Землі.
- В. А. Shuvalov, D. N. Lazuchenkov,
S. V. Nosikov, G. S. Kochubey
- IDENTIFICATION OF EARTHQUAKES WITH THE USE OF SICH-2 PROBE MEASUREMENTS OF IONOSPHERIC PLASMA PERTURBATIONS**
- We developed a procedure for the identification of perturbations of the spatial-temporal distribution for neutral and charged particles on the basis of probe measurements with the use of ITM scientific equipment aboard the spacecraft “Sich-2”. The locations of volcano eruptions and epicenters of the earthquakes on the subsatellite path as well as the location of the North and South auroral peaks in the Earth’s ionosphere are determined.

ВПЛИВ ПОЖЕЖ НА РОЗПОДІЛ АЕРОЗОЛЮ НАД УКРАЇНОЮ ЗА ДАНИМИ СУПУТНИКОВИХ ТА НАЗЕМНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Аналізуються джерела надходження та транспортування аерозолів з лісових, степових, торф'яних і сільськогосподарських пожеж над Україною у період 2002—2012 років. Для характеристики розподілу аерозолів в атмосфері та візуалізації місць горіння на поверхні Землі використано дані супутникових приладів POLDER/PARASOL та MODIS відповідно, а за допомогою моделі HYSPLIT побудовано кластери зворотних траєкторій руху повітряних мас. Для аналізу об'ємного розподілу частинок за розміром над Києвом протягом 2008—2012 років використано дані всесвітньої мережі сонячних фотометрів AERONET. Найвищі значення аерозольної оптичної товщини (АОТ) 0.4—0.7 для спектрального каналу 865 нм, спричинені пожежами на торфовищах центральноєвропейської частини Росії, були зареєстровані у період з 14 по 16 серпня 2010 р. над східною та центральною частиною України. Джерела надходження продуктів горіння у цей період знаходилися на більшій відстані від Києва, ніж у серпні 2008 р., коли пожежі відбувалися в центральних та південних областях України. Середньомісячне значення АОТ на рівні 0.05—0.08 спостерігалось над північною і центральною Україною внаслідок степових пожеж у Білорусі з квітня по травень 2006 р. Визначено, що трансграничний перенос атмосфери грає важливу роль у розподілі аерозолів і впливає на якість повітря над всіма країнами Східної Європи. Під час пожеж радіус аерозольних частинок дрібнодисперсної фракції, який відповідає максимумі розподілу по розмірах, над Києвом дорівнював 0.2—0.25 мкм, що може свідчити про одночасну наявність індустріального аерозолу і продуктів горіння біомаси. Крім того, спостерігається подвійний максимум розподілу крупнодисперсної фракції з квітня по червень, що можна пояснити сезонною природою походження частинок. Об'ємний розподіл аерозолів за розмірами у травні—липні 2012 р. характеризується найбільшою наявністю дрібнодисперсних частинок у порівнянні з цим же періодом інших років.

ВСТУП

Аерозолі впливають на радіаційний баланс земної атмосфери і тому є одним з найважливіших факторів, що впливають на клімат в регіональному та глобальному масштабах. Аерозольні частинки різноманітні за формою, хімічним складом та розмірами і поділяються на дві фракції — дрібнодисперсну (розміри від 0.01 до 1 мкм) та крупнодисперсну (від 1 до 100 мкм). Аерозолі утворюються як під час природних процесів (лісові пожежі, морська поверхня та шторми, пустельні бурі, ерозія земної поверхні і виверження вулканів), так і антропогенних (промисловість, транспорт, видобування природних ресурсів, спалювання біомаси та палива, вирубка лісів та ін.) [15]. Дослідженням вмісту аерозолів у земній атмосфері,

його динаміки, фізичної природи і характеристик частинок приділяється значна увага у багатьох країнах світу, проте на сьогоднішній день оцінки впливу аерозолів на енергетичний баланс Землі мають великі похибки і потребують комплексного підходу для поліпшення результатів [29].

Відомо, що аерозолі впливають на формування клімату за рахунок прямого ефекту, тобто розсіювання та поглинання сонячного випромінювання, та непрямого, коли ці частинки у верхніх шарах атмосфери можуть ставати ядрами конденсації водяної пари і таким чином впливати на інтенсивність утворення хмар, зміну висоти та часу існування хмарних утворень [29, 44]. Розподіл аерозольних частинок в атмосфері дуже неоднорідний у просторі і часі. Доволі швидко змінюються і оптичні характеристики аерозольного шару, як в регіональному, так і в глобальному масштабах [61].

Для досліджень глобального розподілу вмісту аерозолію і його кліматичних характеристик використовують прилади космічного базування. Супутникові прилади накопичують дані про параметри атмосфери над усією земною кулею, однак оцінити точність цих даних (особливо над сушею) дуже складно внаслідок необхідності точно враховувати оптичні характеристики земної поверхні різних типів, що змінюються з часом внаслідок сезонів та людської діяльності. Характеристики аерозольних частинок за даними вимірювань супутникових приладів у більшості випадків визначаються шляхом розв'язування оберненої задачі. Така задача є некоректно поставленою, і розв'язок її може мати декілька варіантів, оскільки кількість незалежних частин даних за одну сцену вимірювань не перевищує кількості невідомих модельних параметрів. Відновлення параметрів аерозольних частинок запропоновано в українському проекті «Аерозоль-UA» за рахунок перевищення кількості незалежних вимірювань над модельними параметрами, що забезпечить надлишкову систему рівнянь [3]. Це має бути досягнуто завдяки точним і стабільним фотометричним та поляриметричним вимірюванням, а також великою кількістю та діапазоном кутів, під якими здійснюються спостереження кожної ділянки на поверхні Землі. Тому проект «Аерозоль-UA» спрямований на створення надійної бази детальних оптичних, хімічних, мікро- та макрофізичних властивостей аерозольних і хмарних частинок, що дозволить радикально покращити модельну параметризацію аерозолію, виявити джерела та механізми перенесення, описати процеси взаємодії з іншими компонентами атмосфери, отримати надійні кількісні оцінки прямого і непрямого аерозольних ефектів та їхнього внеску в енергетичний баланс кліматичної системи [47, 48]. На сьогоднішній день глобальні характеристики аерозолію над сушею, отримані шляхом мінімізації різниці вимірюваних параметрів з модельними характеристиками, доступні з приладів, що перебувають на полярних орбітальних супутниках: MODIS, MERIS, MISR, AVHRR, POLDER, TOMS і OMI [38, 39, 49]. Проте отримані характеристики аерозолію з цих приладів потребують детальнішого

порівняння з наземними даними сонячних фотометрів, бо за однією характеристикою (наприклад, аерозольною оптичною товщиною АОТ) не можна адекватно оцінити точність супутникових приладів [43, 49, 50]. Тому нижче ми будемо використовувати дані, отримані наземними та супутниковими приладами для кращого опису властивостей частинок.

Автори класифікації властивостей поглинання аерозолію за даними мережі AERONET характеризують територію України як джерело індустриальних аерозолів [32] відповідно до загальної класифікації типів цих частинок [24]. В країні зосереджені інші не менш значні джерела забруднення атмосфери: транспорт, інтенсивне сільське господарство, важка промисловість і видобування природних ресурсів з кар'єрів. Крім того, досліджувана територія характеризується великою кількістю лісових, степових, торф'яних та сільськогосподарських пожеж (<http://www.seir.at>), внаслідок яких аерозолі як продукт спалення біомаси потрапляють у атмосферу і можуть переміщуватись на значні відстані [5, 6, 42, 44, 60, 64]. Так, аерозолі з пожеж на території Східної Європи можуть мати вплив на зміну клімату в Арктиці [53, 62, 63].

У даній роботі аналізуються випадки пожеж в Україні та сусідніх країнах, які супроводжувалися утворенням та переносом аерозолію над досліджуваною територією. Оскільки дані супутникового приладу POLDER/PARASOL [19, 66] добре відтворюють розподіл та характеристики дрібнодисперсної фракції аерозолію, якими звичайно є частинки продуктів горіння, тому використання вимірювань поляриметра POLDER дозволяє аналізувати параметри аерозолію від пожеж в одночасних вимірюваннях на значній території. Попередній аналіз дозволив виявити періоди підвищеної кількості пожеж на сході Європи у квітні-травні та серпні-вересні [9]. Ці події інтерпретуються як неконтрольовані лісові і степові пожежі, а також як спалювання біомаси в кінці сезону збирання сільськогосподарських культур. За аналізом даних із супутника MODIS у роботі [42] відзначається, що кількість сільськогосподарських пожеж в Україні зменшилася на 32 % у 2002 р. і на 87 % у 2003 р. у порівнянні з

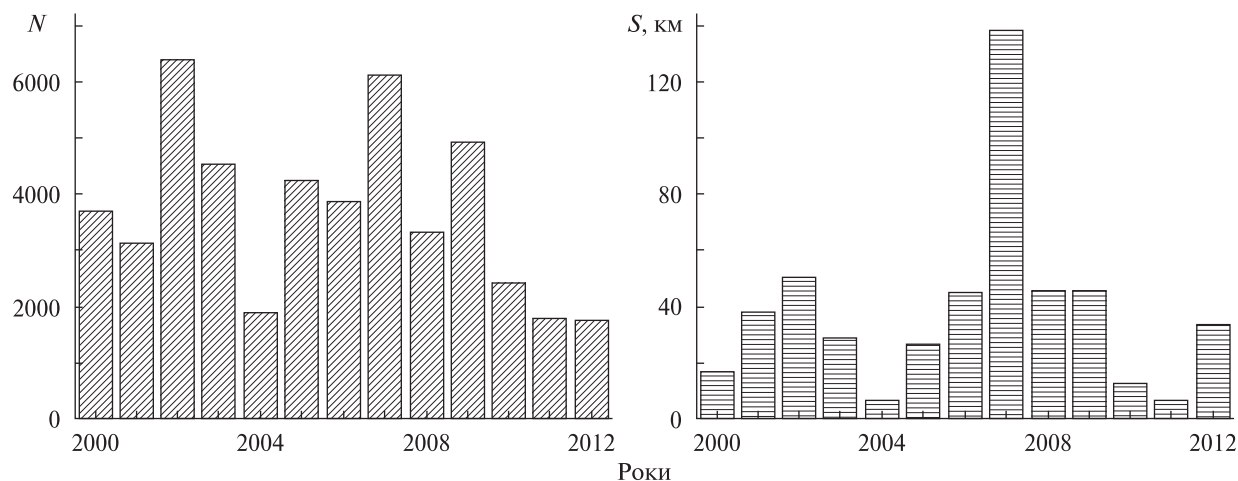


Рис. 1. Кількість N пожеж та охоплена вогнем площа S за даними Національної доповіді про стан техногенної та природної безпеки в Україні [2]

2001 р. Крім того, за даними Національної доповіді про стан техногенної та природної безпеки Державної служби України з надзвичайних ситуацій [2] кількість пожеж та площа охоплених вогнем ділянок скорочувалися з 2007 по 2011 рр. (рис. 1). Однак у період 2002—2007 рр. внесок дрібнодисперсних аерозолів від пожеж в Україні у загальну кількість над Європою складав близько 30 % у квітні та 28 % у серпні [8]. В роботі аналізується вплив пожеж на розподіл аерозолію протягом останніх одинадцяти років.

МЕТОДИКА АНАЛІЗУ ТА ВИКОРИСТАНІ ДАНІ

Для візуалізації місць горіння у роботі використано дані супутникового приладу MODIS [30, 31, 37], розміщеного на борту супутників «Aqua» та «Terra», що входять до групи A-Train [7]. Ці дані відображають як мінімум одну пожежу протягом місяця, зареєстровану та оброблену алгоритмом з розміром пікселя в 1 км (рис. 2). Точності отримання розподілу пожеж та порівняння з результатами розподілу за даними супутникового радіометра ASTER наведено у роботах [51, 59].

З використанням моделі HYSPLIT Trajectory Model [22, 23, 55], були побудовані кластери зворотних траєкторій руху повітряних мас для аналізу перенесення аерозолію. Для цього були використані дані глобальної системи Global Data Assimilation System (GDAS1), які містять, зокрема, дві складові вітру, температуру, вологість. Про-

сторова роздільна здатність таких даних складає 1° на поверхні Землі і за висотою поділена на 23 поверхні з тиском від 20 до 1000 гПа, а роздільна здатність за часом — 6 год (<http://ready.arl.noaa.gov/gdas1.php>). Завантажені дані були оброблені за стандартним алгоритмом моделі HYSPLIT [22, 23, 55] з кінцевою точкою на висоті 500 м над поверхнею для координат станції AERONET «Київ» (50.36° пн. ш., 30.50° сх. д.) о 12^h UTC для кожного окремого дня. Після цього траєкторії протягом кожного місяця були згруповані методом кластеризації так, що відмінності між траєкторіями всередині кластера зводилися до мінімуму, в той час як відмінності між кластерами — до максимуму (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). При обчисленні траєкторії об'єднувались, доки загальна дисперсія індивідуальних траєкторій відносно середньої траєкторії кластера не починала різко збільшуватися, що відбувалося, коли різні кластери об'єднувались [4, 21, 56]. Шляхом ітерацій підбиралась оптимальна кількість кластерів для місячного набору траєкторій (рис. 4, 5). Цифри у дужках біля кожного кластера відповідають відношенню кількості траєкторій, що увійшли до нього, до загальної кількості траєкторій за відповідний місяць у відсотках. Наприклад, якщо місяць складається з 30 днів, то цифра 20 % біля кластера означає, що до нього увійшло шість траєкторій із 30. У попередній нашій роботі [1] за допомогою кластерного аналізу зворотних траєк-

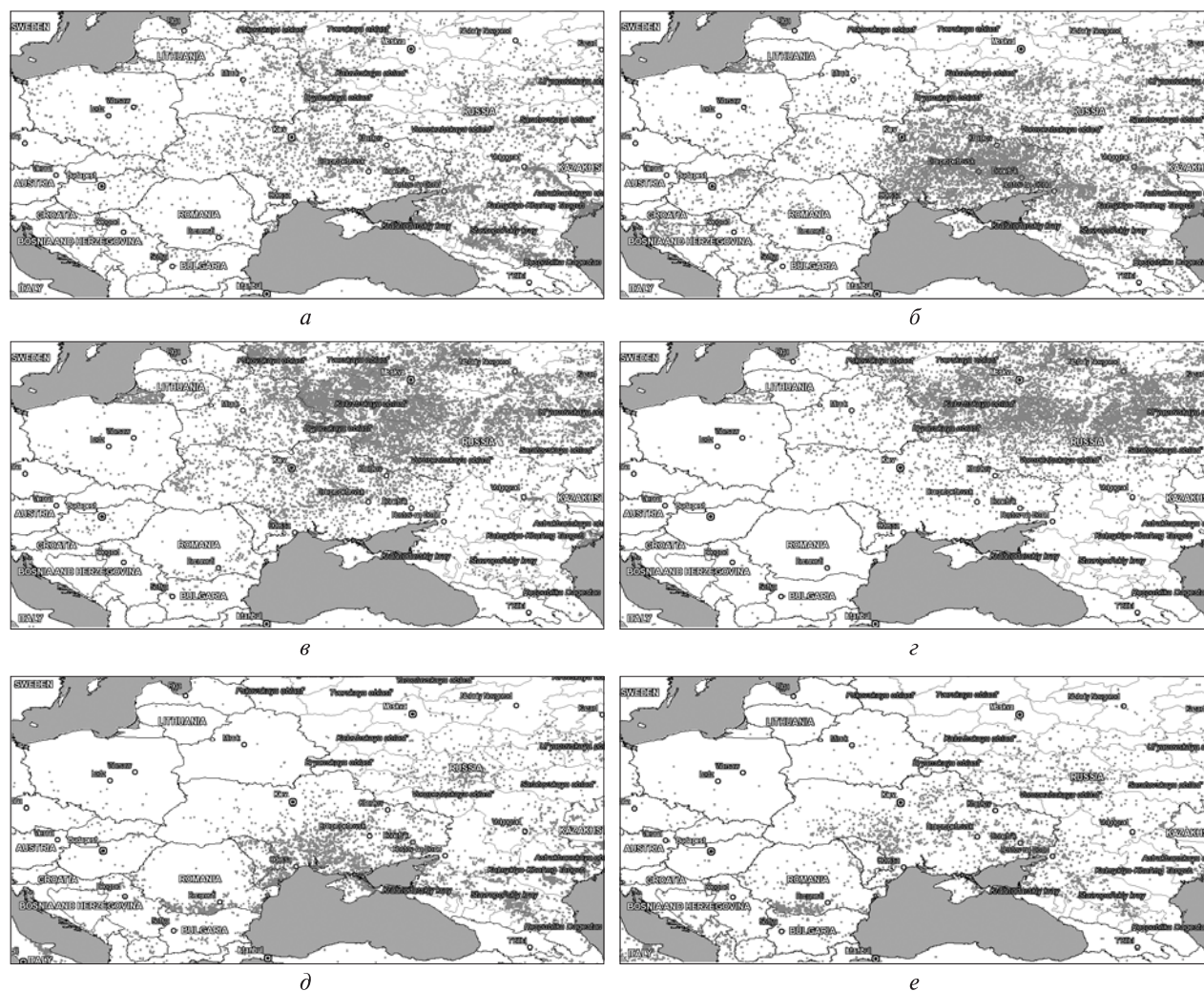


Рис. 2. Карти усіх зареєстрованих пожеж за місяць за даними MODIS для: квітня 2003 р. (а), квітня 2005 р. (б), квітня 2006 р. (в), травня 2006 р. (г), липня 2011 р. (д), липня 2012 р. (е)

торій було виявлено, що у період 2008—2011 рр. з квітня по вересень включно у Києві спостерігається збільшена (як мінімум у 1.5 раза) кількість об'ємного вмісту дрібнодисперсного аерозолі у стовпі атмосфери, що пояснюється перенесенням частинок з індустриальних регіонів сходу України, західних регіонів Росії та сходу Польщі, а за спостереженнями у Севастополі в період 2006—2011 рр. — з Румунії, Північного Кавказу, центральних і східних регіонів України.

Для аналізу розподілу частинок за розмірами використовувались дані (Level 2.0) всесвітньої мережі сонячних фотометрів CIMEL CE-318

AERONET [35], українські пункти спостережень якої встановлені у Севастополі з травня 2006 р., в Києві з березня 2008 р. та у Луганську з листопада 2011 р. Восени 2011 р. була створена мобільна станція із сонячним фотометром CIMEL CE-318 [46], яка послідовно здійснювала вимірювання у Луганську, у центрі Києва, у Євпаторії та Донецьку. Загалом мережа AERONET нараховує понад 300 перманентних станцій по всій планеті, дані з яких обробляються за єдиним алгоритмом [25—27] і доступні через інтернет [<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>]. Є кілька модифікацій сонячного фотометра CIMEL CE-318, які забезпечують ви-

мірювання спектральної АОТ в діапазоні 340—1650 нм. При цьому похибки вимірювань АОТ не перевищують ± 0.01 у видимому та інфрачервоному діапазонах і ± 0.02 — в ультрафіолетовому. Об'ємний розподіл аерозолів по розмірах, дійсна та уявна частина показника заломлення, спектральне альbedo одноразового розсіювання (SSA), фазова функція та фактор асиметрії частинок отримуються з вимірювань розподілу спектральної яскравості неба вздовж альмукантарата Сонця та з поляризаційних вимірювань шляхом розв'язування відповідної оберненої задачі [25—27]. Результати роботи станції AERONET у 2008—2011 рр. у Києві та характеристики аерозольних частинок представлені у роботах [17, 18, 46], де відзначається, що протягом досліджуваного періоду в атмосфері над Києвом переважали дрібнодисперсні частинки, а найбільше значення АОТ спостерігалось у серпні 2010 р.

Для досліджень просторового розподілу аерозолів в даній роботі використовуються дані поляриметра POLDER (POLarization and Directionality of the Earth's Reflectances) [19, 66], встановленого на борту супутнику PARASOL (Polarization and Anisotropy of Reflectances for Atmospheric Sciences coupled with Observations from a Lidar), що входить до групи супутників «A-Train» [7]. Конструкція і характеристики приладу POLDER викладені в роботах [20, 66]. Поляриметр має широке поле зору: $\pm 51^\circ$ вздовж і $\pm 43^\circ$ впоперек підсупутникової траси, що становить 2100 і 1600 км на поверхні Землі відповідно. Таке поле зору забезпечується об'єктивом, який будує зображення з роздільною здатністю 5.3×6.2 км на земній поверхні. Вимірювання здійснюються в дев'яти спектральних каналах у діапазоні довжин хвиль 440—1020 нм, три з яких (490, 670 і 865 нм) поляризаційні.

Вимірювання інтенсивності та ступеня лінійної поляризації розсіяного атмосферою і поверхнею Землі сонячного випромінювання з багатьох напрямів дозволяють за даними POLDER визначити фазову функцію та поляризаційні характеристики розсіювання аерозольними частинками, оцінити їхні розміри, а також визначити АОТ. Ступінь поляризації розсіяного випромінювання чутливий до показника заломлення та

форми аерозолів (точніше до відносного вмісту несферичних частинок), що забезпечує визначення функції розсіювання з більшою точністю [20]. Однак вимірювання у поляризованому світлі у спектральних каналах 670 і 865 нм чутливе до розсіювання в основному дрібнодисперсних аерозолів, і тому отримані параметри відображають властивості продуктів горіння та більшість антропогенних аерозолів [20, 28].

Стандартна методика вирішення оберненої задачі за даними поляриметра POLDER щодо властивостей аерозолів ґрунтується на підході LUT (Look-Up Tables) [20]. Інтенсивність розсіяного світла обчислюється для десяти моделей аерозольних частинок при логнормальному розподілу їх по розмірах з ефективним радіусом від 0.075 до 0.255 мкм, середнім показником заломлення $m = 1.47 - 0.01i$ та показником Ангстрема (α) в межах від 1.8 до 3.0, який визначається за довжинами хвиль 670 і 865 нм. Останній параметр використовується для оцінки ефективного радіуса частинок у спостережуваному стовпі атмосфери: що більше значення α , то менші частки [20].

Названі вище параметри аерозолів визначаються з умови мінімуму суми квадратів нев'язок між виміряними та модельними значеннями інтенсивностей на довжинах хвиль 670 і 865 нм з урахуванням поляризаційної фазової функції. Оскільки поляриметр POLDER не виконує спеціальних вимірювань характеристик земної поверхні [20], для побудови двонапрямленої поляризаційної функції розподілу (BPDF — Bidirectional Polarization Distribution Function), яка використовується при визначенні характеристик аерозолів над сушею, у алгоритмі застосовуються емпіричні коефіцієнти, підібрані для різних класів земної поверхні відповідно до біотипів Міжнародної геосферно-біосферної програми (International Geosphere-Biosphere Programme) [52].

Обробка даних POLDER/PARASOL здійснювалась у три етапи [11—13]. Характеристики аерозолів визначались за усередненими елементами зображення поверхні розміром 3×3 пкл, тобто приблизно 16×18 км. Спектральна інтенсивність поляризованого світла (рівень даних 1), отримана в каналах 670 і 865 нм, використовувалась для обчислення параметрів аерозолів над

безхмарними районами (рівень даних 2). У роботі використовувались усереднені за місяць (рівень даних 3) АОТ на довжині хвилі 865 нм. Точність визначення характеристик аерозолію була досліджена над океаном [33, 34] та над сушею, де кореляція з наземними станціями AERONET складає 0.77—0.95 у залежності від місця розташування станції [14, 28]. У роботі [9] проведено таке ж дослідження над Східною Європою, де кореляція для станції «Київ» складає 0.93 для дрібнодисперсних аерозолів.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ

За даними Національної доповіді про стан техногенної та природної безпеки Державної служби України з надзвичайних ситуацій (рис. 1) на 2002 та 2007 рр. припадають піки кількості пожеж та охопленої вогнем площі. За нашим попереднім аналізом [9] були виявлені піки АОТ у квітні-травні та серпні-вересні, які можуть пояснюватись пожежами внаслідок сільськогосподарської діяльності та неконтрольованими лісовими пожежами. Відомо, що у 2003 р. в Європі була надзвичайно спекотна та суха погода [45], в результаті чого виникали численні лісові пожежі у Португалії, Іспанії, Франції, Італії, Греції, Румунії, Чехії, Словаччині та Молдові [57]. На рис. 2, *а* точками представлено пожежі, зареєстровані супутниковим приладом MODIS у квітні 2003 року, а на рис. 3, *а* показані карти розподілу середньомісячних характеристик АОТ, отримані за даними поляриметра POLDER/PARASOL за цей же період (рівень даних 3). Видно, що середньомісячне значення АОТ (рис. 3, *а*) в західних та центральних регіонах України мало вище значення у порівнянні зі східними.

За допомогою кластерного аналізу зворотних траєкторій було визначено п'ять напрямків руху повітряних мас до Києва на висоті 500 м над рівнем поверхні (рис. 4, *а*), з яких східний (23 %) та північний (27 %) у сумі складали половину всіх місячних зворотних траєкторій. Видно, що аерозолі з пожеж та продуктів горіння у Європі, Білорусії та Росії переміщувалися разом з повітряними масами над територією України. Крім того, з рис. 2, *а* видно, що окремі пожежі відбувалися також по всій території України з трохи

більшою кількістю в центральних та північних областях. Повітряні маси рухалися із цих територій (рис. 4, *а*), а це означає, що в атмосферу над Києвом також потрапляли продукти горіння. Середньомісячне значення АОТ для спектрального каналу 865 нм протягом квітня 2003 року складало 0.06—0.08 над заходом і центром України та 0.03—0.06 над сходом України (рис. 3, *а*).

У 2004 р. зареєстровано незначну кількість лісових та сільськогосподарських пожеж (рис. 1), характерних місяців не було, а у 2005 р. кількість пожеж та охопленої вогнем площі була майже такою ж, як у 2003 р. Середньомісячні значення АОТ для квітня 2005 р. (рис. 3, *б*) складали 0.06—0.1 (крім Криму та Одеської області). За аналізом кластерів зворотних траєкторій було визначено п'ять основних напрямів надходження повітряних мас до Києва (рис. 4, *б*), половина з усіх траєкторій припадає на території, де відбувалися пожежі, які зафіксовані супутником MODIS (рис. 2, *б*). Із заходу та північного заходу рухалися повітряні маси з районів пожеж, що відбувалися в Угорщині, Польщі та Румунії [58]. Тому згідно з представленим аналізом у приземному шарі (500 м) над Києвом у квітні 2005 р. завжди спостерігались аерозолі продуктів горіння з різних регіонів, які негативно впливали на якість повітря. Утворені частинки з цих пожеж також рухалися на північ [53], де осідали на сніговому покриві в Арктиці, тим самим змінюючи його відбивні властивості.

Аномально висока температура в Арктиці спостерігалася також навесні 2006 р. [64], що пояснюється переносом продуктів горіння із сходу Європи. На острові Шпіцберген зареєстровано максимальну забрудненість повітря в кінці квітня — на початку травня 2006 р. [44]. На рис. 2, *в, г* показані численні пожежі у квітні та травні 2006 р. відповідно, що були зареєстровані приладом MODIS. Здебільшого ці пожежі відбувалися у Білорусії та західній Росії, проте у квітні пожежі також реєструвались по всій території України. Середньомісячне значення АОТ складало 0.06—0.09 у квітні (рис. 3, *в*) та 0.08—0.1 у травні (рис. 3, *г*) над Білоруссю, західними регіонами Росії та північчю Україною. Протягом цих пожеж у квітні-травні 2006 р. значення АОТ було

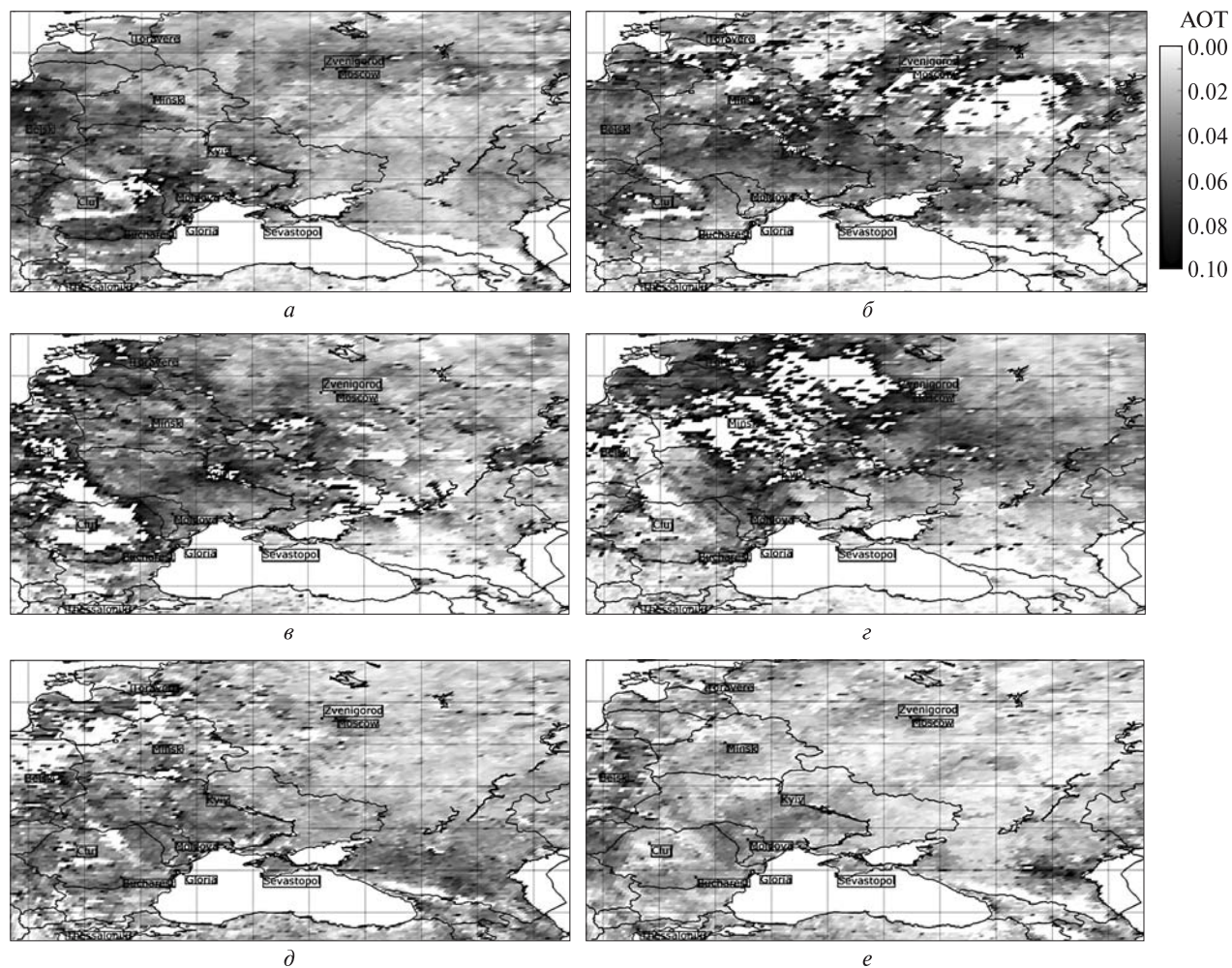


Рис. 3. Карти розподілу середньомісячних значень АОТ для: квітня 2003 р. (а), квітня 2005 р. (б), квітня 2006 р. (в), травня 2006 р. (г), липня 2011 р. (д), липня 2012 р. (е)

невисоке лише у північних регіонах України та Криму і складало 0.02–0.04. На рис. 4, в, г представлено кластери зворотних траєкторій руху повітряних мас до Києва для квітня та травня відповідно, де видно, що аерозолі рухалися саме з місць горіння.

Аномально висока температура (35–41 °С) та низьке значення відносної вологості (9–25 %) у серпні 2010 р. створили ідеальні умови для поширення лісових та торф'яних пожеж у Західній Росії [16, 41, 67]. З рис. 5, а видно, що середньомісячні значення АОТ у цьому регіоні досягали значення 0.3–0.5, що у 5–10 разів більше від звичайного сезонного значення. Через високу концентрацію продуктів горіння пожежі, зареє-

стровані за даними MODIS, мають дещо обмежений характер через відкидання даних, які не задовольняють розв'язок оберненої задачі. Тому рис. 5, б відображає пожежі, котрі зареєстровані для погодних умов без диму в атмосфері над досліджуваною поверхнею. Добре помітні пожежі не тільки в Росії, але і на півночі та сході України, Молдові та півночі Румунії. Розрахунок кластерів зворотних траєкторій (рис. 5, в) дозволив визначити, що в атмосферу над Києвом потрапляли аерозолі різного типу, оскільки західні (21 %) та південно-західні (14 %) траєкторії повітряних мас приносили частинки антропогенного походження з Європи, північно-західні (17 %) — комбіновані аерозолі, що виникали в Румунії та Молдові,

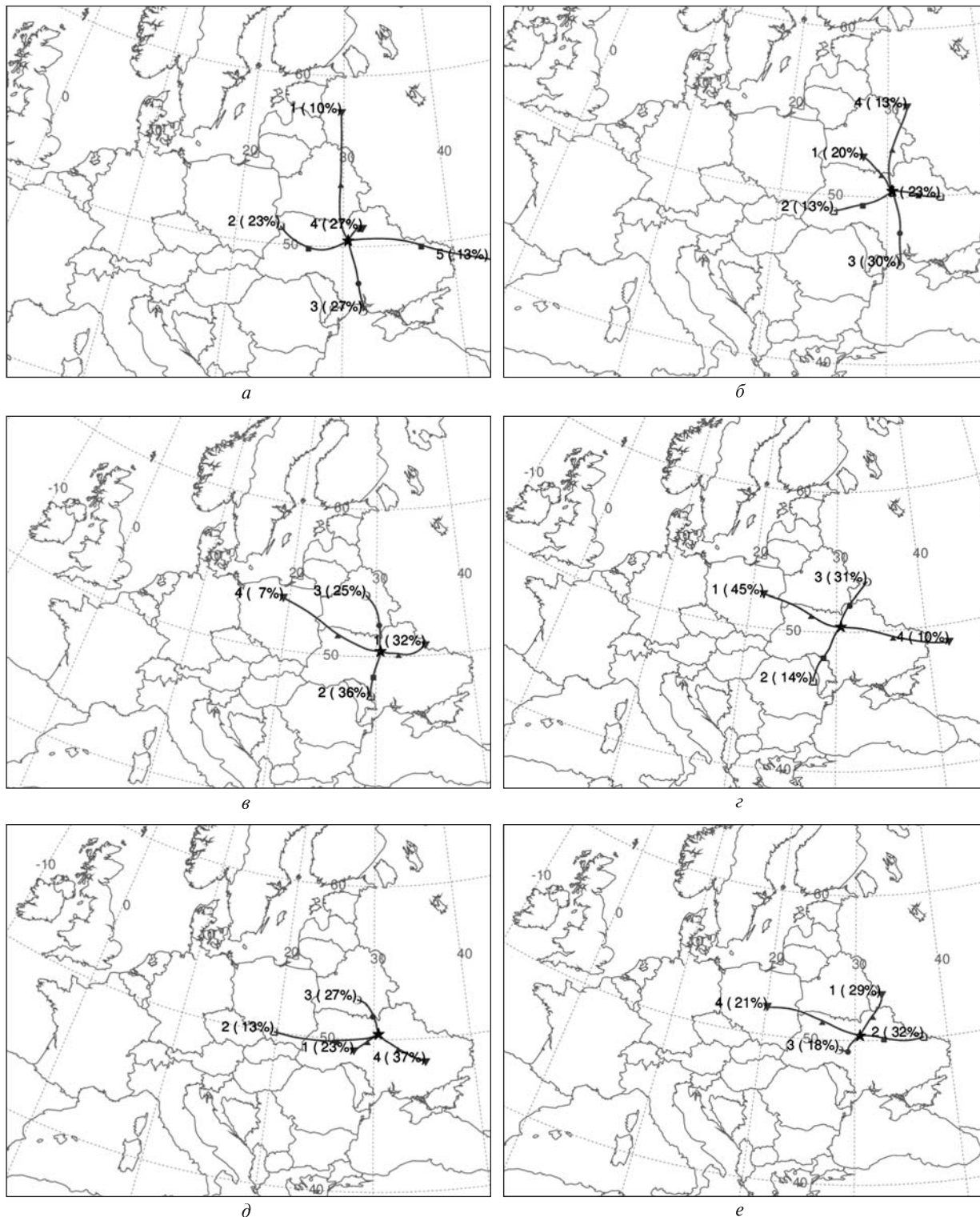


Рис. 4. Кластери зворотних траєкторій над Києвом з кінцевою точкою на висоті 500 м та 12:00 для: квітня 2003 р. (а), квітня 2005 р. (б), квітня 2006 р. (в), травня 2006 р. (г), липня 2011 р. (д), липня 2012 р. (е)

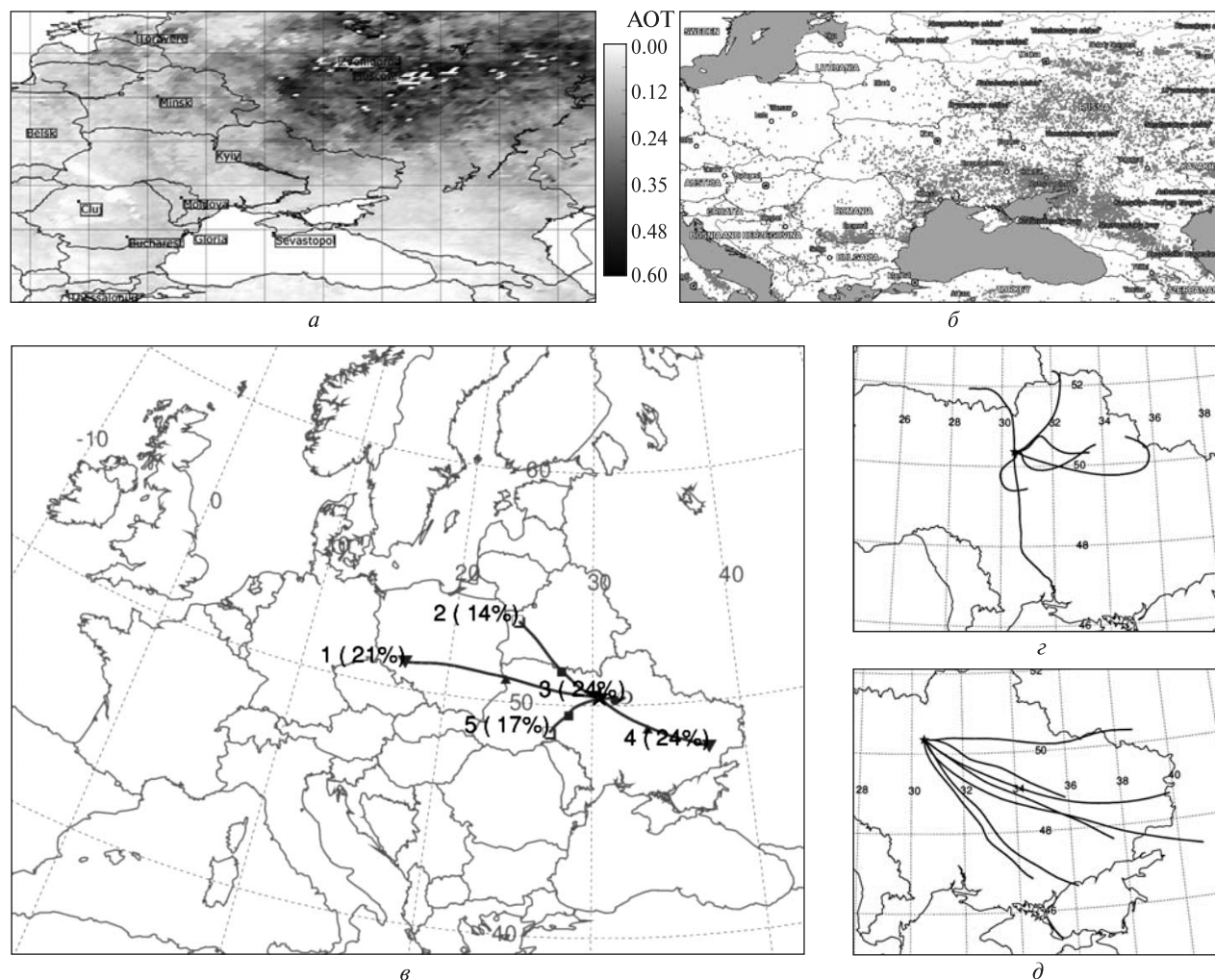


Рис. 5. Карти розподілу середньомісячних значень AOT з даних POLDER/PARASOL (а), зареєстровані пожежі за місяць по даним MODIS (б), кластери зворотних траєкторій над Києвом з кінцевою точкою на висоті 500 м та 12:00 кожного дня (в) та траєкторії 3-го (г) і 4-го (д) кластеру для серпня 2010 р.

які вміщують у своєму складі і продукти горіння, і індустриальні аерозолі. Крім того, майже половина (48 %) повітряних мас надходила з території неконтрольованих пожеж (рис. 5, г, д) в Україні та Росії. Максимальні значення AOT 0.4—0.7 над Києвом були зареєстровані у період 14—16 серпня, що збігається з результатами розрахунків зворотних траєкторій, представленими на рис. 5, г. До того ж AOT на рівні 0.4—0.6 було зареєстроване портативним сонячним фотометром Microtops II у Луганську у цей самий проміжок часу [10]. Тому період з 14 по 16 серпня 2010 року вважається найбільш забрудненим продуктами

горіння над східною та центральною частиною України за 2002—2012 рр.

У 2011 р. було зареєстровано найменшу кількість пожеж і пройдено вогнем площу (рис. 1) за весь розглянутий період [2]. Проте у липні супутником MODIS були зареєстровані пожежі на півдні України, в Криму і Молдові (рис. 2, д). Середньомісячне значення AOT складало 0.04—0.07 в цих регіонах (рис. 3, д), а вітри з південного заходу (23 %) та південного сходу (37 %) переносили атмосферні маси з продуктами горіння до Києва (рис. 4, д). На решті території України значення AOT коливалося в межах 0.02—0.04.

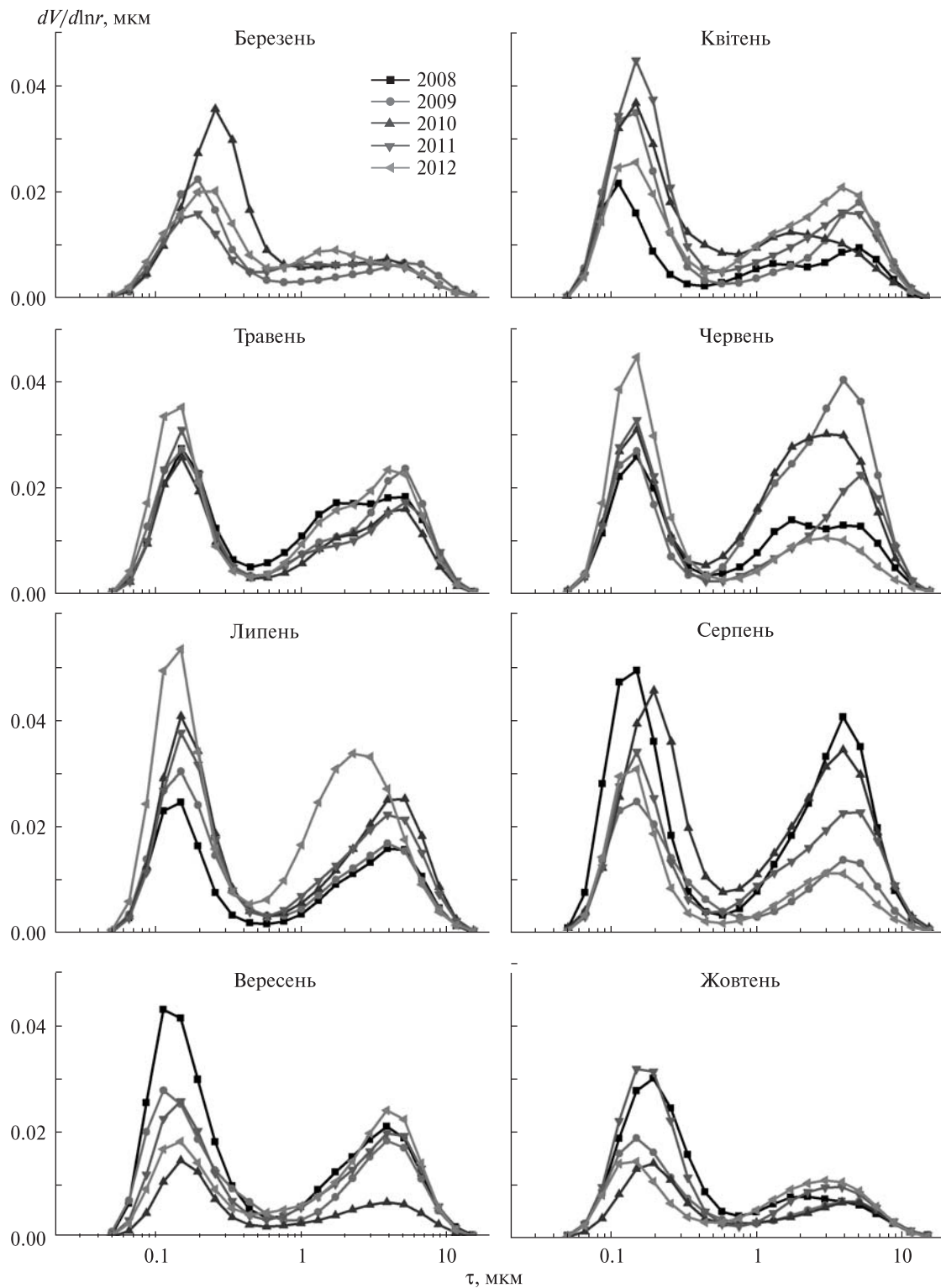


Рис. 6. Середньомісячний розподіл аерозолів за розміром для березня — жовтня протягом 2008—2012 рр. над Києвом із мережі сонячних фотометрів AERONET

Середньомісячні значення АОТ і показник Ангстрема у березні — листопаді 2011 р. за даними супутникового поляриметра POLDER/PARASOL для декількох міст України наведені у таблиці. Порівняно із 2011 р. у 2012 р. збільшилася площа лісових пожеж (рис. 1) при майже незмінній їхній кількості, що пояснюється відсутністю опадів та сильними вітрами [2]. Наприклад, у липні 2012 р. по всій території України виникали лісові та степові пожежі (рис. 2, е). Відповідно значення АОТ характеризуються величинами 0.03—0.05 у центральній та південній Україні (рис. 3, е). Рух повітряних мас до Києва на висоті 500 м над поверхнею відбувався з усіх напрямків (рис. 4, е) з невеликою перевагою з півночі та сходу.

Для оцінок можливої природи та походження аерозольних частинок використано аналіз об'ємного розподілу за розмірами аерозолів у стовпі атмосфери. За даними станції AERONET у Києві видно (рис. 6), що радіус частинок, який відповідає максимуму розподілу (так званий «модальний» радіус) дрібнодисперсної фракції аерозолів у серпні 2008 року дорівнював 0.15, а в серпні 2010 р. — 0.2 мкм. Це можна пояснити тим, що у серпні 2010 р. джерела походження продуктів горіння знаходилися на більшій відстані від Києва, ніж у серпні 2008 р., коли пожежі відбувалися в центральних та південних областях України, оскільки розмір частинок таких аерозолів звичайно збільшується з часом [5]. Модальний радіус крупнодисперсної фракції для обох

подій складає 4 мкм з максимумом в розподілі 0.03—0.04 мкм³/мкм², що свідчить про наявність продуктів горіння в обох фракціях і узгоджується з класифікаціями у роботах [24, 54].

Кількість крупнодисперсного аерозолів у порівнянні з дрібнодисперсним була більшою в стовпі атмосфери над Києвом у червні 2009 та 2010 років, що свідчить про можливу наявність частинок у стовпі атмосфери внаслідок ерозії ґрунтів або транспортування пустельного пилу з Сахари [36]. Об'ємний розподіл по розмірах у травні—липні 2012 р. характеризується більшим рівнем дрібнодисперсних частинок, ніж у цей же період інших років (рис. 6). Крім того, модальний радіус крупнодисперсного аерозолів у липні 2012 р. дорівнював близько 2.5 мкм у той час коли його значення протягом інших років складало 4—5 мкм. Це свідчить про те, що джерела походження продуктів горіння у цей період перебували на ближчій відстані від місця спостереження [5].

Модальний радіус дрібнодисперсної фракції протягом розглянутих місяців 2008—2012 рр. над Києвом лежить у межах від 0.1 до 0.2 мкм, а радіус частинок — у межах від 0.05 до 0.5 мкм, тоді як радіус крупнодисперсного аерозолів — від 1 до 15 мкм (рис. 6). Модальний радіус та різноманітність частинок за розміром для крупнодисперсного аерозолів змінюються у доволі широких межах (рис. 6). Характерною рисою є те, що кількість крупнодисперсних частинок збіль-

Середньомісячна оптична товщина аерозолів (АОТ) для $\lambda = 865$ нм і показник Ангстрема (α) у березні — листопаді 2011 року за даними супутникового поляриметра POLDER/PARASOL

Місяць	Київ		Харків		Донецьк		Луганськ		Дніпропетровськ		Севастополь		Львів		Рівне	
	АОТ	α	АОТ	α	АОТ	α	АОТ	α	АОТ	α	АОТ	α	АОТ	α	АОТ	α
березень	0.11	2.17	0.04	2.05	0.05	2.23	—	—	0.10	2.30	—	—	0.02	2.42	0.05	2.10
квітень	0.05	2.34	0.05	2.55	0.04	2.58	0.01	2.65	0.12	2.38	0.03	2.67	0.04	2.51	0.05	2.50
травень	0.05	2.24	0.03	2.36	0.01	2.30	0.01	2.30	0.01	2.30	0.01	2.30	0.04	2.15	0.03	2.32
червень	0.06	2.30	—	—	0.10	2.30	0.02	2.30	0.10	2.17	0.01	2.97	0.01	2.30	0.01	2.30
липень	0.10	2.32	0.05	2.21	0.03	2.60	0.05	2.05	0.07	2.23	0.04	2.51	0.05	2.23	0.05	2.30
серпень	0.06	2.34	0.02	2.57	0.01	2.54	0.01	2.30	0.02	2.34	0.02	2.56	0.04	2.33	0.02	2.30
вересень	0.04	2.28	0.06	2.20	0.02	2.46	0.03	2.80	0.05	2.37	0.03	2.42	0.03	2.30	0.02	2.55
жовтень	0.05	2.14	0.06	2.11	0.07	2.17	0.07	2.13	0.07	2.20	0.04	2.42	0.04	2.13	0.03	2.21
листопад	0.04	2.04	—	—	—	—	—	—	—	—	0.02	2.30	0.03	1.81	0.02	2.12

шується в атмосфері починаючи з квітня по серпень, а потім зменшується до жовтня. Крім того, спостерігається подвійний максимум у розподілі крупнодисперсної фракції по розмірах з квітня по червень, що пояснюється сезонною природою походження частинок [24].

ВИСНОВКИ

У роботі за даними супутникових приладів POLDER/PARASOL та MODIS визначено характеристики розподілу аерозолів в атмосфері над Україною та географічний розподіл пожеж протягом 2002—2012 рр. Дані приладу POLDER/PARASOL дозволили отримати інформацію про дрібнодисперсні аерозолі типу продуктів горіння і антропогенного забруднення. Середньомісячне значення АОТ для спектрального каналу 865 нм за даними поляриметра POLDER для України становило 0.02—0.07 протягом досліджуваного періоду. Під час пожеж це значення збільшувалось вдвічі, а в окремих випадках — на порядок. Внаслідок надзвичайно спекотної та сухої погоди з квітня по вересень 2002—2012 рр. у Східній Європі виникали численні неконтрольовані лісові, степові та торф'яні пожежі. У 2004 р. та 2011 р. спалення великих площ у лісах не відбувалось чи було незначним, тому спостерігалось невисоке середньомісячне значення АОТ (0.02—0.07) по всій території України.

За допомогою моделі HYSPLIT побудовані кластери зворотних траєкторій руху повітряних мас, що дозволили визначити природу та місцезнаходження аерозолів. Так, наприклад, продукти пожеж у квітні 2003 р., 2005 р. та у квітні-травні 2006 р. згідно з результатами кластерного аналізу частково рухалися з півдня на північ і могли досягати Арктики, де осідали на сніговому покриві, змінюючи його відбивні властивості. Тим самим у роботі були підтверджені результати попередніх робіт [44, 53, 64].

Найбільшими за викидами в атмосферу були пожежі в лісах і на торфовищах в центральноевропейській частині Росії у серпні 2010 р. Середньомісячне значення АОТ над східною та центральною частиною України становило 0.3—0.5, що у десять разів більше у порівнянні з звичайними значеннями АОТ для даного місяця. Максималь-

ні значення АОТ 0.4—0.7 протягом усього періоду спостережень були зареєстровані у період 14—16 серпня над Києвом та Луганськом.

Для аналізу об'ємного розподілу частинок по розмірах над Києвом протягом 2008—2012 рр. використано дані сонячного фотометра станції «Київ» мережі AERONET. Виявилось, що у серпні 2010 р. джерела надходження продуктів горіння перебували на більшій відстані від Києва, ніж у серпні 2008 р., коли пожежі відбувалися в центральних та південних областях України. Середні значення модального радіуса дрібнодисперсної фракції аерозолів в атмосфері над Києвом звичайно складають 0.1—0.2 мкм. Під час пожеж модальний радіус стає рівним 0.2—0.25 мкм, що може свідчити про одночасну наявність в атмосфері індустриальних аерозолів та продуктів горіння біомаси згідно з оцінками [24]. За наведеними даними можна також зробити висновок, що крупнодисперсні аерозолі у період з квітня по червень мають різне походження. Їхня кількість в атмосфері над Києвом збільшується з квітня по серпень, а потім зменшується до жовтня.

Роботу виконано в рамках проекту UKG2-2969-KV-09 Фонду CRDF США та за підтримки проекту PICS 2013-15. Автор вдячний співробітникам ICARE Data and Services Center за доступ до даних супутника POLDER/PARASOL, В. Holben (NASA-GSFC) за координацію мережі AERONET, а також В. Данилевському, Г. Міліневському та М. Сосонкіну за доступ до даних сонячного фотометра у Києві. Автор висловлює подяку NOAA Air Resources Laboratory (ARL) за доступ до даних GDAS1 для моделі HYSPLIT.

1. Кабашиков В. П., Акулинин А. А., Данилевский В. А. и др. Исследование путей переноса атмосферных аэрозолей в Восточноевропейском регионе по данным сети AERONET методом кластерного анализа // Наук. праці УкрНДГМІ. — 2012. — Вип. 262. — С. 20—30.
2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2012 році. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Офіційний веб-сайт. — [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/content/nasdopovid2012.html>.
3. Яцкив Я. С., Мищенко М. И., Розенбуш В. К. и др. Проект «АЭРОЗОЛЬ-УА»: дистанционное зондирование аэрозолей в земной атмосфере со спутника // Космична наука і технологія. — 2012. — 18, № 4. — С. 3—15.

4. *Abdalmogith S. S., Harrison R. M.* The use of trajectory cluster analysis to examine the long-range transport of secondary inorganic aerosol in the UK // *Atmos. Environ.* — 2005. — **39** (35). — P. 6686—6695.
5. *Amiridis V., Balis D. S., Giannakaki E., et al.* Optical characteristics of biomass burning aerosols over Southeastern Europe determined from UV-Raman lidar measurements // *Atmos. Chem. Phys.* — 2009. — **9**. — P. 2431—2440.
6. *Amiridis V., Giannakaki E., Balis D. S., et al.* Smoke injection heights from agricultural burning in Eastern Europe as seen by CALIPSO // *Atmos. Chem. Phys.* — 2010. — **10**. — P. 11567—11576.
7. *Anderson T. L., Charlson R. J., Bellouin N., et al.* An “A-Train” Strategy for Quantifying Direct Climate Forcing by Aerosols // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* — 2005. — **86**. — P. 1795—1809.
8. *Barnaba F., Angelini F., Curci G., Gobbi G. P.* An important fingerprint of wildfires on the European aerosol load // *Atmos. Chem. Phys.* — 2011. — **11**. — P. 10487—10501.
9. *Bovchaliuk A., Milinevsky G., Danylevsky V., et al.* Variability of aerosol properties over Eastern Europe observed from ground and satellites in the period from 2003 to 2011 // *Atmos. Chem. Phys.* — 2013. — **13**. — P. 6587—6602.
10. *Bovchaliuk V., Bovchaliuk A., Milinevsky G., et al.* Aerosol Microtops II sunphotometer observations over Ukraine // *Adv. Astron. and Space Phys.* — 2013. — **3**. — P. 46—52.
11. *Bréon F.-M.* Parasol Level-1 Product Data Format and User Manual // CEA/LSCE, CNES, France. — 2006. — 31 p.
12. *Bréon F.-M.* Parasol Level-2 Product Data Format and User Manual // CEA/LSCE, CNES, France. — 2006. — 32 p.
13. *Bréon F.-M.* Parasol Level-3 Product Data Format and User Manual // CEA/LSCE, CNES, France. — 2006. — 27 p.
14. *Bréon F.-M., Vermeulen A., Descloitres J.* An evaluation of satellite aerosol products against sunphotometer measurements // *Remote Sens. Environ.* — 2011. — **115**. — P. 3102—3111.
15. *Chin M., Kahn R. A., Schwartz S. E. (Eds)* Atmospheric aerosol properties and climate impacts. — Washington: U. S. Climate Change Science Program, 2009. — 128 p.
16. *Chubarova N., Nezval' Ye., Sviridenkov I., et al.* Smoke aerosol and its radiative effects during extreme fire event over Central Russia in summer 2010 // *Atmos. Meas. Tech.* — 2012. — **5**. — P. 557—568.
17. *Danylevsky V., Ivchenko V., Milinevsky G., et al.* Aerosol layer properties over Kyiv from AERONET/PHOTONS sunphotometer measurements during 2008—2009 // *Int. J. Remote Sens.* — 2011. — **32**. — P. 657—669.
18. *Danylevsky V., Ivchenko V., Milinevsky G., et al.* Atmospheric aerosol properties measured with AERONET/PHOTONS sun-photometer over Kyiv during 2008—2009 // *Use of satellite and in-situ data to improve sustainability* / Eds F. Kogan, A. Powell, O. Fedorov. — Dordrecht: Springer, 2011. — P. 285—294.
19. *Deschamps P. Y., Bréon F. M., Leroy M., et al.* The POLDER mission: Instrument characteristics and scientific objectives // *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* — 1994. — **32**. — P. 598—615.
20. *Deuzé J. L., Bréon F. M., Devaux C., et al.* Remote sensing of aerosols over land surfaces from POLDER-ADEOS-1 polarized measurements // *J. Geophys. Res.* — 2001. — **106**. — P. 4913—4926.
21. *Dorling S. R., Davies T. D., Pierce C. E.* Cluster analysis: a technique for estimating the synoptic meteorological controls on air and precipitation chemistry — method and applications // *Atmos. Environ.* — 1992. — **26**. — P. 2575—2581.
22. *Draxler R. R., Hess G. D.* An overview of the HYSPLIT_4 modeling system of trajectories, dispersion, and deposition // *Aust. Meteor. Mag.* — 1998. — **47**. — P. 295—308.
23. *Draxler R. R., Rolph G. D.* HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>) // NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD, 2013.
24. *Dubovik O., Holben B., Eck T. F., et al.* Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations // *J. Atmos. Sci.* — 2002. — **59**. — P. 590—608.
25. *Dubovik O., King M. D.* A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements // *J. Geophys. Res.* — 2000. — **105**. — P. 20673—20696.
26. *Dubovik O., Smirnov A., Holben B. N., et al.* Accuracy assessment of aerosol optical properties retrieval from AERONET sun and sky radiance measurements // *J. Geophys. Res.* — 2000. — **105**. — P. 9791—9806.
27. *Eck T. F., Holben B. N., Reid J. S., et al.* The wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban and desert dust aerosols // *J. Geophys. Res.* — 1999. — **104**. — P. 31333—31350.
28. *Fan X. H., Goloub P., Deuzé J. L., et al.* Evaluation of PARASOL aerosol retrieval over North East Asia // *Remote Sens. Environ.* — 2008. — **112**. — P. 697—707.
29. *Forster P., Ramaswamy V., Artaxo P. (Eds)* IPCC Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. — P. 129—234.
30. *Giglio L., Csiszar I., Justice C. O.* Global Distribution and Seasonality of Active Fires as Observed with the Terra and Aqua MODIS Sensors // *J. Geophys. Res.* — 2006. — **111**. — G02016, doi:10.1029/2005JG000142.
31. *Giglio L., Descloitres J., Justice C. O., Kaufman Y.* An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS // *Remote Sens. Environ.* — 2003. — **87**. — P. 273—282.
32. *Giles D. M., Holben B. N., Eck T. F., et al.* An analysis of AERONET aerosol absorption properties and classifications representative of aerosol source regions // *J. Geophys. Res.* — 2012. — **117**. — P. 17203.

33. Goloub P., Tanré D., Deuzé J. L., et al. Validation of the first algorithm applied for deriving the aerosol properties over the ocean using the POLDER/ADEOS measurements // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. — 1999. — **37**. — P. 1586—1596.
34. Herman M., Deuzé J. L., Marchand A., et al. Aerosol Remote Sensing from POLDER/ADEOS over the Ocean. Improved Retrieval using Non-Spherical Particle Model // J. Geophys. Res. — 2005. — **110**. — D10S02, doi:10.1029/2004JD004798.
35. Holben B. N., Eck T. F., Slutsker I., et al. AERONET — a federated instrument network and data archive for aerosol characterization // Remote Sens. Environ. — 1998. — **66**. — P. 1—16.
36. Israelevich P., Ganor E., Alpert P., et al. Predominant transport paths of Saharan dust over the Mediterranean Sea to Europe // J. Geophys. Res. — 2012. — **117**. — D02205, doi:10.1029/2011JD016482.
37. Kaufman Y. J., Justice C. O., Flynn L. P., et al. Potential Global Fire Monitoring from EOS-MODIS // J. Geophys. Res. — 1998. — **103**. — P. 32215—32238.
38. Kaufman Y. J., Tanré D., Boucher O. A satellite view of aerosols in the climate system // Nature. — 2002. — **419**. — P. 215—223.
39. King M. D., Kaufman Y. J., Tanre D., Nakajima T. Remote sensing of tropospheric aerosols from space: past, present, and future // Bull. Amer. Meteorol. Soc. — 1999. — **80**. — P. 2229—2259.
40. Kondratyev K. Ya. Climatic effects of aerosols and clouds. — Chichester: Praxis, 1999. — 267 p.
41. Kononov I. B., Beekmann M., Kuznetsova I. N., et al. Atmospheric impacts of the 2010 Russian wildfires: integrating modelling and measurements of an extreme air pollution episode in the Moscow region // Atmos. Chem. Phys. — 2011. — **11**. — P. 10031—10056.
42. Korontzi S., McCarty J., Loboda T., et al. Global distribution of agricultural fires in croplands from 3 years of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data // Global Biogeochem. Cy. — 2006. — **20**. — GB2021, doi:10.1029/2005GB002529.
43. Li Z., Zhao X., Kahn R., et al. Uncertainties in satellite remote sensing of aerosols and impact on monitoring its long-term trend: a review and perspective // Ann. geophys. — 2009. — **27**. — P. 2755—2770.
44. Lund Myhre C., Toledano C., Myhre G., et al. Regional aerosol optical properties and radiative impact of the extreme smoke event in the European Arctic in spring 2006 // Atmos. Chem. Phys. — 2007. — **7**. — P. 5899—5915.
45. Luterbacher J., Dietrich D., Xoplaki E., et al. European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes since 1500 // Science. — 2004. — **303**. — P. 1499—1503.
46. Milinevsky G. P., Danylevsky V. O., Grytsai A. V., et al. Recent developments of atmospheric research in Ukraine // Adv. Astron. and Space Phys. — 2012. — **2**. — P. 114—120.
47. Mishchenko M., Cairns B., Hansen J., et al. Monitoring of aerosol forcing of climate from space: analysis of measurement requirements // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. — 2004. — **88**. — P. 149—161.
48. Mishchenko M. I., Cairns B., Kopp G., et al. Accurate monitoring of terrestrial aerosols and total solar irradiance: introducing the Glory Mission // Bull. Amer. Meteorol. Soc. — 2007. — **88**. — P. 677—691.
49. Mishchenko M. I., Geogdzhayev I. V., Cairns B., et al. Past, present, and future of global aerosol climatologies derived from satellite observations: a perspective // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. — 2007. — **106**. — P. 325—347.
50. Mishchenko M. I., Geogdzhayev I. V., Rossow W. B., et al. Long-term satellite record reveals likely recent aerosol trend // Science. — 2007. — **315**. — P. 1543.
51. Morissette J. T., Giglio L., Csizsar I., et al. Validation of MODIS active fire detection products derived from two algorithms // Earth Interactions. — 2005. — **9**. — P. 1—23.
52. Nadal F., Bréon F.-M. Parameterization of surface polarized reflectance derived from POLDER spaceborne measurements // Geosci. and Remote Sens. — 1999. — **37**. — P. 1709—1718.
53. Pettus Ashley. Agricultural Fires and Arctic Climate Change: A Special CATF Report. — Boston, MA: Clean Air Task Force, 2009. — 33 p.
54. Remer L. A., Kaufman Y. J., Holben B. N., et al. Biomass burning aerosol size distribution and modeled optical properties // J. Geophys. Res.-Atmos. — 1998. — **103**. — P. 31879—31891.
55. Rolph G. D. Real-time Environmental Applications and Display sYstem (READY) Website (<http://ready.arl.noaa.gov>) // NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, 2013.
56. Rozwadowska A., Zielinski T., Petelski T., Sobolewski P. Cluster analysis of the impact of air back-trajectories on aerosol optical properties at Hornsund, Spitsbergen // Atmos. Chem. Phys. — 2010. — **10**. — P. 877—893.
57. San-Miguel-Ayanz J., Barbosa P., Camia A. (Eds.). European Commission. 2004. Forest fires in Europe 2003 fire campaign // Official Publication of the European Communities, SPI.04.124 EN, 2004. — 51 p.
58. Schmuck G., San-Miguel-Ayanz J., Barbosa P. (Eds.). European Commission. 2006. Forest fires in Europe 2005 // Official Publication of the European Communities, EUR 22 312 EN, 2006. — 55 p.
59. Schroeder W., Prins E., Giglio L., et al. Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data // Remote Sens. Environ. — 2008. — **112**. — P. 2711—2726.
60. Sciare J., Oikonomou K., Favez O., et al. Long-term measurements of carbonaceous aerosols in the Eastern Mediterranean: evidence of long-range transport of biomass burning // Atmos. Chem. Phys. — 2008. — **8**. — P. 5551—5563.

61. Seinfeld J. H., Pandis S. N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. — New York: Wiley, 2006. — 1203 p.
62. Shindell D. T., Chin M., Dentener F., et al. A multi-model assessment of pollution transport to the Arctic // Atmos. Chem. Phys. — 2008. — **8**. — P. 5353–5372.
63. Stohl A. Characteristics of atmospheric transport into the Arctic Troposphere // J. Geophys. Res. — 2006. — **111**. — D113306, doi:10.1029/2005JD006888.
64. Stohl A., Berg T., Burkhardt J. F., et al. Arctic smoke — record high air pollution levels in the European Arctic due to agricultural fires in Eastern Europe in spring 2006 // Atmos. Chem. Phys. — 2007. — **7**. — P. 511–534.
65. Tanré D., Bréon F. M., Deuzé J. L., et al. Global observation of anthropogenic aerosols from satellite // Geophys. Res. Lett. — 2001. — **28**. — P. 4555–4558.
66. Tanré D., Bréon F. M., Deuzé J. L., et al. Remote sensing of aerosols by using polarized, directional and spectral measurements within the A-Train: the PARASOL mission // Atmos. Meas. Tech. — 2011. — **4**. — P. 1383–1395.
67. Witte J. C., Douglass A. R., da Silva A., et al. NASA A-Train and Terra observations of the 2010 Russian wildfires // Atmos. Chem. Phys. — 2011. — **11**. — P. 9287–9301.

Стаття надійшла до редакції 27.06.13

А. П. Бовчалоук

ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОЗОЛЯ НАД УКРАИНОЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Анализируются источники поступления и пути переноса аэрозолей лесных, степных, торфяных и сельскохозяйственных пожаров над Украиной в период 2002–2012 гг. Для характеристики распределения аэрозоля в атмосфере и визуализации мест горения на поверхности Земли использованы данные спутниковых приборов POLDER/PARASOL и MODIS соответственно, а с помощью модели HYSPLIT построены кластеры обратных траекторий движения воздушных масс. Для анализа объемного распределения частиц по размеру над Киевом в течение 2008–2012 гг. использованы данные всемирной сети солнечных фотометров AERONET. Наивысшие значения аэрозольной оптической толщины (АОТ) 0.4–0.7 для спектрального канала 865 нм, вызваны пожарами на торфяниках в центральноевропейской части России, были зарегистрированы в период с 14 по 16 августа 2010 г. над восточной и центральной частью Украины. Источники поступления продуктов горения в этот период находились на большем расстоянии от Киева по сравнению с августом 2008 г., когда пожары происходили в центральных и южных областях Украины. Среднемесячное значение АОТ на уровне 0.05–0.08 наблюдалось над северной и центральной Украиной в результате степных пожаров в Беларуси с апреля по май 2006 года. Определено, что трансграничный перенос

атмосферы играет важную роль в распределении аэрозоля, и влияет на качество воздуха над всеми странами Восточной Европы. Во время пожаров радиус аэрозольных частиц мелкодисперсной фракции, который соответствует максимуму распределения по размерам, над Киевом равен 0.2–0.25 мкм, что может свидетельствовать об одновременном присутствии индустриального аэрозоля и продуктов горения биомассы. Кроме того, наблюдается двойной максимум распределения крупнодисперсной фракции с апреля по июнь, что можно объяснить сезонной природой происхождения частиц. Объемное распределение аэрозолей по размерам в мае — июле 2012 г. характеризуется наибольшим наличием мелкодисперсных частиц по сравнению с этим же периодом других лет.

А. П. Бовчалоук

FIRE IMPACT ON AEROSOL DISTRIBUTION OVER UKRAINE FROM SATELLITE AND GROUND-BASED MEASUREMENTS

We analyze the sources of aerosol transport from forest, steppe, peat and agricultural fires over Ukraine from 2002 to 2012. Some data from the satellite instruments POLDER/PARASOL and MODIS were used to characterize the distribution of aerosol particles in the atmosphere and to visualize fire locations on Earth's surface, respectively. The cluster analysis was used to classify air mass back trajectories using the HYSPLIT model. Moreover, the data obtained by ground-based network AERONET were used for analysis of volume size distributions over Kyiv site during 2008–2012. The maximum values of aerosol optical thickness (AOT) at 870 nm wavelength ranging from 0.4 to 0.7 were observed from 14 to 16 August 2010 over Eastern and Central Ukraine, which were caused by strong forest and peat wildfires in the central area of European part of Russia. The sources of aerosol combustion were located at greater distance from Kyiv during this period in comparison to August 2008, when fires occurred in the Central and Southern Ukraine. The monthly average AOT ranging from 0.05 to 0.08 was observed over Northern and Central Ukraine as a result of steppe wildfires in Belarus from April to May 2006. It was determined that transboundary transport of atmosphere plays an important role in the aerosol distribution and affects on air quality over all the Eastern European countries. The radii of fine fraction aerosols corresponding to maxima of the size distribution are equal to 0.2–0.25 μ m over Kyiv site during wildfires which may be evidence for the presence of biomass burning and industrial aerosols simultaneously. Furthermore, some features are observed in the size distribution of coarse fraction in the form of double peak from April to June which can be explained by the seasonal nature of particle origin. The volume size distribution is characterized by the most significant fraction of fine particles in May — July 2012 as compared to the same period in other years.

Ю. В. Костюченко^{1,2}, Ю. Г. Білоус¹, Д. М. Мовчан¹, І. М. Копачевський¹,
М. В. Ющенко¹, І. Г. Артеменко¹, Л. В. Попадюк²

¹ Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук Національної академії наук України», Київ

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НЕЛІНІЙНОЇ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДАНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

На основі аналізу особливостей розподілу досліджуваних показників було запропоновано метод статистичного аналізу даних спостережень, у тому числі архівних записів та спостережень з різних джерел, що дозволяє отримувати розподіли в одиницях, інваріантних відносно типів даних. Для отримання регуляризованих у просторі та часі розподілів метеорологічних показників на регіональному рівні запропоновано алгоритм, що базується на методі kernel-аналізу головних компонентів. Проведено аналіз регіональних розподілів кліматичних показників за багаторічними метеорологічними вимірюваннями та зіставлено з даними реаналізу відомих загальноприйнятих моделей NCEP/NCAR. За результатами аналізу визначено просторово-часові особливості змін кліматичних параметрів на регіональному рівні. Отримані результати проаналізовано у порівнянні зі змінами показників продуктивності рослинного покриву та атмосферних концентрацій парникових газів, визначених за даними ДЗЗ. Встановлено, що використання запропонованого методу дає можливість оцінювати регіональні параметри ризику і безпеки на більш коректному рівні.

ВСТУП

В рамках оцінки ризиків надзвичайних ситуацій, особливо природного походження, важливою задачею є визначення впливу варіацій кліматичних параметрів на формування відповідних загроз [4, 9, 16]. Так, різке підвищення кількості опадів безпосередньо пов'язане з імовірністю виникнення повеневих процесів та інших небезпек гідрологічного та геологічного характеру [8].

Як джерело метеорологічних даних (температура, кількість опадів тощо) були використані багаторічні спостереження метеорологічних станцій, розташованих на території досліджень. Зважаючи на те, що дані такого типу мають дискретний характер, а для коректного моделюван-

ня небезпечних явищ необхідно мати просторово розподілені та неперервні у часі значення досліджуваних величин, проведено їхню обробку за алгоритмом, який базується на використанні методу kernel-аналізу головних компонентів (КРСА) [14, 17, 18].

Подальший аналіз регуляризованих у просторі та часі даних розподілів кліматичних показників та метеорологічних спостережень на регіональному рівні спрямовано на формування бази для оцінки соціоекологічних ризиків [9].

МЕТОД СТАТИСТИЧНОЇ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ РОЗПОДІЛІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Характерною особливістю задачі є наявність множини даних різномірних спостережень $\mathbf{x}_i$, розмірності m (тобто $\mathbf{x}_i \in R^m$), в якій представлені різні дані, зокрема дані спостережень, що мають невизначену або недостатню достовірність, архівні дані, історичні записи тощо, а також дані

© Ю. В. КОСТЮЧЕНКО, Ю. Г. БІЛОУС, Д. М. МОВЧАН,
І. М. КОПАЧЕВСЬКИЙ, М. В. ЮЩЕНКО,
І. Г. АРТЕМЕНКО, Л. В. ПОПАДЮК, 2013

достатньої достовірності $\mathbf{x}_j$ ($\mathbf{x}_j \in R^m$), де $j = 1, \dots, N$. Для проведення коректного статистичного аналізу необхідно отримати множину даних заданої достовірності $\mathbf{x}_j$, що рівномірно відображає розподіл досліджуваних характеристик по території досліджень за період спостережень (з урахуванням різної достовірності архівних записів і даних спостережень $\mathbf{x}_j$).

Регуляризацію можна здійснити різними шляхами. Якщо припустити, що статистичні дані мають приблизно однакову достовірність, то в рамках задачі можна запропонувати відносно простий шлях, який базується на визначенні розподілів досліджуваних характеристик по всій території $\mathbf{x}^{(x,y)}$ відносно розподілів на вимірних ділянках $\mathbf{x}_t^m$ по аналогії з [7]:

$$\mathbf{x}_t^{(x,y)} = \sum_{m=1}^n w_{x,y}(\tilde{\mathbf{x}}_t^m) \mathbf{x}_t^m,$$

де $w_{x,y}(\tilde{\mathbf{x}}_t^m)$ — ваговий коефіцієнт, який визначається через пошук мінімуму [6]:

$$\min \left\{ \sum_{m=1}^n \sum_{\mathbf{x}_t^m \in R^m} w_{x,y}(\tilde{\mathbf{x}}_t^m) \left(1 - \frac{\mathbf{x}_t^m}{\tilde{\mathbf{x}}_t^m} \right)^2 \right\}.$$

У цьому рівнянні m — кількість записів або точок, відносно спостережень на яких наявні записи, n — кількість серій спостережень, тобто джерел даних про спостереження, $\mathbf{x}_t^m$ — розподіл результатів спостережень, R^m — множина (загальна сукупність) даних спостережень, $\tilde{\mathbf{x}}_t^m$ — середній розподіл значень вимірюваних характеристик. Таким чином, ми отримуємо регулярний просторовий розподіл вимірюваних характеристик по території дослідження, по якому можна проводити подальші розрахунки, зокрема часову регуляризацію.

Подальша регуляризація має враховувати як нелінійність часового розподілу даних спостережень (зумовленого недосконалістю наявної статистики), так і особливості просторово-часової гетерогенності даних, що зумовлена складним системним характером досліджуваного явища. Для врахування цього можна використати модифікований метод згладжувальної нелінійної ядерної функції [12, 15, 19].

Метод, що ми пропонуємо, базується на методі ядерного аналізу головних компонентів

(КРКА) [14, 17, 18]. В рамках даного підходу регуляризація нелінійних розподілів відбувається згідно з правилом

$$\mathbf{x}_i = \sum_{i=1}^N \alpha_i^k \tilde{\mathbf{k}}_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_i),$$

де коефіцієнти α обираються через оцінки оптимального балансу функції взаємної валідації та матриці коваріації, наприклад [12]

$$C^F v = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \Phi(\mathbf{x}_j) \Phi(\mathbf{x}_j)^T \cdot \sum_{i=1}^N \alpha_i \Phi(\mathbf{x}_i).$$

Тут нелінійна функція розподілу вхідних даних Φ задовольняє умову

$$\sum_{k=1}^N \Phi(\mathbf{x}_k) = 0 \quad [18],$$

$\tilde{\mathbf{k}}_i$ — усереднені значення ядерної матриці $\mathbf{K} \in R^N$, де $[\mathbf{K}]_{ij} = [k(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)]$. Ця матриця складається із ядерних векторів $\mathbf{k}_i \in R^N$, при цьому $[\mathbf{k}_i]_j = [k_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)]$. Ядерна матриця розраховується за модифікованим правилом [5]

$$\mathbf{k}_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_i) = \langle \rho_{j,i}^{x_j} (1 - \rho_{j,i})^{x_j} \rangle,$$

де ρ — емпіричні параметри, які обираються відповідно до [19].

Використовуючи приведений алгоритм, ми можемо отримати регуляризований просторово-часовий розподіл характеристик досліджуваних параметрів по всьому періоду спостережень зі згладженими показниками достовірності [15].

Цей метод було використано для аналізу даних спостережень та аналізу статистики надзвичайних ситуацій різних типів та супутніх даних, в тому числі архівних записів та спостережень з різних джерел за надзвичайними ситуаціями, що дозволив отримувати розподіли в одиницях, інваріантних відносно типів даних. Тобто, є можливість незалежно від параметрів та характеру надзвичайної ситуації отримувати регуляризовані розподіли частоти виникнення та інтенсивності надзвичайних ситуацій різних типів, що характеризуються різними часовими і просторовими масштабами.

Таким чином, було отримано можливість визначати параметри ризику і безпеки [2].

АНАЛІЗ РЕГІОНАЛЬНИХ РОЗПОДІЛІВ КЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗА ДОВГОСТРОКОВИМИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИМИ ВИМІРЮВАННЯМИ

Запропонований алгоритм може бути використаний для отримання регуляризованих у просторі та часі статистично достовірних розподілів метеорологічних показників за даними спостережень на метеостанціях по території досліджень.

Задача регуляризації множин метеорологічних спостережень є важливою, бо зазвичай при моделюванні небезпечних явищ необхідно мати значення таких параметрів як температура, кількість опадів тощо у будь-якій точці досліджуваної ділянки, а наявна інформація забезпечує лише дані про спостереження у визначений час в точках з фіксованими координатами (на метеостанціях). Задача перерахунку точкових вимірів

Таблиця 1. Координати метеостанцій, використані для перевірки точності розподілів у басейні р. Прип'ять

Номер станції	Назва станції	Положення станції			Період спостережень, роки
		широта, град	довгота, град	висота, м	
1	Броди	+50.100	+25.150	+228	1959–2010
2	Дубно	+50.417	+25.750	+216	1989–1994
3	Кам'янка-Бузька	+50.100	+24.350	+228	1959–2001
4	Ковель	+51.217	+24.683	+174	1959–2010
5	Кременець	+50.100	+25.717	+302	1963–2010
6	Луцьк	+50.700	+25.500	+232	1931–2010
7	Львів	+49.817	+23.950	+323	1928–2010
8	Маневичі	+51.283	+25.533	+183	1979–2001
9	Новоград-Волинський	+50.600	+27.633	+218	1959–2010
10	Олевськ	+51.217	+27.683	+182	1955–2009
11	Рівне	+50.583	+26.133	+231	1959–2010
12	Сарни	+51.283	+26.617	+156	1948–2010
13	Шепетівка	+50.167	+27.033	+182	1936–2010
14	Тернопіль	+49.533	+25.667	+329	1934–2010
15	Володимир-Волинський	+50.833	+24.317	+194	1959–2010

Таблиця 2. Координати метеостанцій, використані для перевірки точності розподілів у регіоні північного Причорномор'я

Номер станції	Назва станції	Положення станції			Період спостережень, роки
		широта, град	довгота, град	висота, м	
1	Миколаїв	+47.050	+31.917	+005.6	1955–2010
2	Одеса	+46.433	+30.767	+004.2	1932–2010
3	Очаків	+46.633	+31.550	+004.1	1960–2001
4	Ізмаїл	+45.367	+28.850	+003.0	1959–2010
5	Херсон	+46.633	+32.567	+005.4	1932–2010
6	Асканія-Нова	+46.450	+33.883	+003.0	1911–2010
7	Євпаторія	+45.183	+33.367	+000.6	1959–2010
8	Ялта	+44.483	+34.167	+007.2	1948–2010
9	Севастополь (Бельбек)	+44.683	+33.567	+008.5	1932–2010
10	Ай-Петрі	+44.467	+34.067	+118.0	1932–2001

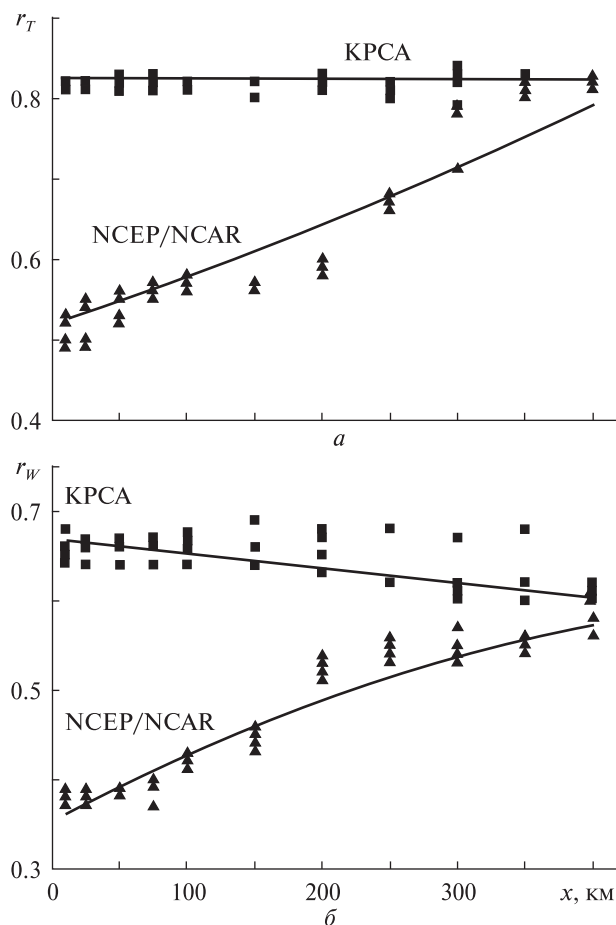


Рис. 1. Коефіцієнти кореляції r_T (а) та r_W (б) значень температури повітря T та кількості опадів W , обчислених за алгоритмами NCEP/NCAR та KPCA, зі значеннями цих величин, отриманими із вимірювань на метеорологічних станціях Полісся у 1979–2010 рр., в залежності від характерного лінійного масштабу x ділянки

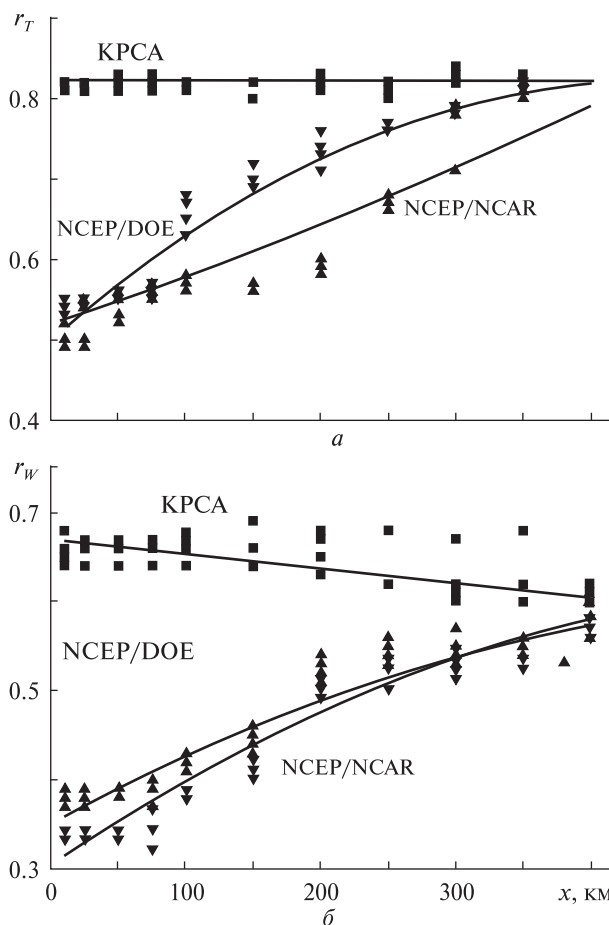


Рис. 2. Те ж для території Причорноморської низовини у 1979–2010 рр.

у просторово розподілені неперервні у часі може бути вирішена різними шляхами, в залежності від постановки, наявності даних спостережень, обчислювальних потужностей, мети розрахунків тощо. На даний час найбільш вживаним для моделей клімату, у тому числі на регіональному рівні, є метод реаналізу даних метеорологічних спостережень, що використовує фільтрацію Калмана, Національного центру досліджень атмосфери США NCEP/NCAR у версіях NCEP/NCAR-RM [12] та NCEP/DOE-R2M [11]. Алгоритми забезпечують можливість отримання регуляризованих розподілів основних кліматичних

показників за всією сукупністю даних спостережень з 1979 р. по всій поверхні планети.

Для порівняння ефективності використання алгоритмів, тобто для визначення відносної достовірності методу kernel-аналізу головних компонентів та алгоритмів NCEP/NCAR-RM і NCEP/DOE-R2M в окремих задачах оцінки регіональної безпеки, було розраховано розподіли метеорологічних показників (температури повітря та кількості опадів) на ділянці розміром 250×250 км з центром в точці з координатами 50.5° N, 26° E (українське Полісся, басейн Прип'яті) для періоду 1979–2010 рр. Для перевірки

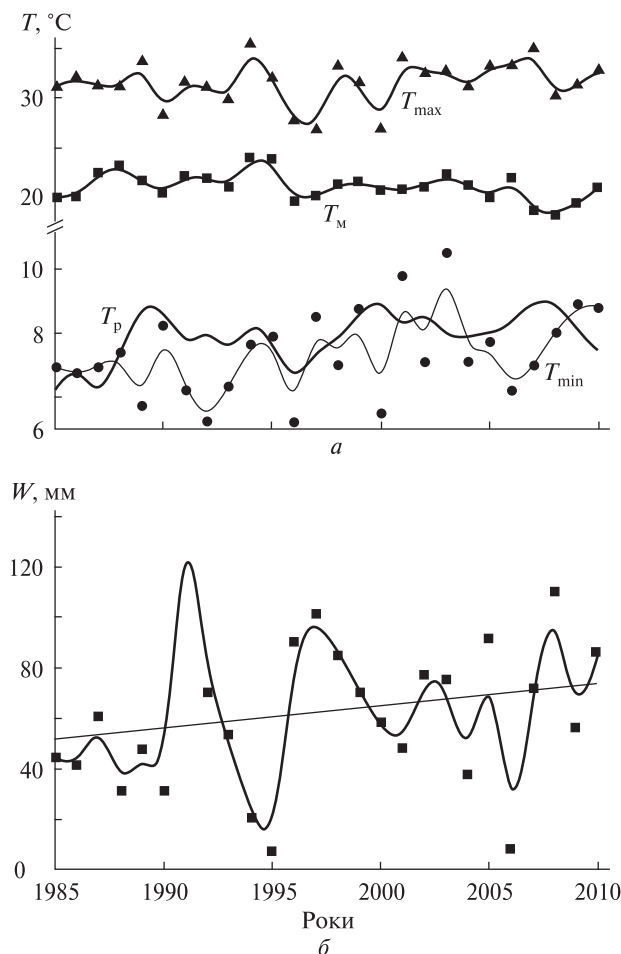


Рис. 3. Середньомісячні (червень–липень) значення температури повітря (а) та кількості опадів W (б), зареєстровані у липні 1985–2010 рр. у басейні Західного Бугу (T_p , $T_{\max}$ і $T_{\min}$ – середньорічні, максимальні та мінімальні значення температури)

точності розподілів на визначеній ділянці було використано дані спостережень 15 метеостанцій (табл. 1).

В результаті було розраховано кореляції значень температури повітря та кількості опадів, отриманих під час реаналізу за алгоритмами NCEP/NCAR та KPCA, з вимірами на метеорологічних станціях по території досліджень в залежності від характерного лінійного масштабу досліджуваної ділянки. Результати розрахунків, що мають сенс показників достовірності модельних розрахунків реаналізу, наведено на рис. 1.

На рис. 2 приведено аналогічні показники для регіону північного Причорномор'я (ділянка розміром 250×250 км з центром в точці з координатами 46.5° N , 31.5° E). Для перевірки точності розподілів на визначеній території було використано дані спостережень метеостанцій (див. табл. 2).

Таким чином, ми отримуємо розподіли кліматичних показників з вищими показниками достовірності, ніж при традиційному підході, у задачах регіональних оцінок на характерних масштабах до 200–250 км.

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН КЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ

За наведеним алгоритмом також було проаналізовано розподіли метеорологічних показників по окремих територіях з метою визначення регіональних тенденцій різночасових змін кліматичних параметрів для їхнього подальшого порівняння з параметрами формування надзвичайних ситуацій.

Проведено аналіз середніх річних та сезонних розподілів показників температури повітря та кількості опадів з характерними просторовими масштабами 50–100 км (що визначалися щільністю розподілу метеорологічних станцій по території дослідження). Загальний характер розподілу даних в цілому відповідає зареєстрованим тенденціям для північної півкулі, але було виявлено і певні регіональні та локальні відмінності. Окремі зауваження щодо розподілів екстремальних значень, на яких власне і зосереджене дане дослідження, будуть зроблені далі.

На рис. 3 показано регіональні особливості розподілів кліматичних змін на прикладі визначених варіацій липневої температури та кількості опадів у басейні р. Західний Буг протягом 1985–2010 рр.

Як свідчать результати аналізу метеорологічних спостережень [1], середньомісячна температура повітря (T_M) червня – липня в регіоні за період 1985–2010 рр. зменшилась на 1.55° C – з 21.75 до 20.2° C , а середньорічна (T_p) збільшилась на 1.25° C – з 7.25 до 8.5° C . Однак при цьому мінімальна зареєстрована температура повітря протя-

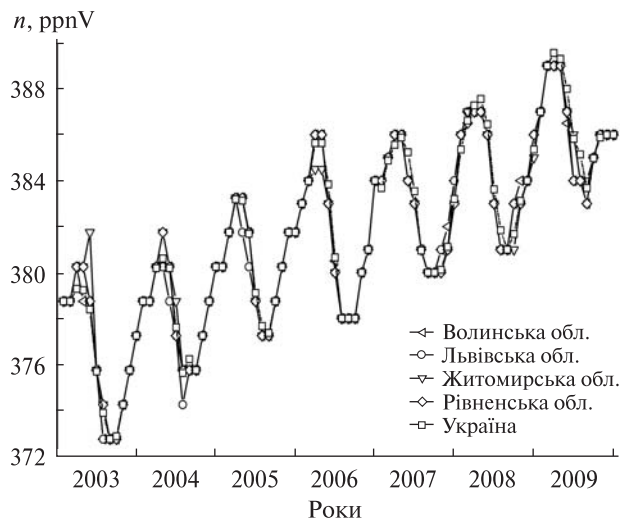


Рис. 4. Динаміка змін концентрації n двоокису вуглецю над територією України за даними супутникового спостереження (з калібруванням за даними наземних спостережень)

гом червня-липня $T_{\min}$ збільшилась на 1.75°C — з 6.5 до 8.25°C , а максимальна $T_{\max}$ збільшилась на 1.42°C — з 30.78 до 32.2°C . Такі зміни максимальних і мінімальних показників відносно середніх свідчать, між іншим, про підвищення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій природного, у першу чергу гідрологічного походження.

Цей результат може здатися нелогічним і суперечливим з точки зору загальної тенденції підвищення температури. Однак інші зареєстровані регіональні тенденції свідчать про його достовірність. Зокрема, спостерігалось зростання кількості опадів у той же період.

Середня кількість липневих опадів у регіоні за період 1985—2010 рр. зросла з 51 до 73 мм [1], тобто більш як на 25 % від середніх показників.

У той же час на території досліджень спостерігається стала тенденція до збільшення атмосферних концентрацій парникових газів, у першу чергу двоокису вуглецю (рис. 4).

Спостереження показують, що за останні 10 років середня концентрація атмосферного CO_2 зросла на 75—85 % від величини сезонної динаміки. Тобто, сезонні мінімуми у 2010 р. приблизно відповідають максимальним значенням атмосферних концентрацій у 2000 р.

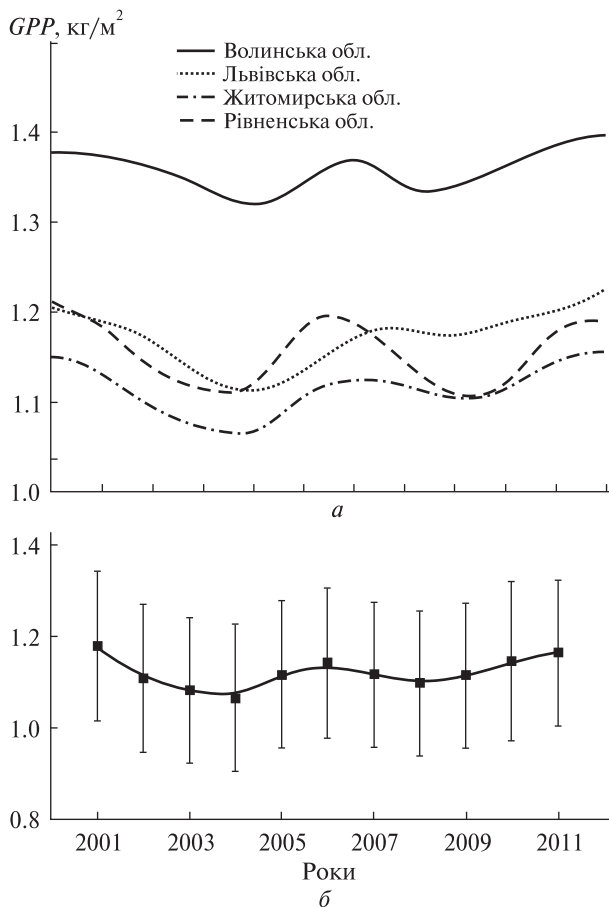


Рис. 5. Значення показників продуктивності рослинного покриву (GPP) за даними супутникової зйомки MODIS 2000–2011 рр.: а — для чотирьох областей, б — середні по басейну рр. Західного Бугу та Прип'яті (Львівська, Волинська, Рівненська та Житомирська області)

Відповідно до загальних біофізичних моделей за умов підвищення середніх температур, достатнього водного забезпечення та достатньої для здійснення фотосинтезу кількості двоокису вуглецю продуктивність рослинного покриву має зростати. Однак дані спостережень не виявили тенденції до зростання показників регіональної продуктивності рослинного покриву [3]. Як видно з рис. 5, достовірних змін продуктивності немає, статистичний приріст вуглецю складає до 0.001 кг/м^2 за 10 років, при тому що похибка визначення складає 0.18 . У той же період часу водне живлення (рівень опадів) та забезпечення CO_2 достовірно зросли.

Такі результати спостережень можуть мати кілька пояснень. Одне з них полягає в тому, що середньорічне зростання температури не впливає суттєво на показники рослинної продуктивності. У даному сенсі більш інформативним є розподіл температури по періоду активної вегетації. І саме у цей період, як свідчать розподіли даних, не спостерігається достатніх температур для забезпечення зростання продуктивності, навіть за сприятливих умов водного режиму та забезпеченості вуглецем з атмосфери.

Таким чином, ми реєструємо взаємозв'язок між локальними кліматичними особливостями та регіональними екологічними характеристиками і можемо переходити до аналізу показників регіональних розподілів надзвичайних ситуацій.

ОБГОВОРЕННЯ ОБМЕЖЕНЬ МЕТОДУ

Запропонований метод аналізу, який базується на алгоритмі КРСА (кERNEL-аналізу головних компонентів) має певні обмеження, що впливають з його природи.

Метод належить до так званих «локальних» методів моделювання [13], тобто до сімейства непараметричних методів оцінювання, які ґрунтуються на властивостях розподілів досліджуваних даних і не потребують введення додаткових умов, апріорних параметрів розподілів тощо. У загальному випадку локальні моделі, на відміну від «глобальних» балансових моделей, не потребують виконання законів збереження [13], принаймні їхнього одночасного виконання. Це дозволяє вільно вибирати граничні умови, не вводити додаткові складні обмеження та використовувати всю наявну сукупність даних. Водночас виникає інша проблема. Закони збереження ґрунтуються на припущенні про однорідність часу. Відмовляючись від законів збереження, ми втрачаємо шкалу часу, що може виявитися значним ускладненням при сценарних розрахунках. Цю проблему можна розв'язати шляхом введення штучної шкали часових відліків для кожного (або для певних наборів) розподілу і випадку моделювання, або, як у нашому алгоритмі, — через введення часу як універсальної міри випадко-

вих множин даних спостережень. Таким способом ми усуваємо загальну проблему, і регуляризацію сукупності множин гетерогенних даних можна здійснити коректно. Однак при цьому слід ретельно задавати інтервали, на яких проводиться аналіз.

ВИСНОВКИ

Запропонований алгоритм надає змогу отримувати важливі результати, які можуть бути використані для моделювання локальних і регіональних особливостей розвитку екосистем, прогнозування регіональних кліматичних змін та відповідних екологічних ризиків.

Отримані результати дають підстави стверджувати, що запропонований алгоритм регуляризації дозволяє отримувати розподіли з вищими показниками достовірності, порівняно із традиційними підходами реаналізу, в задачах регіональних оцінок на характерних масштабах до 200–250 км. Крім того, беручи до уваги те, що цей підхід дозволяє оперувати даними не лише метеорологічних, а й інших спостережень, можна стверджувати, що він є більш придатним для задач оцінки комплексної регіональної соціо-екологічної безпеки.

1. Костюченко Ю. В., Копачевський І. М., Соловійов Д. М. та ін. Використання даних супутникових спостережень для оцінки регіональних гідролого-гідрогеологічних ризиків // Космічна наука і технологія. — 2011. — 17, № 6. — С. 19–29.
2. Костюченко Ю. В., Мовчан Д. М., Ющенко М. В. Оцінка стану безпеки територій за даними статистичного аналізу розподілів надзвичайних ситуацій // Комплексне моделювання управління безпечним використанням продовольчих, водних і енергетичних ресурсів з метою сталого соціального, економічного і екологічного розвитку / За ред. А. Г. Загороднього, Ю. М. Єрмольєва. — Київ, 2013. — С. 54–63.
3. Лялько В. І., Мовчан Д. М., Костюченко Ю. В., Копачевський І. М. Контроль параметрів динаміки регіональної рослинності на основі даних ДЗЗ з метою підвищення ефективності довгострокового управління гідролого-гідрогеологічними ризиками // Геоінформатика. — 2012. — 1 (41). — С. 1–7.
4. Adger W. N. Vulnerability // Global Environ. Change. — 2006. — 16, N 3. — P. 268–281.
5. Christianini N., Shawe-Taylor J. An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-Based Learning

- Methods. — Cambridge: University Press, UK, 2000. — 212 p.
6. Cowpertwait P. S. P. A generalized spatial-temporal model of rainfall based on a clustered point process // Proc. Roy. Soc. London A. — 1995. — **450**. — P. 163—175.
7. Fowler H. J., Kilsby C. G., O'Connell P. E. Modeling the impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience and vulnerability of a water resource system // Water Resour. Res. — 2003. — **39**. — P. 1222.
8. IPCC 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, et al. — Cambridge: University Press, 2001. — 881 p.
9. IPCC 2007: Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, et al. — Cambridge: University Press, 2007. — 976 p.
10. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 1996. — **77**. — P. 437—470.
11. Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., et al. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 2002. — **83**. — P. 1631—1643.
12. Lee J.-M., Yoo C. K., Choi S. W., et al. Nonlinear process monitoring using kernel principal component analysis // Chem. Eng. Sci. — 2004. — **59**. — P. 223—234.
13. Lloyd C. D. Local models for spatial analysis. — CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007. — 244 p. — (ISBN 0-415-31681-2).
14. Mika S., Scheolkopf B., Smola A. J., et al. Kernel PCA and de-noising in feature spaces // Adv. Neural Inform. Process. Syst. — 1999. — **11**. — P. 536—542.
15. Mudelsee M., Börngen M., Tetzlaff G. On the estimation of trends in the frequency of extreme weather and climate events // Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Univ. Leipzig. — 2001. — **22**. — P. 78—88. — (Eds A. Raabe, K. Arnold).
16. National Research Council. America's Climate Choices: Adapting to the impacts of climate change. — Washington, DC: National Academies Press, 2010. — 292 p.
17. Romdhani S., Gong S., Psarrou A. A multi-view nonlinear active shape model using kernel PCA // Proceedings of BMVC. — UK, 1999. — P. 483—492.
18. Scheolkopf B., Smola A. J., Muller K. Nonlinear component analysis as a kernel eigenvalue problem // Neural Computation. — 1998. — **10**, N 5. — P. 1299—1399.
19. Villez K., Ruiz M., Sin G., et al. Combining multiway principal component analysis (MPCA) and clustering for efficient data mining of historical data sets of SBR processes // Water Science & Technology. — 2008. — **57**, N 10. — P. 1659—1666.

Стаття надійшла до редакції 24.09.13

Ю. В. Костюченко, Ю. Г. Белоус, Д. М. Мовчан,
И. М. Копачевский, М. В. Ющенко, И. Г. Артеменко,
Л. В. Попадюк

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ НЕЛИНЕЙНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

На основе анализа особенностей распределения исследуемых показателей был предложен метод статистического анализа данных наблюдений, в том числе архивных записей и наблюдений из разных источников, который дает возможность получать распределения в единицах, инвариантных относительно типов данных. Для получения регуляризованных в пространстве и времени распределений метеорологических показателей на региональном уровне, предложен алгоритм, который базируется на методе ядра-анализа главных компонент (КРКА). Результаты анализа региональных распределений климатических показателей за многолетними метеорологическими измерениями сопоставлены с данными известных общепринятых моделей реанализа NCEP/NCAR, а также определены пространственно-временные особенности изменений климатических параметров на региональном уровне. Полученные результаты проанализированы по сравнению с вариациями показателей производительности растительного покрова и атмосферных концентраций парниковых газов, определенных за данными ДЗЗ. Установлено, что использование предложенного метода дает возможность оценивать региональные параметры риска и безопасности на более корректном уровне.

Yu. V. Kostyuchenko, Yu. H. Bilous, D. M. Movchan,
I. M. Kopachevsky, M. V. Yushchenko, I. G. Artemenko,
L. V. Popadyuk

THE USE OF METHODS OF THE NONLINEAR SPATIAL-TEMPORAL DATA REGULARIZATION FOR THE ANALYSIS OF METEOROLOGICAL OBSERVATIONS

On the basis of an analysis of investigated parameters, a method for statistical analysis of observations (including archive data and observations from different sources) is proposed. The resulted distributions are presented in units invariant toward the initial data metrics. For deriving distributions of meteorological measurements, which are regular in space and time, at a regional scale, the algorithm based on the Kernel Principal Component Analysis (KPCA) is proposed. The results of the analysis of climate parameters regional distributions (multiyear meteorological measurements) are compared with known conventional re-analysis models (NCEP/NCAR). Some spatial and temporal features of climate parameter change are defined at the regional scale. Our results are analyzed in comparison with changes of vegetation productivity and greenhouse gases (CO₂), derived from remote sensing data. It should be mentioned that the proposed method gives more correct estimations of regional risk parameters and security.

Ю. В. Найдич, И. И. Габ, Т. В. Стецюк, Б. Д. Костюк

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича Національної академії наук України, Київ

ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИИ НА СМАЧИВАНИЕ И КАПИЛЛЯРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В КОНТАКТНЫХ СИСТЕМАХ «ЖИДКОСТЬ — ТВЕРДОЕ ТЕЛО»

Изучалось влияние пониженной и повышенной гравитации, смоделированной в земных условиях, на величину краевого угла смачивания для различных систем «твердое тело — жидкость». Использовались как низкотемпературные жидкости (вода, глицерин), так и металлические расплавы (олово, золото). Установлено, что величина гравитации не влияет на краевой угол смачивания жидкостями твердых поверхностей.

ВВЕДЕНИЕ

В работе Т. Юнга [14] впервые сформулировано понятие о краевом угле смачивания как характерной константе для комбинации жидкости, твердого тела и газовой фазы (рис. 1). Согласно Т. Юнгу краевой угол смачивания Θ определяется соотношением адгезии жидкости к твердому телу и когезии в самой жидкости. После некоторых преобразований уравнение Юнга для краевого угла смачивания может быть записано в виде

$$\cos \Theta = \frac{\sigma_{\text{тг}} - \sigma_{\text{тж}}}{\sigma_{\text{жг}}}, \quad (1)$$

где Θ — краевой угол смачивания; $\sigma_{\text{тг}}$, $\sigma_{\text{тж}}$, $\sigma_{\text{жг}}$ — поверхностные энергии двойных систем: твердое тело — газ, твердое тело — жидкость, жидкость — газ соответственно.

Физический смысл имеет величина $\cos \Theta$, хотя для практики обычно используют числовое значение величины краевого угла в градусах.

Краевой угол смачивания является количественной мерой смачивания, которая в свою очередь является ключевым фактором в процессе пайки различных материалов и разработке технологий пайки. Высокая смачиваемость (достаточно малое значение Θ) определяет саму

возможность выполнения операции пайки, особенно если необходимо паять неметаллические материалы (керамику различных видов, кварцевое стекло и т. п.), поскольку эти материалы обычно плохо смачиваются жидкими металлами и стандартными припоями.

Уравнение Юнга широко используется, но в то же время по сей день не прекращается дискуссия относительно справедливости уравнения, поскольку в нем не учтено возможное воздействие гравитации. Сомнения по этому поводу высказаны в ряде работ [7, 8, 12].

Особый интерес к этому вопросу возник в связи с развитием космонавтики. Еще в 1950-е годы высказывались соображения о возможных исправлениях, которые следует ввести в уравнение (1) для случая действия гравитации [12]. В работе [13] утверждается, что гравитация определено должна влиять на величину краевого угла смачивания. Результаты экспериментов по жидкофазному спеканию, проведенные на борту космического комплекса «Шаттл», дают возможность предположить, что одной из причин отличия протекания процесса в сравнении с земными условиями может быть расхождение краевых углов смачивания в условиях невесомости и в поле действия гравитационных сил. В работе [1] проведена попытка экспериментально определить значения краевых углов смачивания кварцевого стекла некоторыми жидки-

ми металлами (Zn, Cd), измеренных в полете космического комплекса «Салют-6» — «Союз». Найдено, что краевые углы в космических условиях (микрогравитация) были немного меньше, чем на Земле. Так, для системы «Zn — стекло» на Земле получен краевой угол 107° , а в космосе — 102° , а для системы «Cd — стекло» — 106° и 103° соответственно. Однако с учетом ошибок, связанных с образованием капель из газовой фазы и последующей кристаллизации металлов, а также с измерениями на холодных очень малых каплях металлов, сделать какие-либо определенные выводы о соответствии или расхождении «космических» и «земных» углов смачивания невозможно. Необходимы систематические исследования в этом направлении.

Экспериментально условия пониженного действия гравитации возможно моделировать в земных условиях. Одним из способов такого моделирования является уменьшение объема капли жидкости до тех размеров, когда действие гравитации составляет малую величину по сравнению с действием поверхностных и капиллярных сил, т. е. необходимо измерять краевой угол при разных объемах капель.

Представляет интерес также исследование повышенной гравитации на каплю, тем более что в работе [11] отмечено понижение краевого угла смачивания каплями воды алюминия на $8\text{--}10^\circ$ под действием гравитации $(1.2\text{...}1.5)g$ в условиях параболического полета. Такие значения краевого угла смачивания превышают (хотя и незначительно) ошибку эксперимента.

В настоящей работе изложены результаты исследований как пониженного, так и повышенного воздействия гравитации на краевой угол смачивания водой и расплавленными металлами твердых металлических и неметаллических поверхностей.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Краевой угол смачивания измерялся методом покоящейся капли [3]. Как указано выше, моделировать изменения влияния гравитации в земных условиях можно путем изменения объема капли и определения краевого угла для каждого значения этого объема.

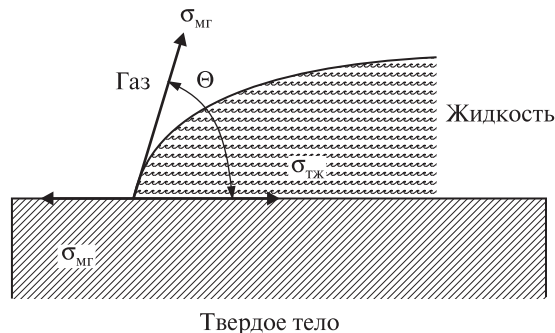


Рис. 1. Капля жидкости на твердой поверхности

В общем случае следует сравнивать действия капиллярных σL и гравитационных $g\rho L^3$ сил (где L — характерный размер капли жидкости, например высота в ее центре, σ — поверхностное натяжение жидкости, g — ускорение свободного падения, ρ — плотность исследуемой жидкости). Отношение этих двух величин называют числом Бонда [6, 9, 10]:

$$B_0 = \frac{\rho g L^2}{\sigma}. \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что в случае минимизации размера капли возможно моделирование условий невесомости в земных условиях (при этом $L \rightarrow 0$, $B_0 \rightarrow 0$).

Таким образом, пониженное действие гравитации имитировалось изменением объема капли до очень малых размеров (10^{-3} см³). Капли воды или глицерина выдавливались из шприца на горизонтально расположенную подложку исследуемого твердого тела, а капли расплавов металлов образовывались при расплавлении в вакууме соответствующих навесок металлов. Поверхности подложек из меди, графита и кварцевого стекла полировали до шероховатости $R_z = 0.02\text{...}0.03$ мкм, затем эти подложки обезжиривали ацетоном и спиртом, после чего кварцевые подложки отжигали на воздухе при температуре 1100°C в течение 60 мин. Медные и графитовые подложки, а также прокаленные на воздухе подложки из кварцевого стекла отжигали в вакууме при температуре 900°C в течение 60 мин.

В наших последних исследованиях был получен повышенный уровень гравитации до $22g$ путем использования центробежной силы. Из-

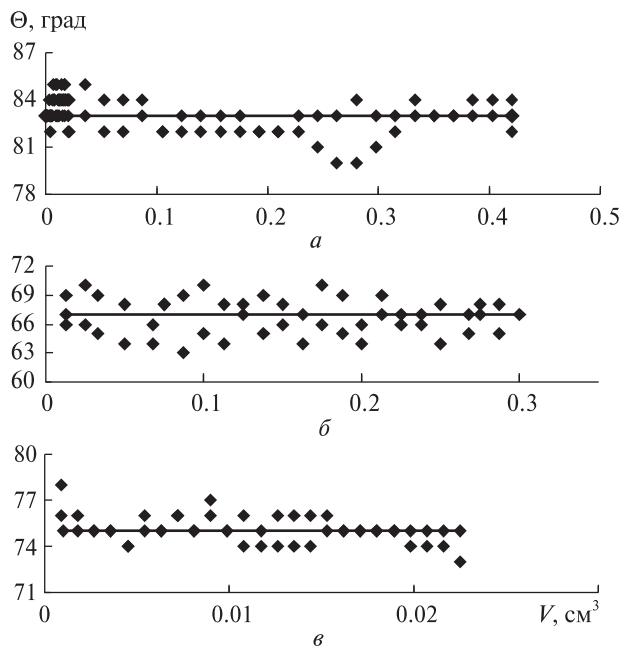


Рис. 2. Зависимость краевого угла смачивания Θ от объема V капли для различных систем на воздухе при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$: a — «вода — медь», b — «вода — графит», v — «глицерин — парафин»

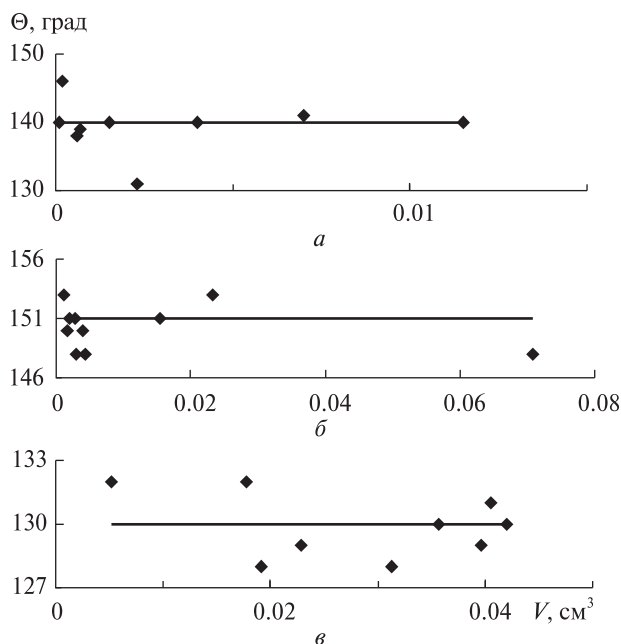


Рис. 3. Зависимость краевого угла смачивания Θ от объема V капли металла на кварце для различных систем: a — «вакуум — олово» ($T = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$), b — «вакуум — золото» ($T = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$), v — «воздух — золото» ($T = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$)

мерение краевого угла смачивания также проводилось методом покоящейся капли с фотографированием контура капли в проекции площади, перпендикулярной к твердой поверхности.

Повышенное воздействие гравитации на капли расплавленного золота исследовались на устройстве для определения влияния центробежной силы на краевой угол смачивания расплавленным металлом поверхности кварцевого стекла. Цилиндрическая труба из кварцевого стекла, в которой находилась капля расплавленного металла, вращалась вокруг своей оси со скоростью до 1400 об/мин. Центробежная сила F рассчитывалась по формуле

$$F = \frac{mV^2}{r},$$

где V — линейная скорость капли, r — радиус трубы, m — масса капли.

Линейная скорость капли определялась по формуле

$$V = 2\pi rn,$$

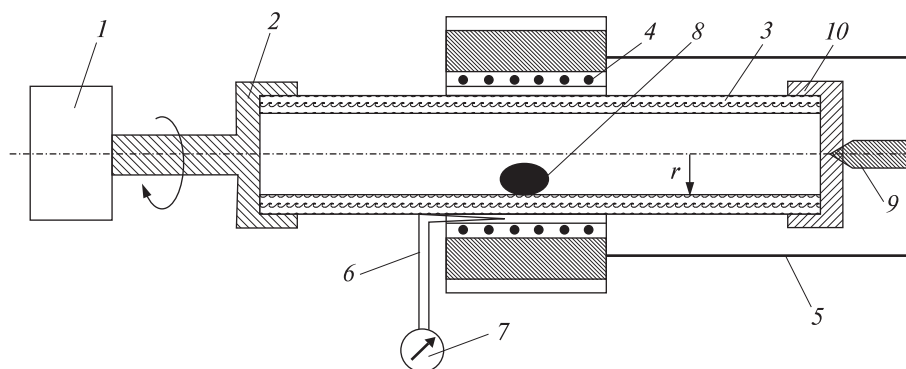
где n — число оборотов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ ГРАВИТАЦИИ НА СМАЧИВАНИЕ ЖИДКОСТЯМИ ТВЕРДЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Ранее в работах [4, 5] исследовали воздействие гравитации на краевой угол смачивания для различных систем твердое тело — жидкость с использованием как низкотемпературных жидкостей (вода, глицерин), так и металлических расплавов (олово, золото). Подложки были изготовлены из меди, парафина, графита и кварцевого стекла. На рис. 2, 3 приведены полученные нами зависимости краевого угла смачивания — объема капли для этих систем. Во всех этих случаях краевой угол смачивания для конкретной системы остается постоянным (с точностью $\pm 3^{\circ}$) с изменением объема капель. Это относится к изменению уровня гравитации в интервале $0 \dots g$, где g — ускорение свободного падения для Земли.

Некоторое различие в значениях краевых углов смачивания золотом кварцевого стекла при нагреве до температуры $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ в вакууме (рис. 3, б) и на воздухе (рис. 3, в) можно объяснить тем, что при нагреве золота в воздушной среде возможно образование оксида Au_3O_2 [2]

Рис. 4. Аппаратура для моделирования супергравитационного действия с помощью центробежных сил на каплю жидкости на твердой поверхности: 1 — электродвигатель, 2 — цанговый зажим, 3 — кварцевая труба, 4 — электрическая печь, 5 — электрический контакт, 6 — термопара, 7 — милливольтметр, 8 — капля, 9 — подвижный центр, 10 — фланец, r — радиус вращения



на поверхности капля расплавленного золота и, таким образом, наличие кислорода в расплаве способствует снижению значения краевого угла смачивания.

Эксперимент по исследованию воздействия повышенного уровня гравитации на расплавленную каплю золота в воздухе был проведен на аппаратуре для моделирования супергравитационного действия (рис. 4) следующим образом: исходный золотой образец 8 сферической формы диаметром 4 мм был помещен в кварцевую трубу 3 диаметром около 30 мм на боковую цилиндрическую поверхность, после чего труба была помещена во вращающееся устройство, состоящее из электромотора 1, цангового зажима 2, вращающегося центра 9 и фланца 10. На кварцевую прозрачную трубу с шероховатостью внутренней поверхности $R_a = 0.1$ мкм была одета трубчатая электропечь 4, посредством которой золото нагревалось до 1100°C при одновременном вращении трубы. После 10-мин выдержки печь выключали и охлаждали при вращении вместе с золотой каплей до 900°C , затем вращение прекращалось, и вся сборка охлаждалась до комнатной температуры. Краевой угол смачивания измерялся по застывшей капле. Конечно, это недостаток метода, но специальное уточненное измерение величины краевого угла смачивания показало, что отклонение значения угла смачивания жидкой капли от затвердевшей незначительно.

Чтобы учесть искривление внутренней поверхности трубы, краевой угол смачивания из-

мерялся как двугранный угол между касательными к внутренней поверхности трубы в месте контакта (периметра смачивания) капли с поверхностью трубы и касательной к поверхности капли. Некоторое искривление поверхности контакта «твердое тело — жидкость» не имело существенного значения, поскольку речь идет не о точном числовом определении физико-химического краевого угла смачивания в системе «расплавленное золото — кварцевое стекло», а о сравнении значений краевых углов смачивания, измеренных для разных скоростей вращения трубы, определяющих изменения центробежной нагрузки на каплю золота.

Экспериментальные данные значений краевого угла смачивания расплавом золота кварцевого стекла при разных оборотах приведены в таблице, а изображения самих капель — на рис. 5. Значения краевого угла смачивания золотом кварцевой трубы при всех скоростях вращения определялись также методом покоящейся капли, при котором определяли величину угла в тройной

Значения краевого угла смачивания расплавленным золотом кварцевого стекла при действии различных значений ускорения

n , об/мин	Ускорение	Θ , град
0	g	125 ± 3
700	$5g$	125 ± 3
950	$10g$	126 ± 3
1200	$16g$	125 ± 3
1400	$22g$	125 ± 3

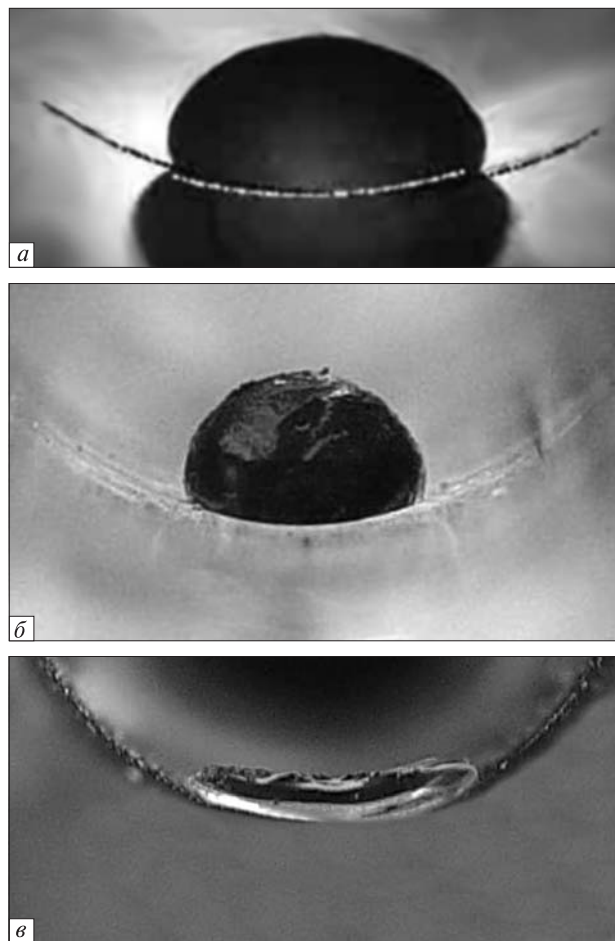


Рис. 5. Капли золота на поверхности кварцевого стекла, отоженные при 1100 °С на воздухе в условиях, моделирующих повышенное значение ускорения, достигнутого за счет разной скорости вращения капли: *а* — 1g ($n = 0$ об/мин), *б* — 5g ($n = 700$ об/мин), *в* — 22g ($n = 1400$ об/мин)

точке, т. е. угол между касательной к поверхности капли в месте контакта с подложкой (кварцевой трубкой) и касательной к поверхности капли на границе раздела твердая капля — газ. Видно, что краевой угол смачивания кварцевого стекла расплавленным золотом остается практически постоянным даже при воздействии гравитации, достигающем до 22g. Таким образом, степень деформации расплавленной капли металла не влияет на величину краевого угла, изменения значений которого находится в пределах допустимой ошибки эксперимента $\pm 4^\circ$.

ВЫВОДЫ

В результате наземных опытов установлено, что с изменением объема капли действие гравитации изменяется, а краевой угол смачивания Θ твердого тела жидкостью остается постоянным. Следовательно, величина краевого угла смачивания не зависит от величины силы тяжести. Однако окончательный ответ на вопрос о влиянии гравитации на краевой угол смачивания может быть дан лишь после проведения подобных экспериментов в условиях космической станции.

1. Будуров С. И., Петров П. А., Ковачев П. Д. и др. Определение углов смачивания в условиях микрогравитации // «Салют-6» — «Союз». Материаловедение и технология. — М.: Наука, 1985. — С. 64—66.
2. Диаграмма состояния двойных металлических систем: В 3 т. / Под общ. ред. Н. П. Лякишева. — М.: Машиностроение, 1996. — Т. 1. — 992 с.
3. Найдич Ю. В. Контактные явления в металлических расплавах. — Киев: Наук. думка, 1972. — 196 с.
4. Найдич Ю. В., Габ И. И., Евдокимов В. А. и др. Форма поверхности жидкости и капиллярные явления при пониженной силе тяжести или в невесомости применительно к проблемам космического материаловедения (технологии порошковой металлургии: пропитка, жидкофазное спекание; сварка, пайка) // Космічна наука і технологія. — 2004. — **10**, № 2/3. — С. 59—67.
5. Найдич Ю. В., Габ И. И., Евдокимов В. А. и др. Форма поверхности жидкости и капиллярные явления при пониженном ускорении силы тяжести // Порошковая металлургия. — 2004. — № 3-4. — С. 72—79.
6. Сумм Б. Д., Горюнов Ю. В. Физико-химические основы смачивания и растекания. — М.: Химия, 1976. — 232 с.
7. Adamson A. W. Physical chemistry of surfaces. — 5th ed. — New York: Wiley, 1990. — 777 p.
8. Bikerman J. J. Contribution to the thermodynamics of surfaces. — Cambridge: Publ. by Author, 1961. — 40 p.
9. Bond W. N. Bubbles and drops and Stokes' law (Paper 1) // Phil. Mag. — 1927. — N 4 (29). — P. 889—898.
10. Bond W. N., Newton D. A. Bubbles, drops and Stokes' law (Paper 2) // Phil. Mag. — 1928. — N 5 (30). — P. 794—800.
11. Brutin D., ZhiQuiang, Zhu Ouamar Rahli, et al. Sessile drop in microgravity: creation, contact angle and interface // Microgr. Sci. Technol. — 2009. — **24**, N 3. — P. 195—202.
12. Proceedings of the second international congress on surface activity. — London: Butterworth, 1957. — Vol. III. — 131 p.

13. Yixiong Liu, German R. M. Contact angle and solid-liquid-vapor equilibrium // *Acta Materialia*. — 1996. — **44**, N 4. — P. 1657—1663.
14. Young T. An essay on the cohesion of fluids // *Phil. Trans. Roy. Soc. London*. — 1805. — **95**. — P. 65—87.

Стаття надійшла до редакції 03.09.13

Ю. В. Найдич, І. І. Габ, Т. В. Стецюк, Б. Д. Костюк

ВПЛИВ ГРАВІТАЦІЇ НА ЗМОЧУВАННЯ ТА КАПІЛЯРНІ ЯВИЩА В КОНТАКТНИХ СИСТЕМАХ «РІДИНА — ТВЕРДЕ ТІЛО»

Вивчався вплив зниженої і підвищеної гравітації, змодельованої у земних умовах, на величину крайового кута змочування різних систем «тверде тіло — рідина». Використовувались як низькотемпературні рідини (вода,

гліцерин), так і металеві розплави (олово, золото). Встановлено, що величина гравітації не впливає на крайовий кут змочування рідинами твердих поверхонь.

Yu. V. Naidich, I. I. Gab, T. V. Stetsyuk, B. D. Kostyuk

GRAVITATION INFLUENCE ON WETTING AND CAPILLARY PHENOMENA IN CONTACT LIQUID — SOLID SYSTEMS

A relationship between wetting contact angle and gravity was investigated. Lowered and increased (up to 22g) gravitation conditions were simulated in terrestrial conditions. Various «solid — liquid» systems were considered for both low temperature liquids (water, glycerin) and metal melts (tin, gold). It was found that the gravitation level does not influence on the contact angle of wetting solids by liquids.

УДК 621.5

С. А. Засуха¹, А. Л. Макаров², Н. И. Лихолит³, Л. П. Семенов¹, Ю. А. Меленевский⁴, В. Т. Архипов⁴

¹ Державне космічне агентство України, Київ

² Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», Дніпропетровськ

³ Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал», Київ

⁴ Науково-технічний центр кріогенно-космічних технологій «Кріокосмос», Харків

ОСОБЕННОСТИ КРИОГЕННЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДЕТЕКТОРОВ ИК-СКАНЕРОВ ДЛЯ МИКРОСПУТНИКОВ

Рассмотрены различные системы охлаждения приемников ИК-сканера, предназначенного для работы в повторно-кратковременном режиме на борту малых ИСЗ. Показано, что одним из вариантов системы криостатирования сканера может быть схема с аккумулятором испарения, позволяющая охлаждать детекторы в пассивном режиме, т. е. при работающей газовой криогенной машине (ГКМ). Такая система требует дополнительных масс и энергопотребления, но позволяет разнести во времени работу ГКМ и собственно ИК-сканирование. Рассмотрены особенности работы системы тепловода от ГКМ на малых ИСЗ, работающих на солнечно-синхронной орбите.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений современных систем космического мониторинга земной поверхности является ее многоспектральная видеосъемка с малых ИСЗ. Особый интерес представляет инфракрасный диапазон спектра, характерный тем, что в нем можно использовать собственное излучение земной поверхности и проводить наблюдения на ночной и вечерней поверхности Земли в окне прозрачности атмосферы 8...12 мкм. Однако сложностью создания ИК-аппаратуры является то, что она требует для своей работы наличия системы, обеспечивающей поддержание температуры фотоприемных устройств (ФПУ) на уровне 75...90 К. Из-за большого срока работы аппарата в качестве такой системы обычно используются газовые криогенные машины (ГКМ), недостатком которых является значительное энергопотребление, а также механические и электромагнитные помехи.

Работу аппаратуры на борту микроспутника отличает отсутствие единой системы термостатирования, крайне ограниченное энергообеспечение, жесткие ограничения по массе и габаритам, а так-

же по вибрационным, электрическим и радиочастотным помехам. Кроме того, для коммерческой привлекательности эксплуатации спутника необходим большой ресурс работы аппаратуры (5...8 лет и более) и жесткие ограничения ее стоимости.

Особенностью разрабатываемого ИК-сканера является то, что он предназначен для установки на ИСЗ, работающем на солнечно-синхронной орбите, на которой рабочему времени съемки предшествует переориентация спутника, а съемка одного района ограничена несколькими десятками секунд (до минуты). То есть, мы имеем нетипичный для ГКМ режим работы, когда время охлаждения ФПУ (3...10 мин) существенно больше сеанса работы ИК-сканера.

Возможным вариантом исключения всех указанных трудностей является использование аккумулятора холода, который позволит ИК-сканеру работать в пассивном режиме охлаждения за счет накопленного заранее «запаса холода». Но при сравнении различных систем необходимо учитывать все обслуживающие подсистемы, в том числе недооцениваемую разработчиками ИК-аппаратуры систему термостабилизации ГКМ, которая должна исключать возможные переохлаждения либо перегревы машины при длительных перерывах в ее работе.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ КРИОСТАТИРОВАНИЯ

Для определения наиболее эффективной системы криогенного обеспечения (СКО) были рассмотрены схемы, включающие в свой состав криостат с термоаккумулятором (ТА), теплоемкость которого увеличена за счет использования рабочих веществ, имеющих фазовые переходы в температурном диапазоне, соответствующем рабочей температуре ФПУ.

В качестве наиболее энергоемких фазовых переходов были рассмотрены процессы плавления и испарения криогенных веществ и их смесей. В качестве веществ, обеспечивающих температуру охлаждения в диапазоне 75...85 К, были рассмотрены азот, аргон, кислород, окись углерода и метан. Следует отметить, что использование теплоемкости металлов либо органических веществ менее эффективно, так как их теплоемкость при рабочих температурах много меньше теплоемкости для достижения этих температур. Кроме того, из-за различия коэффициентов термического расширения термоаккумулирующего вещества (особенно при использовании фазовых переходов) и материала конструкции криостата возникают существенные трудности при передаче тепла от ФПУ к теплоемкому веществу ТА.

Упрощенная схема системы криогенного обеспечения с ТА испарения представлена на рис. 1. Основным источником криогенного охлаждения является компрессор 2 и охладитель 1 ГKM, работающей по обратному циклу Стирлинга. ФПУ с холодной диафрагмой 7 вместе с рабочим сосудом ТА 8 размещены в высоковакуумном криостате 6. Объем ТА соединен трубкой 9 с сильфонным ресивером 10, объем которого может изменяться под действием электропривода 11. Для отвода тепла от ГKM предусмотрены радиационный теплообменник 5 и ТА ГKM 3, соединенные тепловыми трубами 4. Для контроля состояния и управления приводами СКО предусмотрен блок управления и питания 12. В качестве рабочих веществ системы использованы: гелий — как рабочее тело ГKM, азот — для ТА криостата, водный раствор ЛЗТК — для ТА ГKM, аммиак — для тепловых труб.

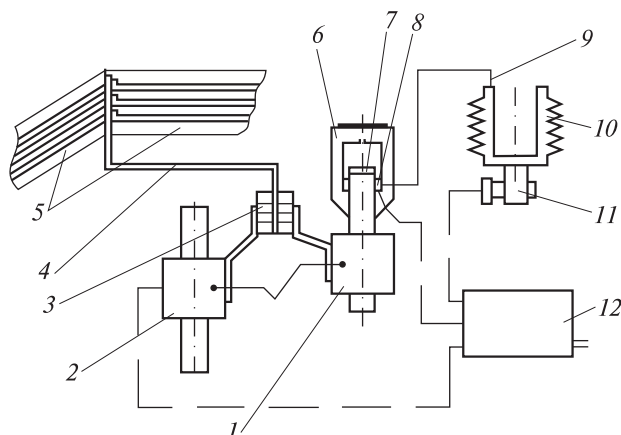


Рис. 1. Упрощенная схема системы криогенного обеспечения: 1 — охладитель, 2 — компрессор, 3 — термоаккумулятор ГKM, 4 — тепловые трубы, 5 — радиационный теплообменник, 6 — высоковакуумный криостат, 7 — ФПУ с холодной диафрагмой, 8 — термоаккумулятор ФПУ, 9 — соединительная трубка, 10 — сильфонный ресивер, 11 — электропривод, 12 — блок управления и питания

Конструкция криостата, к которой предъявляются противоречивые требования сведения к минимуму теплопритоков и оптического позиционирования ФПУ, представлена на рис. 2. На нем корпус криостата 1 жестко связан с фланцем цилиндра 3 охладителя ГKM и окружает поршень-вытеснитель 4. Расширенное доньшко цилиндра охладителя одновременно является доньшком емкости ТА, которое имеет внутри теплоотводящие ребра 7. На этом доньшке закреплены на тепловой контакт ФПУ 12 в виде двух линеек типа Mercury LW либо матрицы Saturn SW фирмы SOFRADIR. Для уменьшения теплового потока от корпуса и входного окна 8 последнее имеет отражательную маску 9, а к емкости ТА прикреплен тепловой экран 10 с отверстием для полезного сигнала, который выполняет роль диафрагмы. Для соединения объема ТА с внешним ресивером имеется соединительная трубка 15, а для вакуумирования изоляционной полости криостата предусмотрен откачной штенгель 16 и геттерный вакуумный насос 17.

Корпус криостата выполнен из нержавеющей стали, которая обеспечивает минимальные газоотделение и газопроницаемость конструкции.

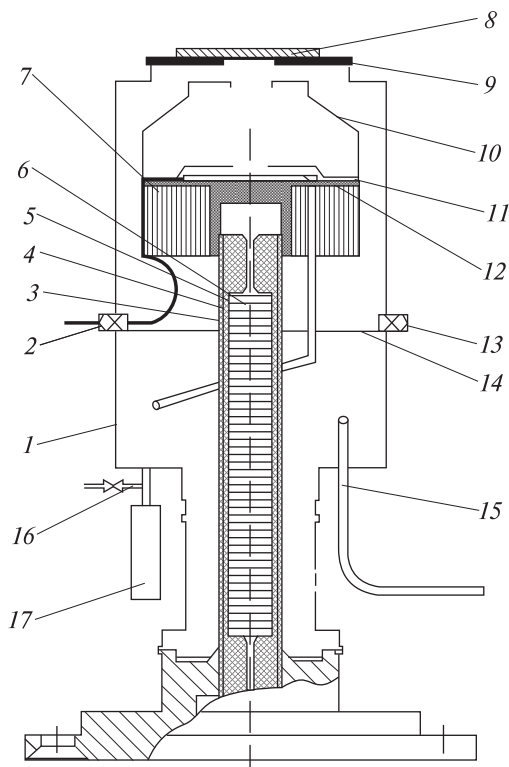


Рис. 2. Схема конструкции криостата: 1 — корпус криостата, 2 — разъем ФПУ, 3 — цилиндр, 4 — поршень-вытеснитель, 5 — зазор, 6 — насадка генератора, 7 — тепловые ребра, 8 — входное окно, 9 — отражательная маска, 10 — тепловой экран, 11 — тепловой экран, 12 — фотоприемное устройство, 13 — разъем ТА ФПУ, 14 — разъем корпуса, 15 — соединительная трубка, 16 — откачной штенгель, 17 — геттерный насос

Холодный экран изнутри имеет черное покрытие для поглощения бликов теплового излучения, а снаружи отполирован для сведения к минимуму теплопритоков излучением. Все провода от ФПУ выполнены из материала с большим термическим сопротивлением и закрыты тепловыми экранами.

Система криогенного обеспечения работает следующим образом (рис. 1). Исходное температурное состояние криостата, ГKM и ТА ГKM определяется тепловым балансом тепловых потоков от Солнца, Земли, элементов ИСЗ и отводом тепла в космическое пространство. За 15... 20 мин до сеанса работы ИК-сканера через блок 12 подается регулируемое электропитание на привод компрессора 2 ГKM. По мере охлажде-

ния головки охладителя 1 ГKM охлаждается емкость ТА 8 и газообразный азот, который, сжижаясь, освобождает объем для азота из внешнего ресивера 10. Для уменьшения потребляемой мощности ГKM при конденсации азота сильфон поджат приводом 11. Для обеспечения времени до начала ИК-съемки азот переохлаждается на несколько градусов ниже рабочей температуры ФПУ. Затем компрессор ГKM выключают, а при повышении температуры ФПУ до рабочих значений блок управления включает мало-мощный привод 11 для удержания давления в азотном контуре ТА 8 и стабилизации температуры охлаждения ФПУ. После окончания сеанса ИК-съемки охладитель отогревается за счет теплопритоков, а ТА ГKM 3 и диодная труба 4 удерживают корпус компрессора и охладителя в ограниченном диапазоне температур.

Усложняющим конструкцией фактором является необходимость разделения жидкой и паровой фаз для отведения последней из объема ТА 8 в условиях невесомости. В рассмотренной схеме предполагалось использовать для разделения фаз свойство смачивания криогенными жидкостями металлических поверхностей теплопроводящих ребер, но, как запас, на указанные потери предусмотрено дополнительно 5...10 % жидкости от расчетного объема.

В качестве альтернативы описанной системе была рассмотрена СКО с аккумулятором плавления, использующим в качестве рабочего вещества газовую смесь аргона и кислорода. В такой системе нет проблем с разделением конденсированной и паровой фаз в ТА, так как плавление рабочего вещества происходит при давлении, удерживаемым самим процессом фазового перехода. Схема системы может быть принята аналогичной представленной на рис. 1, но вместо ресивера с изменяющимся объемом может быть использован баллон небольшого объема. Схема с аккумулятором плавления не требует механического привода, а величину объема ресивера определяет давление хранения необходимой газовой смеси при максимальной температуре конструкции. Однако из-за того что величина скрытой теплоты плавления в 4...5 раз меньше теплоты испарения, возрастает количество аккумуля-

мулирующего вещества и потребление энергии для начального охлаждения ТА.

Для сравнительного анализа СКО с ТА была рассмотрена схема непосредственного охлаждения ФПУ со сплит-охладителем на основе пульсационной трубки. Такая комплектация сводит к минимуму вибрации непосредственно охладителя, механически связанного с ФПУ, но остается механическая связь с компрессором и остаются все проблемы энергопотребления и выхода системы на температурный режим, как по времени, так и по потребляемой электрической мощности. Криостат без ТА может быть уменьшен в размерах, исчезает теплый ресивер, но все равно требуется система охлаждения компрессора и охладителя для бортовой работы, а следовательно, разработка радиационного теплообменника и ТА для термостабилизации ГKM.

В предлагаемой схеме использован угловой радиатор, частично освещаемый Солнцем для исключения переохлаждения ГKM, а стабилизация температуры ФПУ обеспечивается малоомощным приводом, сжимающим сильфон и поддерживающим необходимое давление азота. При этом для надежности теплый ресивер конструктивно выполнен из стандартного сильфона с цилиндрической вставкой, уменьшающей объем системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ СИСТЕМЫ КРИОГЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

При проведении оценочных расчетов агрегатов СКО были использованы характеристики известных ГKM и ФПУ, поставляемых на рынок специализированными фирмами, а также характеристики агрегатов и систем, разрабатываемых и изготавливаемых с участием ЦКБ «Арсенал» и НТЦ «Криокосмос».

Агрегатом, определяющим энергетические характеристики системы, является криостат, который должен работать в режиме начального охлаждения ФПУ и активной ИК-съемки. В случае использования ТА к активному периоду должно быть отнесено и время пассивного ожидания съемки.

Для вариантов СКО, рассчитанных на 2.0 и 2.7 мин пассивного охлаждения ФПУ (60 или 100 с ожидания и 60 с работы ИК-сканера), объем рабочей емкости ТА криостата был принят равным 1.45 см^3 с учетом 10 % парового объема и 10 % объема жидкости для компенсации ее выплеска в условиях невесомости. Также предполагалось, что до 20 % объема рабочей полости ТА заняты системой теплоотводящих ребер. Масса охлаждаемой конструкции ТА и ФПУ в медном эквиваленте равна $m_{\text{Cu}} = 5 \text{ г}$. Рабочая температура ФПУ была принята равной $T_1 = 77...80 \text{ К}$, а наружного корпуса криостата — $T_2 = 300 \text{ К}$. Размеры головки и поршня охладителя равнялись соответственно $\varnothing 13 \times 0.22 \text{ мм}$ и $\varnothing 12.5 \times 0.16 \text{ мм}$, что соответствует габаритам ГKM модели Thales. Диаметр самого криостата 35...40 мм, а диаметр теплового экрана 25...30 мм. Размеры прозрачной для ИК-излучения щели в окне криостата приняты равными $2.1 \times 27 \text{ мм}^2$ для двух линеек Mercury и $7.5 \times 28 \text{ мм}^2$ для матрицы Saturn.

При таких исходных данных расчетные величины тепловых потоков теплопроводностью составили на период ожидания ИК-съемки 0.95...1.00 Вт. Самый большой вклад (около 80 %) в указанный поток дает проводимость нержавеющей трубок охладителя ГKM. Для сравнения, теплоприток по соединительной трубке ($\varnothing 2 \times 0.2 \text{ мм}$) ТА с внешним ресивером равняется 0.058 Вт, теплоприток по сигнальным проводам ФПУ, с учетом оговоренного в проспекте фирмы количества проводов 16×2 , — 0.084 Вт, а тепловой поток через регенератор принят на уровне 0.08 Вт.

Расчет теплового потока излучением был выполнен в предположении, что степень черноты внутренней поверхности корпуса криостата $\varepsilon_2 = 0.3$, а холодные поверхности экрана и ТА, обращенные к корпусу, имеют степень черноты $\varepsilon_2 = 0.02$. Входное окно криостата считалось закрытым отражательной оптической маской, в которой открытой оставалась только рабочая щель, пропускающая ИК-сигнал. При этом тепловые потоки излучением от боковой поверхности экрана к ТА составляли 0.03 Вт, а по задней части ТА и цилиндру ГKM — на уровне 0.02 Вт, по защитной маске окна криостата —

0.006 Вт; по оптической щели — 0.03 и 0.11 Вт. Общий поток тепла излучением составляет 0.095 и 0.102 Вт, а суммарный тепловой поток на термоаккумулирующее вещество в режиме ожидания был оценен в 1.00...1.05 Вт, что соответствует количеству теплоты за минуту $Q_p = 63$ Дж.

Теплоприток к ФПУ и криогенной части криостата, поглощаемый рабочим веществом ТА в период активной работы ИК-сканера, увеличивается на джоулево тепловыделение при прохождении электрического тока через элементы, провода и контакты ФПУ. Исходя из данных фирмы-разработчика, эта величина нами оценена на уровне 0.2...0.3 Вт.

При расчетах времени охлаждения криостата были использованы экспериментальные характеристики реальных ГKM типа LSF 9599 (кривые 1, 2) фирмы Thales и отечественных охладителей (3), которые приведены на рис. 3. Характеристики даны для температуры окружающей среды 23 °С, напряжения питания 7, 9, 11 В и потребляемой мощности 40 и 60 Вт. Параметры сильно зависят от температуры охлаждения и соответствуют общей потребляемой электроэнергии 40...50 Вт, что является средними показателями для

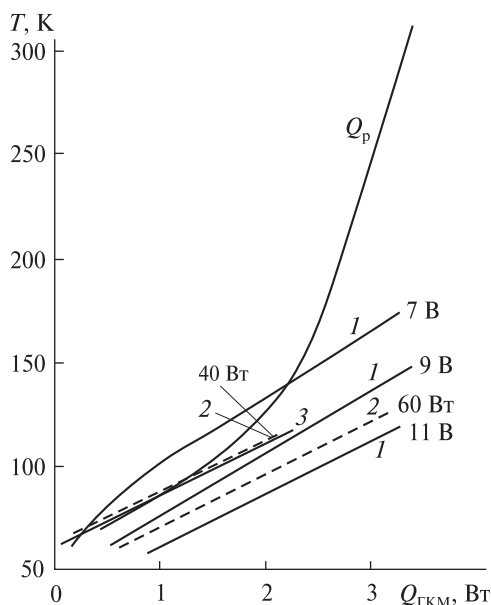


Рис. 3. Холодопроизводительность газовой криогенной машины (см. текст)

машинных охладителей холодопроизводительностью 0.7...1.3 Вт. При расчетах времени охлаждения показатель Q_p дополнительно уменьшен на 10...15 %, с учетом снижения характеристик ГKM после пяти лет работы.

Количество тепла и время начального охлаждения криостата с ФПУ определялись как сумма промежутков времени для понижения температуры в интервалах, для которых рассчитывались средние значения теплоемкости материалов конструкции и теплоты фазовых переходов рабочего вещества. Так, на охлаждение криостата от 300 до 100 К необходимо 3 мин, на понижение температуры от 100 до 80 К — 3.2 мин, а на охлаждение от 80 до 74 К — 6.3 мин. При расчете постоянно уточнялось давление паров азота в контуре ТА с учетом объема внешнего ресивера. Начальное давление в контуре азота принято равным 0.2 МПа, а конечное, соответствующее 74 К, — 500 Торр. Расчет геометрических размеров конструкции ресивера был проведен при использовании сильфона с 12 гофрами, наружным диаметром 160 мм, длиной 140 мм и внутренней вставкой диаметром 128 мм. Общее растяжение (сжатие) сильфона на 24.7 мм дает изменение объема ресивера на 407 см³.

Общее время охлаждения криостата и конденсации азота составляет 12.5 мин, но необходимо еще учесть время на охлаждение конструкции самой машины, которое составляет 3...4 мин, а учитывая возможные ограничения по допустимому току и превышения температуры теплоотвода от ГKM, это время увеличено до $\tau = 18$ мин.

Результаты проведенного расчета приведены на рис. 4, где тепловая нагрузка в первые 60 и 100 с принята на уровне 1.05 Вт, а в последующее время активной работы $q_i = 1.3$ Вт. На графике даны изменения температуры T , давления P и массы азота $m_{\text{ж}}$ в криостате и во внешнем ресивере $m_{\text{г}}$. Видно, что подсистема стабилизации температуры ГKM может обеспечить работу ФПУ в течение $\tau_a = 60$ с после технологического, пассивного ожидания $\tau_p = 60...100$ с при изменении равновесного давления азота 98.1 Торр/К.

Надежная и гарантированная работа ГKM предполагает ее включение и эксплуатацию в жестких температурных рамках и не допускает

даже в выключенном состоянии выход за оговоренные рамки температур хранения. Решение этой задачи возможно только с учетом четкого знания программы полета, средней температуры элементов аппаратуры и ориентации КА относительно Солнца и Земли. Поэтому целью расчета была только оценка необходимых площадей для радиационного отвода тепла и возможностей подсистемы на удержание температурного диапазона хранения ГKM.

Как видно из схемы системы криогенного обеспечения (рис. 1) и возможной компоновки ИК-сканера, охлаждение компрессора и охладителя предлагается осуществлять через ТА ГKM, соединительные тепловые трубы и радиационный теплообменник. Исходя из расчетов, предлагается использовать радиационный теплообменник площадью 0.12 м^2 ($700 \times 17.2 \text{ мм}^2$), а избыточное количество тепла отводить ТА и теплоемкостью металла корпуса машины. При расчетах исходили из более жесткого диапазона температур работы ГKM от -20 до $+30^\circ\text{C}$ и времени работы ГKM $15 \dots 20$ мин при среднем потреблении в диапазоне $50 \dots 60$ Вт за сеанс. Охлаждаемая масса машины принята равной 3 кг , а теплоприток от нее в пассивном режиме — около 10 Вт. Также было принято, что в период работы ГKM на радиационный теплообменник не попадает излучение от Солнца, а тепловой поток от Земли составлял 100 Вт/м^2 .

Объем ТА ГKM принят равным $V_{\text{ТА}} = 0.3 \text{ дм}^3$, из которых 0.25 дм^3 занято водным раствором ЛЗТК, затвердевающим в диапазоне температур $270 \dots 240 \text{ К}$ и исключающим нарушение герметичности сосуда при затвердевании. Теплота плавления (затвердевания) раствора в диапазоне температур $270 \dots 250 \text{ К}$ принята равной 300 Дж/г .

Оценочные расчеты излучательной способности радиационного теплообменника проводился по формуле Стефана — Больцмана, причем степень черноты излучающей поверхности принималась равной $\epsilon = 0.9$, а максимальная фоновая засветка излучением Земли — 12 Вт . Тепловые расчеты показали, что ГKM со средней потребляемой мощностью $40 \dots 60 \text{ Вт}$ за один цикл охлаждения криостата отдает от 44280 до

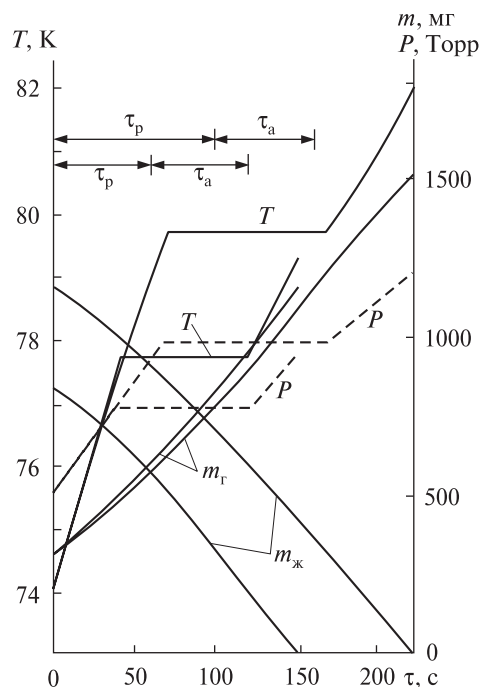


Рис. 4. Расчетные характеристики криостата (см. текст)

66420 Дж тепла. В то же время радиационный теплообменник в принятом диапазоне температур может отвести от 25.5 до 52.5 Вт тепла при отсутствии подсветки Землей, а при наличии подсветки — от 13.5 до 40.5 Вт . Это значит, что даже при температуре теплоотвода $+30^\circ\text{C}$ радиационный теплообменник не всегда может обеспечить прямой отвод тепла без использования теплоемкости ТА, которая накапливается во время длительных пауз в работе ГKM. Предварительно охлажденный ТА может обеспечить средний за цикл отвод тепла от работающей ГKM в $50 \dots 70 \text{ Вт}$. Расчетное время замораживания ТА может составлять $\tau = 81$ мин при отсутствии засветки радиационного теплообменника тепловыми потоками от Земли и Солнца. При засветке 50% времени тепловым потоком от Земли это время увеличивается до $\tau = 104$ мин. Наличие в ТА частично отвердевшего рабочего раствора ЛЗТК уменьшает тепловое излучение радиатора до уровня 25 Вт , что в основном покрывают теплопритоки от неработающей ГKM.

Для исключения возможности переохлаждения ТА целесообразно рассмотреть возмож-

ность подвода к радиатору небольшого количества тепла от других агрегатов и приборов ИСЗ, имеющих тепловыделение на уровне 10...20 Вт, например объектива сканера, имеющего значительные размеры и тепловые связи с рамой ИСЗ. Подогрев ТА можно обеспечить освещением радиационного теплообменника Солнцем за счет использования систем управления и ориентации ИСЗ. Одним из решений задачи исключения переохлаждения ТА может быть размещение радиационного теплообменника на освещаемой Солнцем стороне ИСЗ, но радиационный теплообменник должен иметь покрытие, имеющее значение отношения $A_s/\epsilon_n = 0.3...0.4$ при $\epsilon_n \approx 0.9$.

Оценка СКО с ТА испарения дала общую массу в 10.9 кг, из которых масса криостата — 0.25 кг, ГKM — 3.1 кг, система тазового ресивера — 3.3 кг, система термостатирования ГKM — 3.6 кг, блок управления — 0.6 кг, рама — 0.3 кг.

Система прямого охлаждения может иметь массу минимум на 4 кг меньше, и время ее работы на одну ИК-съемку может быть сокращено в 2...3 раза. То есть устранение механических и электромагнитных помех от работы компрессора, а также разнесение во времени активной работы ГKM и ИК-сканирования может быть реализовано, но требует дополнительных массы и энергопотребления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для использования ИК-сканеров на борту микроспутников может быть использована система криогенного охлаждения с ТА испарения, которая может быть заранее охлаждена и обеспечивать работу ИК ФПУ в пассивном режиме. Но такая система требует дополнительной массы и энергопотребления. Поэтому при использовании такой системы необходимо четко оценивать особенности ее работы и рассматривать возможность альтернативных решений. Особое внимание следует уделять системе термостабилизации

активной ГKM в условиях космического полета. Потенциал предприятий Украины пока еще вполне достаточен для реализации предложенных систем.

1. *Справочник по физико-техническим основам криогеники* / Под ред. М. П. Малкова. — М.: Энергия, 1973. — 392 с.
2. Mullie J., van der Groep W., Bruins P., et al. Improvement of cooldown time of LSF 9599 flexure-bearing sata cooler // Proc. SPIE. — 2006. — **6206**. — doi:10.1117/12.664840.

Стаття надійшла до редакції 10.10.13

С. О. Засуха, О. Л. Макаров, М. І. Лихоліт,
Л. П. Семенов, Ю. О. Меленевський, В. Т. Архипов

ОСОБЛИВОСТІ КРИОГЕННИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ДЕТЕКТОРІВ ІЧ-СКАНЕРІВ ДЛЯ МІКРОСУПУТНИКІВ

Розглянуто різні системи охолодження приймачів ІЧ-сканера, призначеного для роботи в повторно короткочасному режимі на борту малих ШСЗ. Показано, що одним з варіантів системи криостатування сканера може бути схема з акумулятором випаровування, що дозволяє охолоджувати детектори в пасивному режимі, тобто при непрацюючій газовій криогенній машині (ГKM). Така система вимагає додаткових мас і енергоспоживання, але дозволяє рознести в часі роботу ГKM і власне ІЧ-сканування. Розглянуто особливості роботи системи тепловідведення від ГKM на малих ШСЗ, що працюють на сонячно-синхронній орбіті.

S. A. Zasukha, A. L. Makarov, N. I. Lykholit,
L. P. Semenov, Y. A. Melenevskiy, V. T. Arkhipov

SOME FEATURES OF CRYOGENIC COOLING SYSTEMS OF INFRARED SCANNER DETECTORS FOR MICROSATELLITES

We considered different cooling systems of the IR scanner designed for the use in intermittent duty aboard small satellites. It is shown that one of the system types can be a cryostatting scanner with an evaporation accumulator for cooling the detectors in a passive mode, i.e., at the disconnected gas cryogenic machine (GCM). Such a system requires additional mass and power consumption but allows one to separate in time the work of the GCM and IR scanning. We consider some features of the system of heat removal from the GCM for small satellites operating on Sun-synchronous orbits.

Л. Ю. Вергун¹, В. Я. Черняк¹, О. А. Недибалюк¹, С. Г. Орловська², Ф. Ф. Карімова², М. С. Шкоропад²¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка² Одеський національний університет імені І. І. Мечнікова

КОНФОРМАЦІЙНІ ЗМІНИ В СТРУКТУРІ ТВЕРДОГО ПАРАФІНОВОГО ПАЛИВА НА ПОЧАТКОВОМУ ЕТАПІ ЙОГО СПАЛЮВАННЯ

Досліджуються фізичні механізми змін в структурі твердих n-парафінів, що застосовуються як сировина для ракетного палива на початковому етапі їхнього спалювання. Запропоновано новий елемент в конструкції ракетного двигуна для інтенсифікації розпилення палива, а також для попередження виникнення загрози вибуху. За допомогою експериментального стенда для вивчення процесів горіння в потоці, визначено вплив активних центрів на швидкість горіння і висоту полум'я n-парафінів.

ВСТУП

Одним із важливих питань при удосконаленні режимів спалювання та конструктивних елементів космічних апаратів, що використовують парафіноподібне паливо, є дослідження структурних перетворень ланцюгових структур протягом цього процесу. Раніше [2–4, 13] було виявлено проміжну фазу плавлення ламелярних кристалів — одного з представників таких структур. Причина утворення цієї фази пов'язана з наявністю у кристалічній ґратці специфічних дефектів — супервакансій. Це порожнина, поздовжні розміри якої дорівнюють поздовжнім розмірам ланцюгових молекул, а поперечні — відстані між цими молекулами. На рис. 1, а, б зображено ідеальний ланцюговий кристал та кристал, що містить супервакансії (SV).

Як зазначено у роботах [3–5], у процесі плавлення область супервакансій заповнюється неупорядкованим матеріалом. Формування неупорядкованого матеріалу відбувається за рахунок конформаційних змін ланцюгів молекул, що оточують супервакансію. На рис. 1, в зображено супервакансію у ґратці ламелярного кристалу, в об'ємі якої розташовані ділянки ланцюгових молекул.

У такому типі ланцюгових структур, як було зазначено в роботах [5, 13], число супервакансій зростає з температурою. Із збільшенням кількості супервакансій збільшується також і кількість областей, заповнених неупорядкованим матеріалом. При цьому відбувається руйнування ґратки, структура такої зруйнованої системи характеризується тим, що навіть при розпорядкуванні ланцюгів спостерігається орієнтаційний порядок. На рис. 2 зображено модель згаданої системи. Наведену на рис. 2 структуру спрощено можна розглядати як двокомпонентну систему, що складається з твердої та рідкої фаз. Для визначення кількісного співвідношення між цими фазами в роботах [6, 11] було запропоновано вираз

$$1 + \frac{C_F}{15\{1 - [C_F v_F + 0.5(1 - C_F)]\}} \left(\frac{G_F}{G^*} - 1 \right) + \frac{1 - C_F}{1 - \frac{2\{4 - 5[C_F v_F + 0.5(1 - C_F)]\}}{15\{1 - [C_F v_F + 0.5(1 - C_F)]\}}} = 1,$$

де C_F — кількість твердої фази, G_F та G^* — модулі зсуву твердої фази та суміші, що містить тверду та рідку фази, v_F — коефіцієнт Пуассона твердої фази протягом плавлення.

Як відомо, одним із головних параметрів, що характеризують спалювання будь-якого палива, є розмір краплини. При визначенні оптималь-

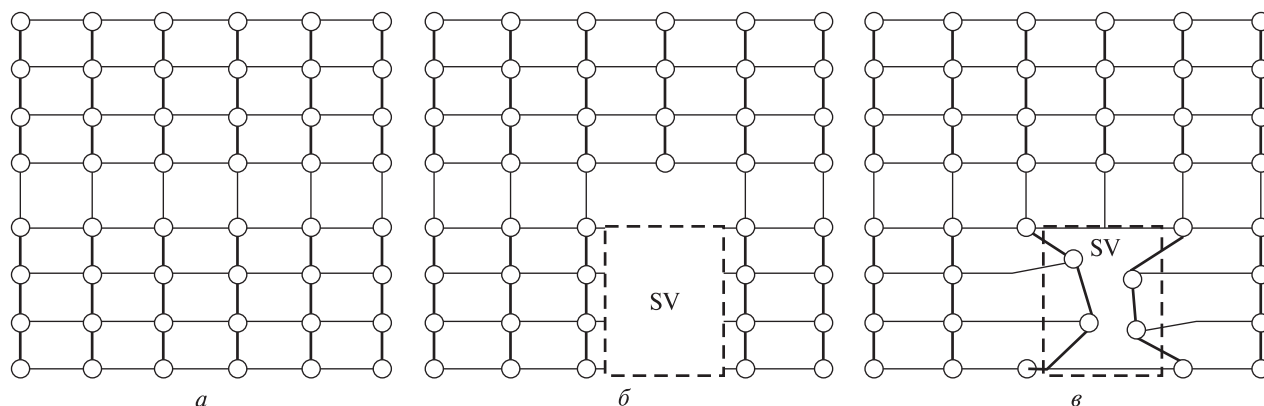


Рис. 1. Модель ламелярного кристалу: *a* — кристал без дефектів, *б* — кристал із супервакансією SV у ґратці, *в* — кристал із супервакансією, наповненою неупорядкованим матеріалом

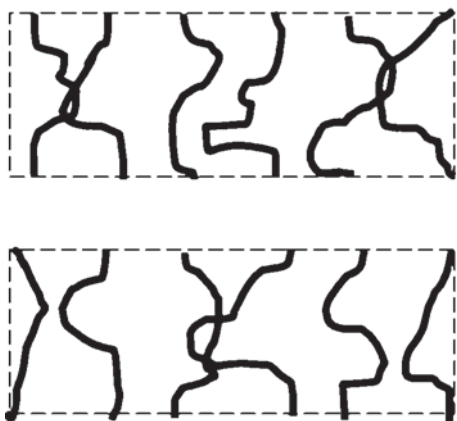


Рис. 2. Модель ланцюгової системи, у якій при значній розпорядкованості є орієнтаційний порядок

них умов спалювання парафінового палива встановлення характеру зміни цього параметра від зовнішніх чинників (тиску, температури та ін.) відіграє важливу роль.

У роботах [1, 12] висунуто гіпотезу про те, що в залежності від складу парафінової твердої суміші розпилення може відбуватись за рахунок утворення на поверхні розплаву капілярних хвиль або внаслідок втрати стійкості поверхневого шару при стискній дії окислювача.

МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Для інтенсифікації спалювання твердого парафіноподібного палива в роботі [14] було запро-

поновано використання плазмової дуги. Для цієї мети було створено експериментальну установку (див. рис. 3).

Фізичну модель, за якою відбувається спалювання твердого парафіноподібного палива в двигунах космічних апаратів спрощено представлено на рис. 4, *a*. Окислювач 1 проходить через запалювальний пристрій 2, а далі по каналу у стержні твердого парафіну створює факел полум'я 3. У процесі спалювання парафіну молекулярна система є сукупністю твердої та рідкої фаз. За структурою згадану систему можна поділити на декілька зон: 4 — зона, в якій переважає тверда фаза, тобто $G^* \approx G_F$, 5 — зона, в якій твердої фази немає або її доля мала ($G^* \ll G_F$), 6 — зона випаровування, з якої краплини або частки потрапляють в зону горіння.

Як відомо [7], горіння рідких палив відбувається за рахунок проходження рідкого палива через отвір в газове середовище, де і протікає горіння. Випаровування краплин і дифузія в газове середовище призводять до утворення горючої суміші, що спалахує при досить великій температурі. В газовому середовищі, що містить щільний аерозоль, потрібно враховувати взаємодії між окремими краплинами. Системи з щільними аерозолями характерні для ракетних двигунів. Для останніх актуальним є застосування надійного моделювання, що призведе до скорочення складних експериментів в умовах, наближених до умов роботи космічних апаратів [7, 10].

Одним із негативних наслідків горіння рідкого палива є зменшення інтенсивності або відсутність полум'я на стінках конструктивних елементів та між щілинами у місцях з'єднання. Втрата тепла, а саме охолодження зони реакції, перенесення проміжних компонентів (вільних радикалів) за рахунок поверхневих реакцій у процесі спалювання пального є причиною зникнення полум'я.

Саме експериментальному дослідженню механізмів зменшення ефективності полум'я, що утворюється внаслідок спалювання парафіноподібного палива, присвячено дану роботу.

Об'єктами дослідження були н-парафіни: докозан $C_{22}H_{46}$ (виробник — Новочеркаський завод синтетичних продуктів; марка докозану ч (чистий); його характеристику приведено в технічних умовах МРТУ 6-09-3184-04), октадекан $C_{18}H_{38}$ (виробник — Новочеркаський завод синтетичних продуктів; марка докозану ч (чистий); його характеристику приведено в технічних умовах МРТУ 6-09-3180-66).

Експеримент проводився таким чином. Розплавленим парафіном наповнювалась комірка між двома сітками, що утворювали порожній циліндр (див. рис. 4, б). Були використані наступні зразки, що слугували розпилювальними вкладками. Надалі двошаровий циліндр 7 і 8 разом із застиглим парафіном встановлювався горизонтально у експериментальній установці, як це зображено на рис. 4, в. При цьому позиція 3 відповідає каналові, де утворюється факел полум'я. У процесі горіння твердий парафін утворює три шари 4, 5 і 6 в залежності від відстані від каналу 3.

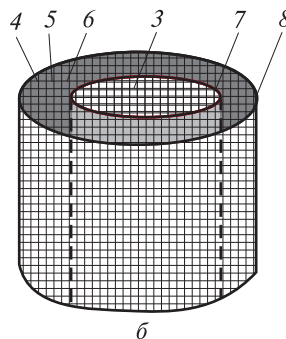
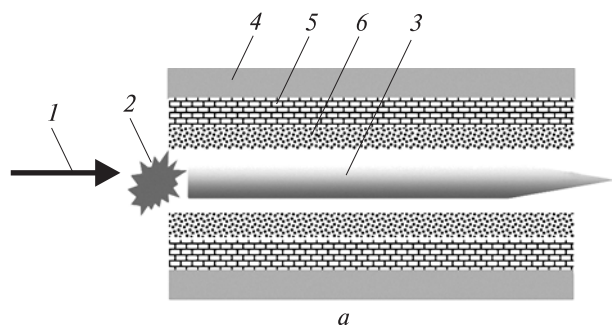


Рис. 4. Схема спалювання твердого парафіноподібного палива: 1 — окислювач, 2 — запалювальний пристрій, 3 — факел полум'я, 4 — зона, в якій переважає тверда фаза, 5 — зона, в якій твердої фази немає або її доля мала, 6 — зона випаровування

В роботі досліджувалась залежність форми сітки, що утворювали двошаровий порожній циліндр 7 і 8. На рис. 7, а наведено основні характеристики використаних матеріалів.

В ході експерименту на основи (підстилки) накладалась невелика кількість кристалу н-парафінів масою 0.3 ± 0.1 г (рис. 5).

На рис. 6 представлено схему експериментального стенду, що складається з підстилки із досліджуваного матеріалу 1, на яку нанесено твердий зразок н-парафінів 2. В центр такого зразка спрямовано потік теплової енергії із джерела 3 (останнє може бути газовою горілкою, лампою розжарення тощо).

Після нагрівання зразки парафінів (докозан та октодекан) перетворювались на розплав. Після застигання розплав перетворювався на

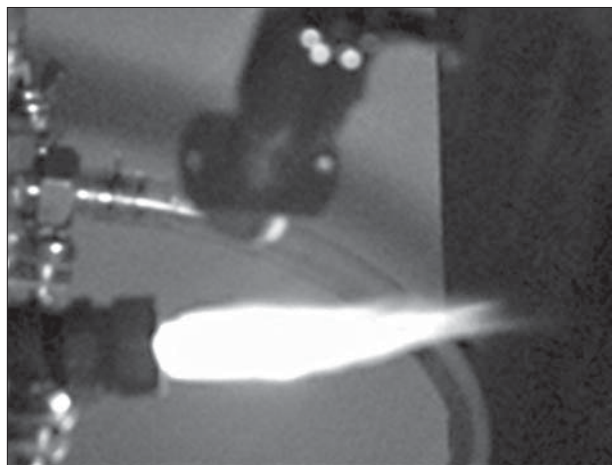


Рис. 3. Плазмова дуга у експериментальній установці

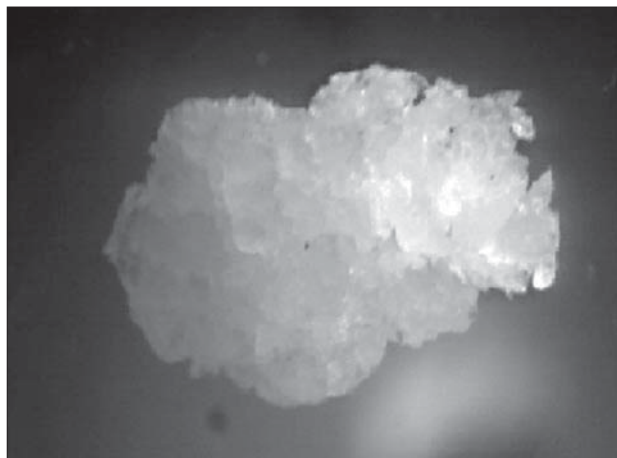


Рис. 5. Кристал із ряду н-парафінів

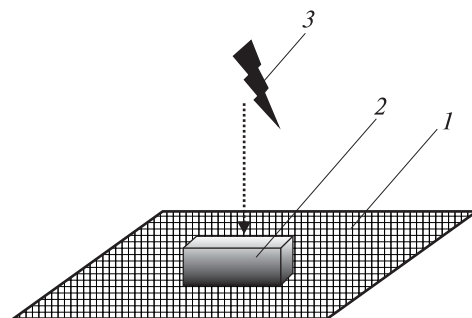


Рис. 6. Спрощена схема експериментального стану: 1 — підстилка із досліджуваного матеріалу, 2 — твердий зразок н-парафінів, 3 — джерело теплової енергії

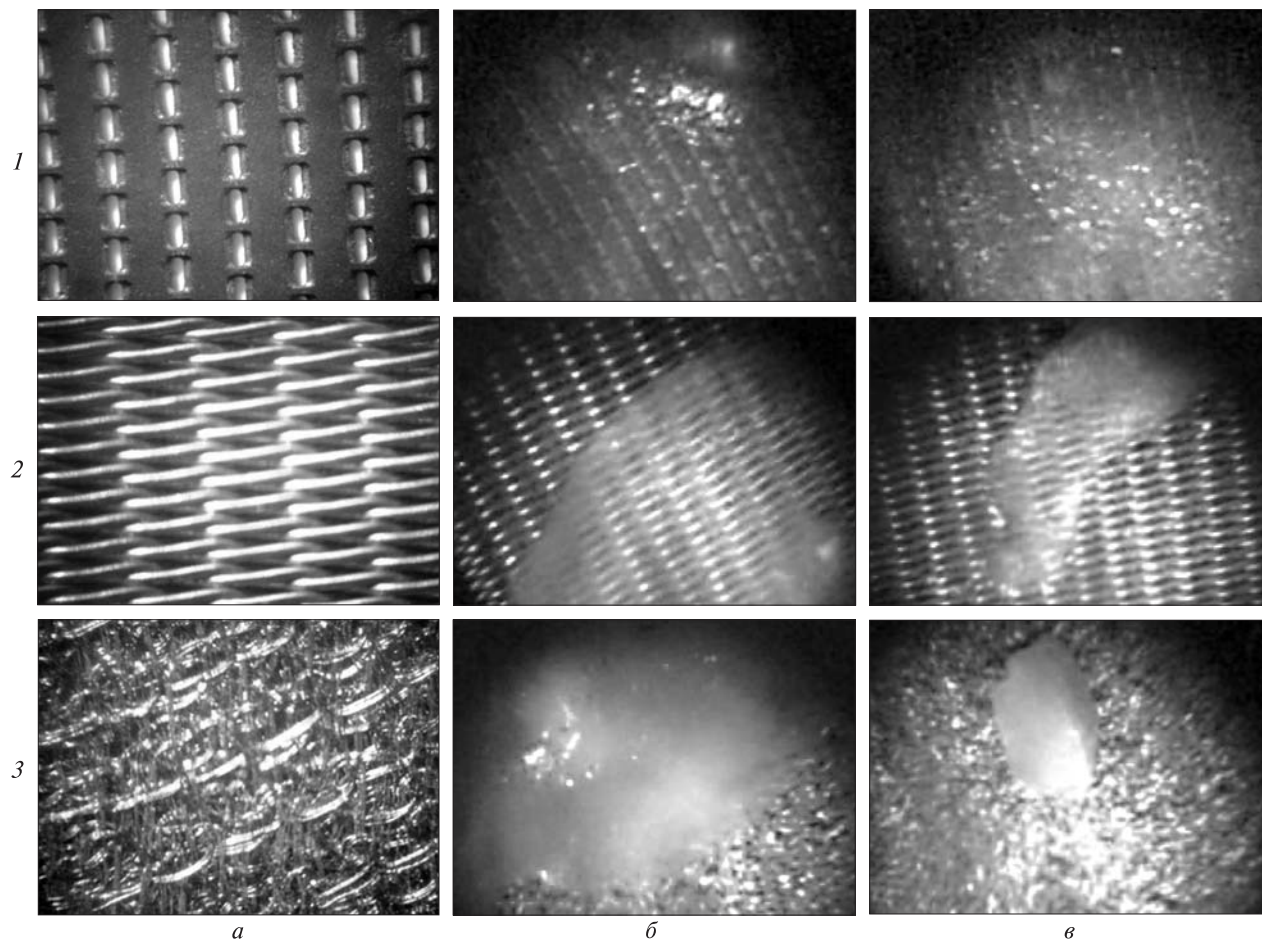


Рис. 7. Чиста підстилка (а), а також розплави докозану (б) та октодекану (в) на підстилках (1 — пластина з прямокутними отворами площею $0.0012 \pm 0.0002 \text{ м}^2$, 2 — дротяна сітка діаметром 3.6 мм, 3 — 2-мм дротяна сітка щільного плетіння)

тверду плівку. Процес фіксувався за допомогою цифрової камери Hercules з програмним забезпеченням Webcam Station Evolution (ліцензована версія 2006 Guillemont Corporation S.A.-2.3.0.0), змонтованій на окулярі лабораторного мікроскопа МБС-9 (відстань між зразком та лінзою складала 71 мм). На рис. 7, б, в показано отримані зображення. Видно, що розплави докозану відрізняються від розплавів октадекану більш щільною структурою. Як відомо з фізики макромолекул, щільність структури є наслідком переплутаності ланцюгів. Така можливість для довголанцюгових молекул виникає внаслідок рухливості окремих сегментів. Для *n*-парафінів — це атомна група CH_2 . Оскільки докозан має більше сегментів, ніж октадекан, він може утворювати в розплаві більше зачеплень [8]. Наявність в докозані ділянок твердої фази, утвореної внаслідок переплутаності ланцюгів, показана в роботі [6], де було отримано зміну кількості твердої фази, визначену за формулою (1). Згадана залежність наводиться на рис. 8. Як видно, плавлення досліджуваного *n*-парафіну супроводжується співіснуванням рідкої та твердої фази. Остання і вказує на виникнення ділянок, структура яких характеризується конфігураційними перебудовами сегментів ланцюгів.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Отримані експериментальні результати дають можливість запропонувати нові елементи в конструкції ракетного двигуна, які б, на наш погляд, запобігали загрозі вибуху.

Як відомо [10], загаснення полум'я на стінках та у щілинах викликано взаємодією останнього зі стінками системи. Охолодження зони реакції відбувається за рахунок поверхневих взаємодій.

Згідно з даними робіт [1, 12] на рис. 9 наведено схему початкового етапу спалювання парафіноподібного палива з урахуванням проміжного періоду (мезоморфної фази). Як видно, плавлення циліндра парафінового палива характеризується тим, що разом з рідкими краплями в зону горіння також поступають частинки, що мають деяку кількість твердої фази (позиція 5а). Утворення такої двокомпонентної системи створює

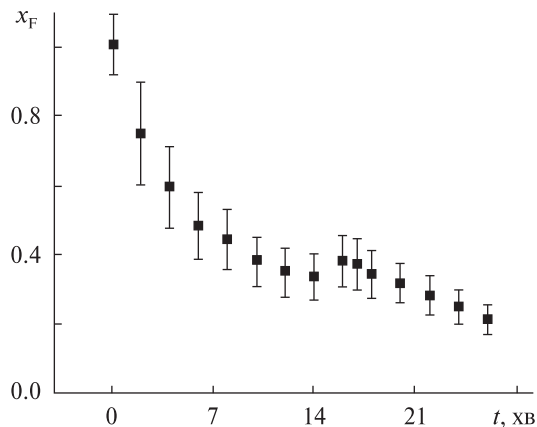


Рис. 8. Часова залежність кількості твердої фази x_F (при температурі в околі температури плавлення докозану 48 °C)

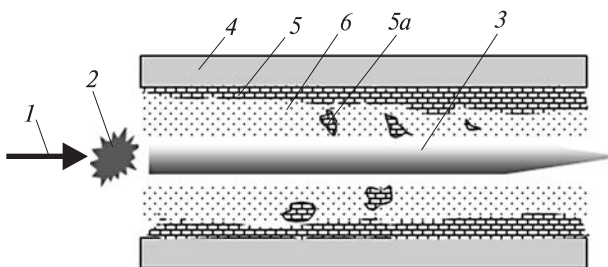


Рис. 9. Зміна структури поверхневого шару твердих *n*-парафінів при спалюванні в каналі гібридного ракетного двигуна

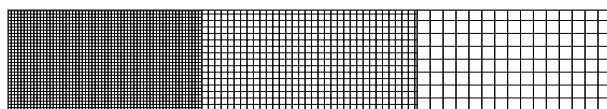


Рис. 10. Спрощена модель сітки для розпилення парафінового палива

додаткові навантаження на нижній шар парафінового циліндру, створюючи загрозу руйнування корпусу двигуна. Згідно з даними роботи [7] хвилі від камери згоряння можуть викликати модуляції потоку повітря, що посилюють осциляції тиску в камері.

Виходячи з вищевикладеного, ми пропонуємо відокремити зону горіння від парафінового стержня металевою сіткою, зони в якій матимуть різну щільність, враховуючи кінетику плавлення

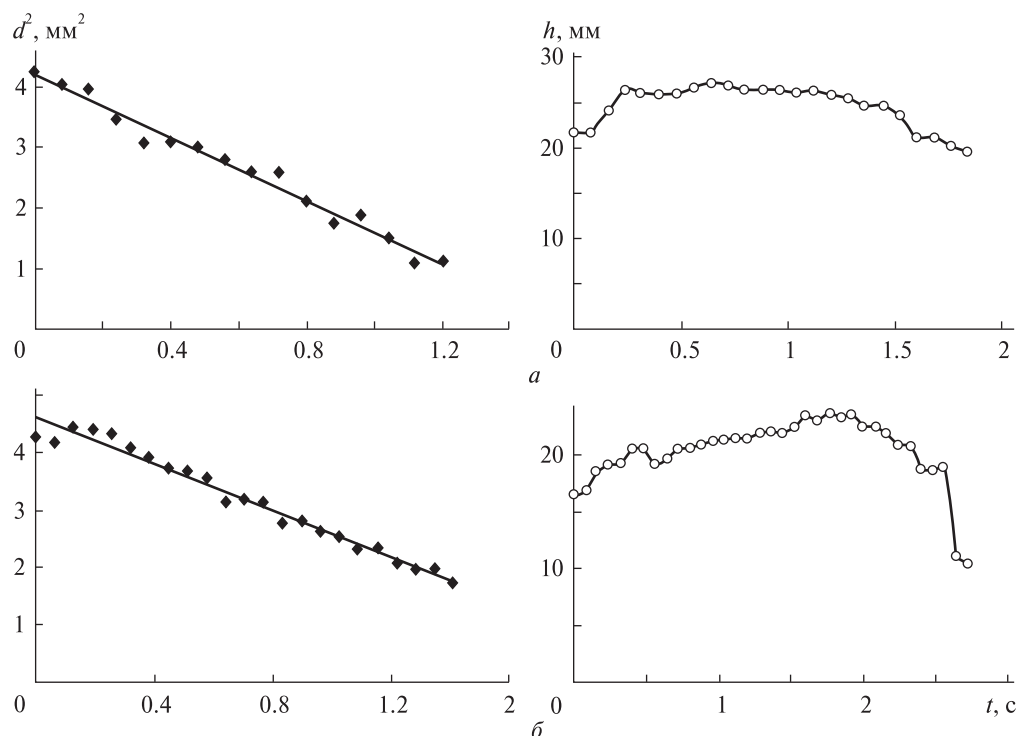


Рис. 11. Залежності квадрата діаметра d^2 краплі та висоти h полум'я від часу: а — для краплі октадекану початкового діаметра $d_b = 2.05$ мм, б — для краплі докозану початкового діаметра $d_b = 2.04$ мм

та випаровування н-парафінів. Таку спрощену модель наведено на рис. 10.

Необхідність створення такої полізонної сітчастої втулки підтверджує експеримент, який був направлений на визначення постійної швидкості горіння поодинокі краплі досліджуваних н-парафінів у повітрі. Експеримент провадився на спеціальному стенді, що дозволяв в режимі реального часу реєструвати параметри парафінової краплі. Обробка цифрових зображень дала змогу отримати залежність квадрата діаметра d_b палаючої краплі та зміну висоти h її полум'я від часу (рис. 11). Експериментальні результати, наведені на рис. 11, дають змогу зробити висновок щодо різного характеру горіння досліджуваних н-парафінів. У порівнянні з стабільною зміною висоти полум'я октадеканової краплини висота полум'я краплини докозану змінюється стрибкоподібно. Стрибкоподібність зміни висоти полум'я є ознакою детонаційного характеру горіння і може створювати загрозу вибуху [9]. За

нахилом залежності діаметра d краплі від часу було отримано значення постійної (швидкості) горіння: $K_{bur} = 2.59$ мм²/с для н-октадекану та $K_{bur} = 1.69$ мм²/с для н-докозану. Максимальна висота полум'я цих краплин становить $h_{max} = 27.2$ та $h_{max} = 23.6$ мм відповідно. Різні значення постійних горіння та висот полум'я для н-октадекану та н-докозану, ймовірно, пов'язані з більшою кількістю сегментів CH_2 у молекулярній будові, і, як наслідок, більшою переплутаністю молекулярних ланцюгів докозану.

ВИСНОВКИ

Досліджено механізм спалювання твердих н-парафінів, які можуть використовуватись як паливо для гібридних ракет. Експериментально встановлено вплив проміжної фази на характер розпилювання парафіноподібних речовин. За допомогою експериментального стенду визначено швидкості горіння та висоту полум'я поодиноких крапель парафінів. Встановлено, що швид-

кість горіння крапель октадекану в 1.5 раза більша, ніж крапель докозану. Отримані результати надають можливість попередити загрозу вибуху при використанні парафінового палива для аерокосмічних апаратів. Для цього запропоновано встановлювати металеву сітку як новий елемент у конструкції двигуна.

1. Актан О. Ю., Забашта Ю. Ф., Черняк В. Я. та ін. Фізичні основи конструювання двигуна на парафіновому паливі для гібридних ракет. Кінетика плавлення і горіння // Космічна наука і технологія. — 2011. — **17**, № 3. — С. 28—33.
2. Булавин Л. А., Актан О. Ю., Забашта Ю. Ф. Статистическая теория плавления складчатых кристаллов, содержащих вакансии // Высокомолек. соед. Сер. А. — 2003. — **45**, № 10. — С. 1684—1688.
3. Булавин Л. А., Актан О. Ю., Забашта Ю. Ф. Возникновение мезоморфной фазы складчатых кристаллов, содержащих вакансии // Высокомолекул. соед. Сер. Б. — 2005. — **47**, № 4. — С. 690—694.
4. Булавин Л. А., Актан О. Ю., Лазаренко М. М. Механізм плавлення ламелярних кристалів із розгалуженими ланцюгами // Укр. фіз. журн. — 2005. — № 9. — С. 952—957.
5. Булавин Л. А., Актан О. Ю., Забашта Ю. Ф. Вакансии в олигомерных кристаллах // Высокомолекул. соед. Сер. А. — 2009. — **51**, № 9. — С. 1023—1031.
6. Булавин Л. А., Актан О. Ю., Забашта Ю. Ф. Измерение модуля сдвига в процессе плавления // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2012. — **78**, № 4. — С. 56—59.
7. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты загрязняющих веществ: Пер. с англ. Г. Л. Агафонова / Под ред. П. А. Власова. — М.: Физматлит, 2006 — 352 с.
8. Де Жен П. Идеи Скейлинга в физике полимеров: Пер. с англ. / Под ред. И. М. Лившица. — М.: Мир, 1982. — 368 с.
9. Зельдович Я. Б., Баренблатт С. И., Либрович В. Б. и др. Математическая теория горения и взрыва. — М.: Наука, 1980. — 478 с.
10. Югай К. К., Югай К. Н. Капиллярная турбулентность и образование капель при взаимодействии лазерных импульсов с поверхностью керамической YBCO мишени // Вестник Омского университета. — 1999. — Вып. 3. — С. 50—52.

11. Aktan O. Yu. Determination of the solid phase concentration in the course of the solidification // Functional Materials. — 2009. — **16**, N 2. — P. 170—173.
12. Aktan O. Yu., Bulavin L. A., Zabashta Yu. F., Orlovskaya S. G. The deformation properties and the dispersion of paraffin-based hybrid rocket fuel in the process of the combustion // Силовые и энергетические установки аэрокосмических аппаратов: Сб. матер. конф. — Днепропетровск, 2009. — С. 3—5.
13. Bulavin L. A., Aktan O. Yu., Zabashta Yu. F. Anisotropic and isotropic phases of polymer melts // J. Molecular Liquids. — 2005. — **120**. — С. 139—141.
14. Chernyak V., Nedybaliuk O., Olszewski S., et al. Plasma assisted combustion of paraffin // Bull. Amer. Phys. Soc. — 2010. — **55**, N 7. — С. 1—6.

Стаття надійшла до редакції 24.09.12

Л. Ю. Вэргун, В. Я. Черняк, О. А. Недыбалюк,
С. Г. Орловская, Ф. Ф. Каримова, М. С. Шкороподо

КОНФОРМАЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СТРУКТУРЕ ТВЁРДОГО ПАРАФИНОВОГО ТОПЛИВА НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ ЕГО СЖИГАНИЯ

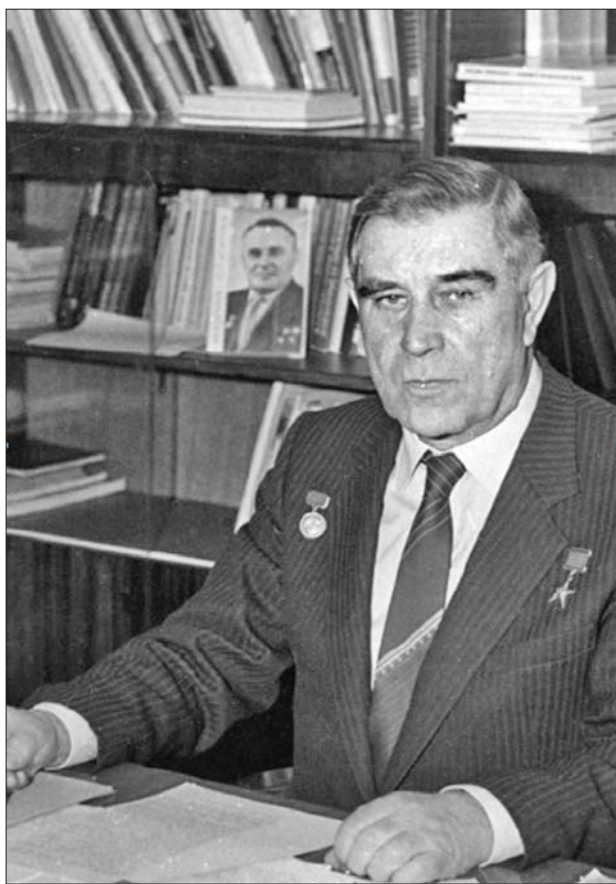
Исследуются физические механизмы изменений в структуре твёрдых n-парафинов, которые используются как сырьё для ракетного топлива на начальном этапе их сжигания. Предложен новый элемент в конструкции ракетного двигателя для интенсификации распыления топлива, а также для предупреждения угрозы взрыва. С помощью экспериментального стенда для изучения процесса сов горения в потоке, определено влияние активных центров на скорость горения и высоту пламени n-парафинов.

L. Yu. Vergun, V. Ya. Chernyak, O. A. Nedibalyuk,
S. G. Orlovskaya, F. F. Karimova, M. S. Shkoropado

THE CONFORMATION CHANGES OF THE SOLID PARAFFIN'S STRUCTURE DURING INITIAL STAGE OF ITS BURNING

Some properties of n-paraffins for rocket fuel and the physical mechanism of structure changing for such systems during initial stage of its burning are investigated. We propose a new element of the construction of hybrid rockets engine for intensification of fuel dispersion and for prevention of the threat's explosion. The active centre's influence on the burning speed in a stream and n-paraffin's flame height are obtained.

До 100-річчя від дня народження академіка НАН України В. С. БУДНИКА



24 червня 2013 р. виповнилося 100 років від дня народження видатного вченого-механіка, патріарха династії Будників-ракетників, академіка НАН України, доктора технічних наук, професора, заслуженого діяча науки України, Героя Соціалістичної Праці, Лауреата Ленінської премії та Премії імені М. К. Янгеля, Почесного

працівника космічної галузі України, Почесного громадянина м. Дніпропетровськ, Василя Сергієвича БУДНИКА.

Народився В. С. Будник у райцентрі Семівка Чернігівської області, в сім'ї дільничного агронома. Після завершення у 1940 році з відзнакою навчання в Московському авіаційному інституті за спеціальністю інженера-механіка з озброєння літаків він працював конструктором, начальником групи в КБ ім. Ільюшина до 1946 року.

З вересня 1946 року до 1951 року працював у НДІ-88 над розробленням першої радянської балістичної ракети дальньої дії Р-1. У цьому науково-дослідному інституті В. С. Будник був заступником С. П. Корольова та одночасно очолював конструкторське бюро, яке займалося загальними видами, компонованням рушіїв, трубопроводів, приладів, датчиків, паливних ємностей, а також міцністю та головними частинами ракет. Після успішного прийняття Р-1 на озброєння вищим керівництвом країни було прийняте рішення про розгортання серійного виробництва таких ракет у Дніпропетровську. Головним конструктором Конструкторського бюро нового ракетного заводу став В. С. Будник. Під його орудою був створений ескізний проект нової ракети, що істотно відрізнялась від Р-1 Корольова як за компонентами палива, так і системою керування. Для впровадження нової ракетної техніки у виробництво у 1954 році В. С. Будник виступив ініціатором створення особливого конструкторського бюро (нині — КБ «Південне»). Головним конструктором цього ОКБ був

призначений М. К. Янгель, а В. С. Будник став його першим заступником.

У КБ «Південне» В. С. Будник пропрацював 17 років, за які воно перетворилося у провідне конструкторське бюро країни з розробки балістичних ракет і ракетно-космічних комплексів, що стали основою для утворених у грудні 1959 року Ракетних військ стратегічного призначення Радянської Армії (ракета Р-12). Починаючи від першої самостійної ракети Р-12, та завершуючи космічними носіями: супутниками ДС-1, ДС-2 (дніпропетровські супутники), а також першим супутником серії «Космос», за безпосередньої участі В. С. Будника були розроблені стратегічні ракети середньої дальності, перша у світі міжконтинентальна ракета важкого класу, найпотужніша бойова ракета із розділюваними головними частинами, рухомий ракетний комплекс на базі твердопаливної ракети, ракета з принципово новим типом старту із шахтної пускової установки.

В. С. Будник був одним із головних розробників науково-технічної схеми «мінометного старту», брав активну участь у розв'язанні теоретично-практичної задачі про розділення головних частин балістичної ракети.

У 1952 році В. С. Будник став одним із засновників створення фізико-технічного факультету Дніпропетровського державного університету (нині — Дніпропетровського національного університету України імені О. Гончара). У травні 1960 р. успішно захистив докторську дисертацію з напрямку нової техніки (технічні науки), а у 1962 році був затверджений у вченому званні професора на кафедрі № 1 спеціального факультету ДДУ.

Оригінальні фундаментальні підходи до вирішення складних науково-технічних задач, спрямованих на підвищення точності конструювання ракетної техніки, а також планомірна копітка наукова, науково-педагогічна, науково-організаційна діяльність стали визначальними у становленні Василя Будника вже як провідного вченого-фахівця, відомого дослідника у сфері ракетно-космічної техніки. В червні 1964 р. В. С. Будник був обраний членом-кореспондентом АН УРСР за спеціальністю «Механіка».

Наприкінці 1967 року В. С. Будник був обраний дійсним членом АН УРСР за спеціальністю «Механіка, машинобудування». Входив до складу наукових та спеціалізованих вчених рад, очолював в академії наук України секцію наукової ради «Загальна механіка».

З 1972 року Василь Будник працював заступником керівника Дніпропетровського відділення Інституту механіки АН УРСР, де створив сектор ракетно-космічного спрямування та відділ комплексних досліджень літальних апаратів. Після реорганізації відділення в окремий Інститут технічної механіки АН України (нині — Інститут технічної механіки НАН України та ДКА України) в 1980 році став заступником директора цього Інституту та одночасно очолював відділ комплексних досліджень літальних апаратів. Не залишав він й професорсько-викладацької діяльності у Дніпропетровському університеті, де викладав курс навчальних дисциплін «Конструкція та проектування» на фізико-технічному факультеті. За заслуги у розвитку технічної механіки та підготовці наукових кадрів у 1983 році йому було присвоєно звання заслуженого діяча науки України.

Василь Будник був видатним вченим-механіком, одним із творців і наукових лідерів принципово нового напрямку в галузі ракетної техніки. Ним були розв'язані наукові проблеми динаміки руху, статичної і динамічної міцності, надійності конструкцій та інших розділів механіки. Основна наукова діяльність Василя Сергійовича Будника була спрямована на створення і вдосконалення теоретичних і експериментальних основ проектування, конструювання та експлуатації ракетних виробів. Під керівництвом В. С. Будника провадилися роботи з проектування оптимальних ракетно-космічних систем, математичних моделей рідинних та твердопаливних ракет, створено основні принципи і розрахункові модулі систем автоматичного проектування для етапу проектно-дослідницьких робіт.

Результати наукових досліджень, проведених особисто академіком Василем Сергійовичем Будником чи під його орудою, знайшли відображення у 265 статтях, 4 монографіях та 36 винаходах. Отримані ним наукові результати зна-

йшли широке застосування в ДКБ «Південне» та інших наукових і проектно-конструкторських установах. Весь творчий здобуток В. С. Будника став підґрунтям вже його власної наукової школи — з оптимального проектування ракетно-космічних систем. Серед учнів створеної ним наукової школи — 4 доктори і 15 кандидатів наук.

До останніх днів свого непересічного життя академік НАН України, Василь Сергійович Будник не припиняв активної наукової та громадської діяльності. Зокрема, брав участь у розробленні та обґрунтуванні пропозицій щодо раціонального використання потенціалу і досягнень ракетно-космічної галузі для підвищення її ефективності на теренах незалежної України. З метою розв'язання актуальних завдань підвищення ефективності використання високотехнологічних галузей як базових для розвитку сучасної економіки України Будник виступав ініціатором використання вже апробованих технологій з ракетно-космічної галузі. Зокрема, ним було запропоновано низку заходів до загальнодержавних програм розроблення способів та пристроїв, призначених для підвищення

ефективності боротьби з наслідками техногенних катастроф, у тому числі для попередження і гасіння високоенергетичних пожеж у місцях видобутку і збереження газу і нафтопродуктів; для попередження та ліквідації пожеж лісових і степових масивів.

За свою багаторічну наукову та виробничу діяльність Василь Сергійович Будник був нагороджений багатьма високими державними нагородами. Він — Герой Соціалістичної Праці, кавалер двох орденів Трудового Червоного Прапора, двох орденів Леніна, ордена Ярослава Мудрого V ступеня.

Серце видатного українця, патріарха ракетно-космічної галузі України, становленню і розвитку якої він віддав понад 50 років свого життя, зупинилось 8 березня 2007 року. Похований Василь Сергійович Будник у місті Дніпропетровську. У місті, яке уславив він своїми виробничими та науковими звитягами, яке завдячує йому своїм бурхливим розквітом через створення ним основ потужної ракетно-космічної галузі, а він йому — за реалізацію всіх своїх життєвих планів.

Сергій Бублик

АРТЕМЕНКО Ігор Геннадійович — провідний інженер Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України».

Напрямок науки — кліматологія, моделювання, аналіз ризиків, дистанційне дослідження Землі.

АРХИПОВ Володимир Тимофійович — начальник відділу Центру «Кріокосмос», кандидат технічних наук.

Напрямок науки — кріогенне приладобудування для космічної техніки.

БІЛОУС Юлія Геннадіївна — молодший науковий співробітник Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України».

Напрямок науки — геоекологія, дослідження процесів енергомасообміну в геосистемах, моделювання та аналіз ризиків.

БОВЧАЛЮК Андрій Павлович — аспірант фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Напрямок науки — фізика атмосфери, дистанційне зондування атмосфери, наука про аерозолі в атмосфері Землі, оптичні спостереження штучних супутників Землі.

БУБЛИК Сергій Григорович — старший науковий співробітник Головної астрономічної обсерваторії Національної академії наук України, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — механізми державного управління у сфері науково-технологічної діяльності, історія науки і технологій.

ВЕРГУН Лена Юріївна (Актан Олена Юріївна) — науковий співробітник кафедри молекулярної фізики фізичного факультету Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, кандидат фізико-математичних наук.

Напрямок науки — молекулярна фізика.

ГАБ Іван Іванович — провідний науковий співробітник відділу контактних явищ та паяння неметалевих матеріа-

лів Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича Національної академії наук України, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — матеріалознавство.

ЗАСУХА Сергій Олексійович — заступник Голови Державного космічного агентства України, кандидат технічних наук, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки.

Напрямок науки — ракетно-космічна техніка.

КАРІМОВА Фаріда Фаритівна, науковий співробітник науково-дослідної лабораторії «Високотемпературні процеси в дисперсних системах» Одеського національного університету ім. І. І. Мечнікова.

Напрямок науки — теплофізика.

КОПАЧЕВСЬКИЙ Іван Михайлович — провідний інженер Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України».

Напрямок науки — обробка та інтерпретація даних дистанційного зондування Землі, аналіз ризиків, пов'язаних з надзвичайними ситуаціями техногенного характеру.

КОСТЮК Борис Дмитрович — старший науковий співробітник відділу контактних явищ та паяння неметалевих матеріалів Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича Національної академії наук України.

Напрямок науки — матеріалознавство.

КОСТЮЧЕНКО Юрій Васильович — провідний науковий співробітник Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України», кандидат фізико-математичних наук.

Напрямок науки — гідрогеологія, дослідження процесів енергомасообміну в геосистемах методами математичного моделювання, обробка даних космічної зйомки з метою вирішення природоохоронних та природоресурсних задач.

КОЧУБЕЙ Галина Сергіївна — науковий співробітник відділу механіки іонізованих середовищ Інституту

технічної механіки Національної академії наук України та Державного космічного агентства України.

Напрямок науки — механіка рідини, газу та плазми.

ЛАЗУЧЕНКОВ Дмитро Миколайович — молодший науковий співробітник Інституту технічної механіки Національної академії наук України та Державного космічного агентства України.

Напрямок науки — механіка рідини, газу та плазми.

ЛИХОЛІТ Микола Іванович — директор — головний конструктор Казенного підприємства спеціального приладобудування «Арсенал», доктор технічних наук, професор, заслужений машинобудівник України, лауреат Державної премії в галузі науки і техніки.

Напрямок науки — оптико-електронне приладобудування для космічної та військової техніки.

МАКАРОВ Олександр Леонідович — головний конструктор-начальник конструкторського бюро космічних апаратів, систем та комплексів Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», кандидат технічних наук, заслужений машинобудівник України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки.

Напрямок науки — ракетно-космічна техніка.

МЕЛЕНЕВСЬКИЙ Юрій Олександрович — директор — головний конструктор Центру «Кріокосмос».

Напрямок науки — кріогенне приладобудування для космічної техніки.

МОВЧАН Дмитро Михайлович — науковий співробітник Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України», кандидат геологічних наук.

Напрямок науки — дистанційне дослідження Землі, енергомасообмін в геосистемах, кліматичні зміни.

НАЙДИЧ Юрій Володимирович — завідувач відділу контактних явищ та паяння неметалевих матеріалів Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича Національної академії наук України, доктор технічних наук, академік Національної академії наук України.

Напрямок науки — фізична хімія.

НЕДИБАЛЮК Олег Анатолійович — співробітник кафедри фізичної електроніки радіофізичного факультету Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, кандидат фізико-математичних наук.

Напрямок науки — фізична електроніка.

НОСИКОВ Сергій Вікторович — молодший науковий співробітник Інституту технічної механіки Національної

академії наук України та Державного космічного агентства України.

Напрямок науки — механіка рідини, газу та плазми.

ОРЛОВСЬКА Світлана Георгіївна — доцент кафедри теплофізики фізичного факультету Одеського національного університету ім. І. І. Мечнікова, завідувач науково-дослідної лабораторії «Високотемпературні процеси в дисперсних системах», кандидат фізико-математичних наук.

Напрямок науки — теплофізика.

ПОПАДЮК Любомир Володимирович — студент кафедри землезнавства та геоморфології Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Напрямок науки — географія.

СЕМЕНОВ Лев Петрович — начальник управління Державного космічного агентства України, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — ракетно-космічна техніка.

СТЕЦЮК Тетяна Віталіївна — науковий співробітник відділу контактних явищ та паяння неметалевих матеріалів Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича Національної академії наук України.

Напрямок науки — матеріалознавство.

ЧЕРНЯК Валерій Якович — професор кафедри фізичної електроніки радіофізичного факультету Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, доктор фізико-математичних наук.

Напрямок науки — фізична електроніка.

ШКОРОПАДО Максим Сергійович — молодший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії «Високотемпературні процеси в дисперсних системах» Одеського національного університету ім. І. І. Мечнікова.

Напрямок науки — теплофізика.

ШУВАЛОВ Валентин Олексійович — завідувач відділу механіки іонізованих середовищ Інституту технічної механіки Національної академії наук України та Державного космічного агентства України, доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України, лауреат премії Національної академії наук України ім. М. К. Янгеля.

Напрямок науки — плазмоелектродинаміка космічних апаратів, фізика плазми.

ЮЩЕНКО Максим Володимирович — провідний інженер Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України».

Напрямок науки — географія, картографічна адаптація супутникових знімків, дистанційне дослідження Землі.