



ISSN 1607–2855

Том 4 · № 2 · 2003 С. 55–69

УДК 523.3:001.18

Проблеми освоєння Місяця

В.С. Кислюк

Головна астрономічна обсерваторія НАН України

У короткому огляді проаналізовані основні етапи космічної ери дослідження Місяця. Розглянуті питання наукової доцільності створення в майбутньому на місячній поверхні населених наукових та науково-виробничих баз. Зокрема, такі бази розглядаються як ідеальне місце для всехвильової астрономії.

ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЛУНЫ, Кислюк В.С. — В кратком обзоре проанализированы основные этапы космической эры исследования Луны. Рассмотрены вопросы научной целесообразности создания в будущем на лунной поверхности населенных научных и научно-производственных баз. В частности, такие базы рассматриваются как идеальное место для всеволновой астрономии.

PROBLEMS OF COLONIZATION OF THE MOON, by Kislyuk V.S. — In the brief review the main stages of space era of Moon's investigations are discussed. The problems of scientific expediency of development in future of permanent lunar bases are considered. In particular, the advantages of lunar bases for astronomy sciences are discussed.

ВСТУП

Протягом останніх 20 років провідними космічними агентствами світу ведуться інтенсивні дослідження щодо активного освоєння Місяця, включаючи створення в недалекому майбутньому наукових та науково-виробничих комплексів на його поверхні. З попередніх результатів таких досліджень випливає, що здійснення в першій половині ХХІ ст. проекта місячної бази було б виправданим з наукової, економічної та соціальної точок зору. Стан проблеми вивчення Місяця за допомогою космічних апаратів, а також деякі аспекти проблеми практичної реалізації цих грандіозних планів, аналізуються в пропонованій статті.

1. ПОВЕРНЕННЯ НА МІСЯЦЬ

Минуло менше року від дня запуску першого штучного супутника Землі, коли 17 серпня 1958 р. США намагалися взяти реванш запуском першого штучного супутника Місяця. Проте, на 77 с носій КА “Піонер” вибухнув і спроба залишилась невдалою. Після цього, протягом 1958 р. було зроблено ще декілька спроб (американських і радянських) здійснення польоту до Місяця, але всі вони виявились невдалими.

Епоха досліджень Місяця за допомогою космічних апаратів (КА) розпочалась в 1959 р., коли в колишньому Радянському Союзі було здійснено три пріоритетні експерименти: перший обліт Місяця на відстані 5965 км від його поверхні (КА “Луна-1”), перша жорстка посадка КА на місячну поверхню (“Луна-2”), перша зйомка зворотного боку Місяця з відстані близько 70000 км (“Луна-3”). Згодом СРСР був першим ще у кількох експериментах з дослідження Місяця: в 1966 р. — перша м’яка посадка (“Луна-9”) в районі Океана Штормів та перший штучний супутник Місяця (“Луна-10”), а в 1970 р. — перший саморушійний апарат на місячній поверхні “Луноход-1”, доставлений КА “Луна-17”.

В місячній одисей першого етапу досліджень Селени СРСР тримав явну перевагу. Тривалий час США лише повторювали піонерські експерименти СРСР, але після епохального космічного польоту Юрія Гагаріна 12 квітня 1961 р. терпець американців увірвався. 25 травня 1961 р. президент США

Таблиця 1. Статистика запусків КА до Місяця (1958–1976)

Назва КА	Здійснено запусків			Ефективність реалізації запусків (%)	Роки
	Всього	Успішних	Невдалих		
СРСР					
Луна	45	16	29	35.6	1959–1976
Зонд	13	4	9	30.8	1968–1972
США					
Піонер	9	0	9	0	1958–1960
Рейнджер	9	4	5	44.4	1961–1965
Сорвейор	7	5	2	71.4	1966–1968
Лунар Орбітер	5	5	0	100	1966–1967
Аполлон	9	8	1	88.9	1968–1972
Всіх запусків	97	42	55	43.3	1958–1976

Джон Кеннеді звернувся до Конгресу США з історичним посланням, в якому закликав, вважаючи успіхи СРСР в космосі за національну трагедію США, докласти всіх зусиль на взяття реваншу. Перед американською нацією була поставлена висока ціль — висадка на Місяць. Так з'явилась програма “Аполлон”. Результати її виконання такі: від першого пілотованого обльоту Місяця космічним кораблем (КК) “Аполлон-8” (грудень 1968 р.) до останнього перебування астронавтів КК “Аполлон-17” на місячній поверхні (грудень 1972 р.) здійснено: 9 пілотованих польотів до Місяця (лише один з них, “Аполлон-13”, виявився невдалим), в тому числі виконано 6 посадок на місячну поверхню. До Місяця злітали 27 землян, 12 з них побували на поверхні Місяця. На Землю доставлено 381.7 кг місячних порід і проб ґрунту, десятки тисяч фотографій, фільмів та магнітних касет з даними різних вимірювань.

Тепер уже надійшла черга отримання шоку для радянської космонавтики. І він дійсно був, судячи хоча б з того, що першу висадку на Місяць (21.07.1969 р.) по телебаченню не показували лише в Радянському Союзі та в Китаї. Справа в тому, що ще задовго до програми “Аполлон” в СРСР були плани щодо активного освоєння Місяця. Під керівництвом С.П.Корольова розроблявся проєкт пілотованої місячної експедиції. Готувалися спеціальні загони астронавтів, були розроблені конструкції відповідного одягу для роботи на місячній поверхні тощо. Пілотований політ до Місяця планувався на 9 грудня 1968 р., але, як відомо, в грудні цього ж року американські астронавти на КК “Аполлон-8” першими в світі облетіли (аж 10 разів) Місяць. Уже після виконання програми “Аполлон” в СРСР розроблявся проєкт створення місячної бази. Проте, наприкінці 1970-х років ці роботи були припинені, точніше було вирішено відкласти їх проведення на початок ХХІ ст.

22 серпня 1976 р. зі зразками ґрунту, взятими з глибини 2 м в Морі Криз, на Землю повернувся КА “Луна-24”, ознаменувавши завершення першого етапу космічних досліджень Селени, який іноді називають “золотим” періодом вивчення Місяця [25]. В табл. 1 приведена статистика запусків до Місяця протягом цього періоду, підготовлена за даними [6], а розподіл всіх запусків до Місяця по роках показаний на діаграмі (рис. 1).

Як свідчать наведені дані, “золотий період” характеризується значним драматизмом. Велика кількість невдач не дивна. Йшло відпрацювання принципово нової техніки і технології.

Після польоту КА “Луна-24” у дослідженнях Місяця настало затишшя, яке тривало (якщо не брати до уваги запуск в 1990 р. Японією мініатюрного супутника Місяця Хагоромо та деякі дослідження, виконані КА “Галілео” з прольотної орбіти на шляху до Юпітера) ... близько 18 років, тобто рівно стільки ж, скільки продовжувався “золотий” період. Польотами американських зондів “Клементина” (1994 р.) і “Лунар Проспектор” (1998 р.) активні дослідження Місяця відновились.

Затишшя у вивченні Місяця не можна назвати пасивним. По-перше, знадобились довгі роки для осмислення і інтерпретації отриманого раніше великого обсягу матеріалу, а по-друге, весь цей час у світі йшла підготовка до нової фази активного освоєння Місяця за допомогою автоматичних і

пілотованих станцій. Розпочався новий період дослідження Місяця, який називають “Поверненням на Місяць” [22].

20 липня 1989 р., в день 20-ї річниці першої посадки КК “Аполлон” з астронавтами на місячну поверхню, президент США Джордж Буш оголосив програму SEI (Space Exploration Initiative) [39], покликану прискорити пілотовані дослідження Сонячної системи, починаючи з активного освоєння Місяця. Ця відозва, як і згадане історичне послання президента США Джона Кеннеді, з яким він 25 квітня 1961 р. звернувся до Конгресу США, стимулювала проведення наукових досліджень та науково-технічних розробок, спрямованих на створення передумов для побудови в недалекому майбутньому багатoproфільних постійнодіючих місячних баз (ПМБ). Тільки тепер стратегія США щодо планетних досліджень істотно змінилась. В 1992 р. з ініціативи НАСА (National Aeronautics and Space Administration) розпочалось здійснення програми Discovery, призначеної для планомірного дослідження об’єктів Сонячної системи. На відміну від попередніх грандіозних проектів (типу “Аполлон”) програма Дискавері спрямована на виконання серії малозатратних цілеспрямованих місій під девізом “Швидше, Краще, Дешевше”. Нині ця програма включає 10 космічних місій, в тому числі і стосовно досліджень Місяця (див. нижче).

В середині 1980-х рр. до проблеми дослідження Місяця звернулось Європейське Космічне Агентство (ЄКА) [10]. Зокрема, спеціально створена для цього керівна група з досліджень Місяця (Lunar Study Steering Group), виділила три можливі форми наукової діяльності у виконанні програми за назвою “Mission to the Moon”: “Science of the Moon” (комплексні дослідження Місяця шляхом дистанційного зондування), “Science on the Moon” (комплексні дослідження з підготовки до створення населеної бази на Місяці) і “Science from the Moon” (розгортання наукових досліджень на поверхні Місяця). В зв’язку з цим, стратегія ЄКА базується на розробці і створенні полярного супутника Місяця, посадочного апарата і мобільного місячного дослідника, а також передбачається доставка зразків місячного ґрунту на Землю.

Дуже активно до місячних перегонів підключилась Японія. Стратегічні плани ISAS/NASDA (Institute of Space and Aeronautical Science/National Space Development Agency of Japan), пов’язані з підготовкою до створення місячної бази, включають комплексні дослідження за допомогою супутника Місяця і низки сейсмічних експериментів на місячній поверхні. До речі, з 1 жовтня 2003 р. ISAS, NASDA, а також NAL (National Aerospace Laboratory of Japan) об’єднались, утворивши нове космічне агентство — Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA).

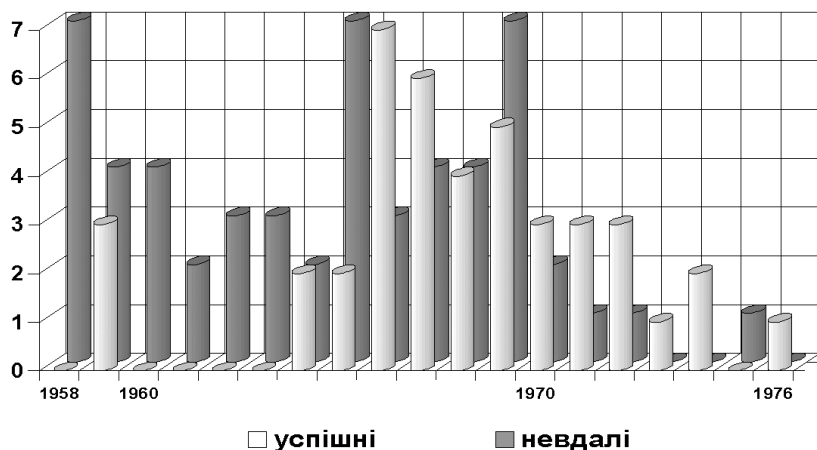


Рис. 1. Розподіл запусків до Місяця по роках (1958–1976)

2. ОГЛЯД НОВИХ КОСМІЧНИХ МІСІЙ ДО МІСЯЦЯ

2.1. Реалізовані проекти кінця XX ст.

MUSES-A/Hiten/Hagoromo. 24 січня 1990 р. Японія запустила свій перший КА MUSES-A (**Mu**-launched **S**pace **E**ngineering **S**atellite) вагою 196 кг на високоорбітальну навколосемну еліптичну орбіту (з апогеєм близько 500 тис. км) [42]. Після запуску цей КА був перейменований на Hiten (буддійський ангел, який грає музику на небесах). Здійснивши три оберти по орбіті 19 березня 1990 р., пролітаючи мимо Місяця на відстані 17–25 тис. км від його поверхні, Hiten випустив мініатюрний (діаметром 30 см) супутник Місяця, що отримав назву Hagoromo. Після запуску космічного експреса Hiten/Hagoromo, головною метою якого була перевірка і відпрацювання космічної техніки, Японія стала четвертою космічною державою світу, третьою, яка послала КА до Місяця, а також першою, яка порушила затишшя після “золотого періоду”.

Galileo, запущений США 18 жовтня 1989 р. На шляху до Юпітера, з відвідуванням Венери цей КА мав два прольоти через систему Земля-Місяць, під час яких була отримана певна кількість спектрозональних фотографій Місяця (20 грудня 1990 р. і 8 грудня 1992 р.) через фіолетовий, червоний і близький до інфрачервоного фільтри. КА отримав нову інформацію щодо мало досліджених районів зворотного боку Місяця, а також північного і південного місячних полюсів, що забезпечило ясніше бачення цих регіонів. Зокрема, серед фотографій, отриманих в грудні 1990 р., виділяється кратерований басейн “Південний полюс-Ейткен”, детально досліджений пізніше за допомогою КА “Клементина” і “Лунар Проспектор”, і який, як виявилось, є найбільшою западиною в Сонячній системі.

Clementine [31]. Поява цього КА була дещо несподіваною. Розроблений організаціями Міністерства Оборони США в рамках проекту “зоряних воєн”, він був запущений 25 січня 1994 р. з метою вивчення астероїдів при зближенні з ними. Після двох обльотів Землі 19 лютого 1994 р. КА був виведений на досить видовжену полярну орбіту навколо Місяця (400 км → 2900 км). Сталося так, що запланована як попутна програма дослідження Місяця виявилась основною для КА “Клементина”. За 3 місяці його активної роботи отримано безпрецедентний обсяг інформації стосовно Місяця: відзнято 38 млн. км² площі місячної поверхні в 11 різних довжинах хвиль та передано на Землю сотні тисяч знімків високої роздільної здатності. Дані, отримані КА “Клементина”, дали змогу відповісти на багато питань стосовно Місяця. Вони включають: глобальну тривимірну будову місячної кори, можливість існування запасів водяного льоду в приполярних регіонах Місяця, склад морських базальтів на зворотному боці Місяця, уточнення моделей гравітаційного поля Місяця, детальне вивчення найбільшого в Сонячній системі басейну “Південний полюс-Ейткен” та ін.

Lunar Prospector [11], третя з місій програми НАСА Дискавері, запущений 7 січня 1998 р. Завданням цього КА було: дослідження з низької полярної орбіти складу поверхневих порід Місяця, відкладень льоду в полярних областях Місяця, вивчення детальної структури гравітаційного і магнітного полів Місяця та короткотривалих явищ, пов’язаних з процесами дегазації місячних порід. Все це виконувалось за допомогою інструментів на борту КА (гамма- і нейтронний спектрометри, магнітометр, електронний рефлектометр, спектрометр альфа-частинок). Одним з основних був гравітаційний експеримент, пов’язаний з падінням КА в кратер (“холодну пастку”) на південному полюсі Місяця з імовірним заляганням водяного льоду. Проте, однозначної відповіді не отримано. Питання існування таких запасів залишається відкритим.

Безпрецедентні результати, отримані за допомогою КА “Клементина” і “Лунар Проспектор”, суттєво вплинули на подальші плани провідних космічних агентств світу щодо космічних досліджень Місяця, про що йтиметься нижче.

2.2. Проекти в стадії реалізації

STARDUST [18], четверта з місій програми НАСА Дискавері, призначена для взяття зразків кометного пилу і доставки їх на Землю. КА Stardust запущений 7 лютого 1999 р., в січні 2004 р. він повинен пролетіти через кому комети Wild2, взяти зразки кометного пилу і в січні 2006 р. доставити

їх на Землю. Тричі (після запуску в 1999 р., під час здійснення гравітаційних маневрів в системі Земля-Місяць в січні 2001 р. і при поверненні на Землю в 2006 р.) КА повинен виконати знімання Місяця камерою, оснащеною 8-ма фільтрами.

SMART-1 (Small Missions for Advanced Research in Technology 1) [20] — перша місячна програма Європейського Космічного Агентства. Крім претензійних і середнього розміру (типу МЗ) програм ЄКА розробляє малі, більш гнучкі і відносно недорогі, космічні апарати. Таким є КА SMART-1, запущений 28 вересня 2003 р. на геостаціонарну орбіту. Мета місії: випробування технологій, які будуть використані згодом у великих космічних проектах. Передбачається, що згодом КА буде виведений на низьку полярну навколomisячну орбіту для виконання топографічних, хімічних і мінералогічних досліджень Місяця за допомогою низки інструментів (мікро-камер середньої і високої роздільної здатності та спектрометрів різних довжин хвиль). Плануються електронно-пілові експерименти та експерименти з суб-мм астрономії.

2.3. Нереалізовані проекти

В цьому розділі йдеться про проекти, які у свій час були забезпечені фінансуванням, планувались конкретні терміни їх запусків, але з різних причин вони так і не були реалізовані.

Проект 1Л [3]. На початку 1980-х рр. в колишньому СРСР був близьким до завершення проект полярного супутника Місяця (проект 1Л), історія виникнення якого розпочалась, як уже відмічалось, ще в pre-Apollo період. Супутник передбачалось запустити в 1988 р. на високу, майже колову (~100 км), навколomisячну орбіту з нахилом 85°. Основне завдання місії: оглядове знімання місячної поверхні за допомогою приладів різного призначення (відео-, гамма-, рентгенівський та нейтронний спектрометри, магнітометри, радіокомплекс для зондування підповерхневих горизонтів). Крім того, планувався експеримент “Янус” з вимірювання світлових потоків для картографування фотометричних і поляриметричних характеристик місячної поверхні. На жаль, запуск цього полярного супутника так і не відбувся.

EuroMoon 2000 [32], місячна ініціатива ЄКА, яка була покликана відзначити входження європейської спільноти в нове тисячоліття візитом до південного полюса Місяця в 2000 р. Ця місія повинна була продемонструвати здатність Європи взяти ініціативу в здійсненні міжнародної місячної програми “Mission to the Moon”. Місія EuroMoon 2000 повинна була об’єднати супутник Місяця (отримання необхідних даних для посадки на місячну поверхню) і посадочний апарат (посадка на вал кратера в районі південного полюса з метою використання переваг постійного освітлення і проведення експериментів за допомогою роботів). Місія мала стати першим кроком на шляху виконання програми створення міжнародного населеного аванпосту на Місяці. В 1998 р. розробка проекту була припинена за браком фінансування.

LunarSat (Lunar Academic and Research Satellite) [33] — проект мікро КА, який планувався до запуску на високу еліптичну полярну навколomisячну орбіту (з периселенієм над південним полюсом Місяця) для проведення наукових досліджень стосовно місячного довкілля. Проте, в основному цей КА мав служити освітянським цілям. Проект Lunarsat розроблявся в рамках програми EuroMoon 2000.

Lunarstar/Gauss [21] — чергова місія НАСА програми Дискавері. Основна наукова мета КА Lunarstar пов’язувалась з вивченням місячної атмосфери, еволюції поверхні Місяця та дослідженнями в галузі селенохімії. Передбачалось, що Lunarstar, перебуваючи на майже коловій навколomisячній полярній орбіті (~100 м) виведе на високу еліптичну орбіту (200 км → 5000 км) субсупутник Gauss (Німеччина) для детального вивчення гравітаційного поля Місяця, особливо мало вивченого зворотного боку. Запуск місії Lunarstar планувався на жовтень 2001 р.

LEDA (Lunar European Demonstration Approach) [23] мав об’єднати зусилля ЄКА, CNES (French Centre National d’Etudes Spatiales) і ASI (Agenzia Spaziale Italiana) і стати першим кроком на шляху здійснення ініціативи ЄКА з дослідження Місяця. Мета проекту: вивчення недосліджених регіонів на місячній поверхні, а також оцінка місячних ресурсів за допомогою дистанційних і *in-situ* вимірювань. КА включав платформу з саморухливим апаратом, роботорукою, засобами тестування

місячного ґрунту, а також низкою інструментів для виконання вимірювань в довкіллі Місяця і на його поверхні. Запуск передбачалось здійснити в 2002 р.

MORO (Moon ORbiting Observatory) [34] — один з проектів-кандидатів для середнього розміру місії (МЗ) в рамках довгострокового наукового плану “Горизонт 2000”, запровадженого ЄКА в 1984 р. (М1 — Huygens/Cassini, М2 — INTEGRAL). Мета проекту: проведення глобальних дистанційних вимірювань місячної поверхні з орбіти полярного супутника Місяця і дослідження внутрішньої будови Місяця за допомогою субсателіта. Оснащення: стереокамера, від UV до IR спектрометри, а також гамма- і рентенівський спектрометри, мікрохвильовий прилад. Планувався запуск КА в 2003 р.

Крім державних інституцій в розробці місячних проектів беруть активну участь приватні фірми і корпорації. Один з таких проектів, який був найближчий до реалізації, приводиться нижче.

LRI (Lunar Rover Initiative). На порозі тисячоліть приватною фірмою США “Lunar Corporation” (LunaCorp) планувались до запуску два ровери на місячну поверхню. Розробка і виготовлення їх розпочались в середині 1990-х рр. в Роботоінституті Університету Карнегі США. Мета проекту — розбити “плісняву”, яка утворилась за час згаданого вище затишшя в космічних дослідженнях Місяця. Крім, того LunaCorp намагалась показати спроможність участі приватного сектора в реалізації серйозних космічних проектів. В подальшому фірма LunaCorp заключила контракт з японською фірмою Mitsubishi щодо можливості запуску роверів японською ракетою.

2.4. Проекти, близькі до реалізації

LUNAR-A [27] — місячна пенетраторна місія Японії, розробка якої розпочалась в 1993 р. Планувалась до запуску в 1997 р., згодом запуски щорічно переносились (зокрема, з-за неполадок в сонячних батареях зонда) і тепер запуск планується на січень 2004 р. Основна мета місії: вивчення внутрішньої будови Місяця з використанням сейсмометрів (в 5 разів чутливіших за ті, що були на КК “Аполлон”) і зондів теплових потоків, вмонтованих в двох пенетраторах (раніше їх планувалось 3), які будуть скинуті на місячну поверхню з висоти близько 25 км — по одному на видимому боці Місяця (поблизу стоянки “Аполлон-12” або “Аполлон-14”) і на зворотному боці (поблизу антиподальної точки одного з найглибших епіцентрів селенотрусів). Після викиду пенетраторів КА буде виведений на майже колову орбіту (~200 км від поверхні Місяця) і вестиме монохроматичне знімання поверхні з роздільною здатністю близько 30 м.

LUNAR-A має стати першим етапом в напрямку детальної планетної сейсмології, досвід якого буде використаний для вивчення інших планет.

SELENE (SELenological and ENgineering Explorer) [24] — перша частина (непілотований зонд) японської 30-річної програми створення бази на Місяці, спільний ISAS/NASDA (тепер JAXA) проект, який готується до запуску у вересні-грудні 2005 р. Основна мета проекту: отримати наукові дані стосовно внутрішньої будови і еволюції Місяця і розвинути технологію майбутніх місячних досліджень. SELENE складається з орбітера і супутника-ретранслятора. Протягом року орбітер виконуватиме дистанційне зондування Місяця, після чого від нього відділиться посадочний модуль для відпрацювання м'якої посадки.

SELENE має виконати певний комплекс досліджень за програмою “Mission to the Moon”, а саме: “Science of the Moon” (топографія поверхні, гравітаційне і магнітне поля, вміст елементів і мінералів, підповерхнева структура), “Science on the Moon” (дослідження енергетичних частинок, електромагнітного поля і плазми навколо Місяця), “Science from the Moon” (широко-спектральне знімання Землі для вивчення глобальної динаміки земної плазмосфери). Ці дослідження повинні забезпечити базову інформацію для майбутнього створення астрообсерваторії на місячній поверхні.

2.5. Проекти в стадії вивчення (не забезпечені достатнім фінансуванням)

RLEP (Russian Lunar Explorer Project) [1]. Переслідує дві цілі: в'яснення внутрішньої будови Місяця (наявність залізного ядра і його розміри) і визначення складу летючих в полярних регіонах Місяця. Плануються два сейсмічні експерименти: використання рознесених на відстані по-

Таблиця 2. Відомості про проекти космічних досліджень Місяця

Проект	Країна, агентство	Дата запуску	Примітка
Реалізовані проекти кінця ХХ ст.			
Galileo	США	18.10.1989	На шляху до Юпітера
MUSES-A/Hiten	Японія	24.01.1990	ШСМ (Hagoromo)
Clementine	США	25.01.1994	ШСМ
Lunar Prospector	США	07.01.1998	ШСМ
Проекти в стадії реалізації			
STARDUST	НАСА	07.02.1999	До комети Wild2
SMART-1	ЄКА	28.09.2003	ШСМ
Нереалізовані проекти			
1 Л	СРСР	1988	ШСМ
EuroMoon2000	ЄКА	2000	ШСМ+ПМ
LunARSat	ЄКА	2000	мікро КА
Lunarstar/Gauss	США (НАСА)	2001	ШСМ+СубСат
LEDA	ЄКА, CNES, ASI	2002	ШСМ+Ровер
MORO	ЄКА	2003	ШСМ+СубСат
LRI	США (LunaCorp)	?	Ровер
Проекти, близькі до реалізації			
LUNAR-A	Японія (JAXA)	08.01.2004	ШСМ+Пенетратори
SELENE	Японія (JAXA)	(09–12).2005	ШСМ+ПМ
Проекти в стадії вивчення			
RLEP	Росія	?	ШСМ+ПМ

рядка 300 м посадочних апаратів з широкосмуговими сейсмометрами та створення малоапертурної сейсмічної мережі (10 сейсмометрів на площі ~ 10 км в діаметрі, доставлених пенетраторами). Передбачається посадка на дно кратера поблизу південного полюса полярної станції з комплектом апаратури (гамма-, мас- і нейтронний спектрометри, телекамера та ін.), а також резервується місце на орбітальному модулі RLEP для низькочастотного радара, призначеного для підповерхневого зондування Місяця. КА розраховується для запуску ракетами типу “Молнія” чи “Союз-2-Фрегат”.

Основні відомості про розглянуті вище проекти наведені в табл. 2.

3. СТРАТЕГІЯ ОСВОЄННЯ МІСЯЦЯ

3.1. Вирішення глобальних проблем земної цивілізації

Дві основні проблеми постануть перед земною цивілізацією в майбутньому: кометно-астероїдна небезпека і порушення природного балансу в довкіллі в результаті промислово-технологічної діяльності людства [12]. Що стосується першої з них, то світове співтовариство поступово починає усвідомлювати її актуальність. В той же час наслідки другої проблеми можуть бути не менш фатальними [8, 26]. Складовими цієї проблеми є (рис. 2): виснаження природних ресурсів; перенасичення сфери проживання продуктами забруднення; перевиробництво енергії на Землі, яке спричинює порушення природного балансу в цій сфері і виникнення стійкого парникового ефекту. Якщо з першими двома аспектами проблеми людство ще якось намагається впоратись (запаси корисних копалин все-таки ще значні, якщо брати до уваги освоєння глибоких горизонтів, а проблема утилізації відходів принаймні розуміється), то можливі наслідки перевиробництва енергії на Землі ще недостатньо усвідомлюється. Проте, це головна небезпека для людства.

Вважається, що виробництво енергії на Землі не повинно перевищувати 0.1% від сонячної енергії, яка поступає через атмосферу на земну поверхню. В протилежному разі, починаються незворотні процеси порушення природного балансу, які зумовлюють згубні порушення умов проживання на Землі. При існуючому на сьогодні рівні споживання енергії на душу населення і збереженні тенден-

ції зростання його чисельності припустима норма буде перевищена уже до 2100 р., що призведе до глобального “парникового ефекту”. Якщо у високорозвинених країнах спостерігається тенденція до зменшення інтенсивності споживання енергії, то в країнах, що розвиваються (Корея, Бразилія, та ін) темпи виробництва і споживання енергії нарощуються [26].

В якійсь мірі посприяти пом'якшанню ситуації може атомна енергетика, але вона, на жаль, породжує інші, не менш складні проблеми. Кардинальне вирішення проблеми пов'язується з використанням позаземних, тобто космічних ресурсів (рис.2).

Один з можливих шляхів пов'язаний з будівництвом космічних електростанцій, які акумулювали б сонячну енергію і передавали її на Землю. Можливі такі варіанти спорудження космічних станцій: а) низькі навколосемні орбіти, б) трикутні точки лібрації системи Земля-Місяць, в) місячна поверхня. Всі варіанти мають свої переваги і недоліки. Найдоступніший з них — створення міжнародних космічних станцій (МКС) на навколосемних орбітах.

МКС у порівнянні з ПМБ (перманентною місячною базою) має свої переваги: близькість до Землі (істотне скорочення витрат на паливе і транспортування, можливість екстреного втручання для порятунку); можливість проведення специфічних експериментів в умовах мікрогравітації (виращування кристалів, медичні експерименти тощо). Разом з тим розрахунки показують, що варіант МКС утопічний, бо він пов'язаний з необхідністю розгортання фантастично гігантської індустрії в космосі, яка призведе, зокрема, до катастрофічного забруднення всього земного оточення.

Крім того, МКС не довговічні, бо їх орбіти під впливом гравітаційного поля Землі з часом деградують і через 12–15 р. вони повинні впасти на Землю. Негативним фактором є також постійне перебування мешканців МКС в стані мікрогравітації.

Суттєво скоротити споживання енергії на Землі можна шляхом ліквідації енергомістких промислових галузей виробництва матеріалів за рахунок ресурсів інших тіл Сонячної системи, в першу чергу астероїдів. Навіть невеликий кам'яний астероїд (діаметром в 1 км) може містити в собі половину всіх земних стратегічних запасів кобальта — металу, який використовується для отримання



Рис. 2. Глобальні проблеми земної цивілізації

високоякісних сплавів. Особливо перспективною може стати утилізація металічних астероїдів. Ресурси одного металічного астероїда діаметром 1 км складають: заліза — 7 млрд. т, нікелю — 1 млрд. т, кобальта — 500 млн. т., що компенсує потребу людства в цих металах протягом 2000–10000 р. [8].

Проте, найбільшого ефекту можна досягнути шляхом переходу енергетики на використання промислових установок, які працюють на реакції синтезу дейтерія і ізотопу гелія-3. Переваги такого процесу полягають в повній відсутності радіоактивної небезпеки і екологічно чистих відходах (протони і гелій-4). На Землі запаси гелія-3 практично відсутні. Проведені дослідження, в тому числі і апаратами Клементина і Лунар Проспектор, свідчать про те, що в поверхневому шарі місячних порід в результаті його тривалого опромінення сонячним вітром накопичилось близько 1 млрд т гелія-3. Такої кількості екологічно чистого ядерного пального може вистачити приблизно на 5000 років для забезпечення електроенергією всього людства з урахуванням прогресивного зростання його чисельності. Якщо урахувати можливість передачі на Землю також місячної сировини (кремній, залізо, алюміній тощо) активне освоєння Місяця — це розв'язання проблеми енергії на Землі без глобального потепління.

3.2. Наукова доцільність створення постійнодіючих місячних баз

Доцільність активного освоєння Місяця шляхом створення на його поверхні постійнодіючих баз (ПМБ) можна розглядати в кількох аспектах [16,22].

1. Місяць — сховище найунікальнішої інформації про ранні етапи еволюції Сонячної системи. Місяць і Земля близькі одне до одного і знання їхньої спільної історії може допомогти кращому розумінню різниці еволюцій в ранній Сонячній системі. Місяць має диференційовану кору і давню поверхню, яка зберігає докази процесу формування, що добре збереглися з перших сотень мільйонів років.

2. Місяць — наукова база. Використання специфіки місячного довкілля (високий вакуум, відсутність відчутного магнітного поля, низька вібрація — висока стабільність, безпосередній доступ до дуже високих і дуже низьких температур) створює сприятливі умови для проведення астрономічних спостережень та експериментів в галузях фізики (особливо високих енергій), хімії, біології, медицини. Одним з таких експериментів може стати будівництво прискорювачів заряджених частинок. На Місяці можливі експерименти, які потребують особливої ізоляції, високої стерильності, відсутності домішок органічних сполук. Відкриваються нові, в тому числі і принципово нові можливості для матеріалознавства, мінералогії, архітектури.

3. Місяць — гігантська стабільна платформа з ресурсами, яка може стати першою і головною індустріальною базою (мінеральною і енергетичною). Місячна індустрія зможе задовольнити різні потреби, як на поверхні Місяця, так і на Землі і навколосемних станціях. Отримання конструктивних матеріалів, ракетного пального та всіх елементів системи життєзабезпечення безпосередньо на Місяці буде значно дешевшим, ніж доставка їх з Землі. В майбутньому місячна індустрія зможе задовольнити також енергетичні і ресурсні потреби Землі та її довкілля, зокрема, використання місячного ґрунту як захисної маси від жорсткої радіації на НКС повинно істотно здешевити їх функціонування.

4. Місяць — стартова платформа для проведення пілотованих місій на Марс (інші планети і астероїди), особливо для відпрацювання відповідних технологій. Освоєння Марса обійдеться людству значно дешевше і відбудеться швидше, якщо основні елементи і технології будуть відпрацьовані на Місяці.

5. Освоєння Місяця — потенційно можливий крок людства по розселенню в космічному просторі, перевірка можливості створення в жорстких умовах космосу повністю замкнутих самозабезпечуваних колоній.

Створення місячної бази повинно стати справою багатьох націй і народів. Таку думку висловлює спеціальна група програми “Return to the Moon” Міжнародного Комітету Астронавтики [22]. Основний аргумент для створення Міжнародної Місячної Бази (ММБ) — з'являється можливість для багатьох націй і народів брати участь у формуванні завдань програми “Return to the Moon”.

3.3. Переваги місячної бази для астрономії

Створення ПМБ відкриває надзвичайно великі можливості для астрономії, астрофізики, радіоастрономії, а також фізики, хімії та наук про життя. В порівнянні з НКС ПМБ має суттєві переваги [2,7,9,14,19,30,38,43].

1. Надзвичайно високий вакуум (10^5 молекул/см³ — нейтральний газ; 100 іонів/см³ — іонізований газ) створює ідеальні умови для проведення астрономічних спостережень (всехвильове вікно у Всесвіт): темне небо (UV-фон в 40 разів слабкіший, ніж на нічному небі Землі); відсутність розсіяного світла, впливу рефракції, вітру (можливість побудови легких тенто-подібних куполів і встановлення легких телескопів) та корозії (перспективи для матеріалознавства). Нові можливості для розгортання радіо, ГЧ і оптичних інтерферометрів з наддовгими базами. Ідеальна природна лабораторія для проведення фізичних, хімічних, біологічних і медичних експериментів.

2. Мала гравітація (прискорення сили тяжіння $g_m = 1/6$ земного), великий момент інерції Місяця і невисока сейсмічність полегшують установку телескопів великих розмірів з мінімальними механічними деформаціями та дають можливість побудови стабільних наддовгих інтерферометричних систем (з базами в декілька тисяч км), в тому числі і з базою Земля–Місяць. З іншого боку, немає потреби в створенні штучної гравітації, а її наявність на Місяці створює біологічно і фізично сприятливішу обстановку для роботи, ніж в умовах мікрогравітації на НЗС (ніхто і ніщо “плаває”).

3. Сейсмічна стабільність поверхні та практична відсутність геологічної активності сприяють розгортанню будівництва. Сейсмічна енергія на Місяці становить $10 \cdot 10^{-8}$ від земної, а магнітуди селенотрусів становлять в середньому 1–3 бали за шкалою Ріхтера. Завдяки синхронній орбіті (Місяць повернутий одним боком до Землі) на Місяці практично відсутні припливні деформації. Місяць має постійний припливний горб. Можливі додаткові припливні флуктуації через лібрацію становлять не більше 2 мм для 10-ти кілометрової бази.

4. Повільне обертання Місяця (в 500 разів повільніше, ніж НЗС) забезпечує можливість безперервного (протягом двох тижнів) спостереження небесних об'єктів з як завгодно тривалими експозиціями; полегшує стеження за ними (можливість використання інструментів типу пасажного з ПЗЗ-пристроями для компенсації сидеричного руху) та проведення постійного моніторингу мульті-спектральних змін. Забезпечується також повільна зміна термальних умов довкілля.

5. Наявність кратерних структур правильної форми, які в умовах низької гравітації, відсутності вітру і інших погодних неприємностей дають змогу будувати радіотелескопи великих діаметрів.

6. Наявність природного охолодження приладів до дуже низьких температур створює необмежені можливості для криогенної апаратури при ГЧ-спостереженнях (екранування від Сонця і Землі виключає необхідність її примусового охолодження).

7. Віддаленість від Землі забезпечує надійний захист від земних завад (в сотні разів менш відчутних, ніж на геостаціонарній орбіті). Спостереження з Місяця та виконання багатьох фізичних, хімічних і біологічних експериментів навіть на видимому боці Місяця фактично позбавлені впливу Землі.

8. Зворотний бік Місяця, повністю захищений від електромагнітних перешкод Землі, — ідеальне місце для радіоастрономії. Максимально забезпечується також “чистота” виконання програми SETI.

9. Наявність практично необмеженої кількості будівельного матеріалу і джерел сировини для будівництва, протирадіаційного захисту та використання в якості ізоляційного матеріалу. Можливість видобутку кисню для життя- і енергозабезпечення.

10. Наявність “холодних пасток” в приполярних районах з можливими запасами водяного льоду.

11. Відсутність магнітного поля (потужність його становить $(3 - 300) \cdot 10^{-5}$ гаус). Важливо для спостереження космічних променів (особливо низької енергії). Потік космічних променів в 100 разів інтенсивніший ніж на Землі.

12. Проведення моніторингу Землі [5]. Організація систематичних спостережень нашої планети “зі сторони” (“Служба Землі”). Переваги спостережень Землі з поверхні Місяця перед НЗС полягають в тому, що з місячної поверхні можна відразу і тривалий час спостерігати половину поверхні Землі, її атмосферу та радіаційні пояси.

3.4. Недоліки і обмеження місячної бази

Поряд з перевагами ПМБ має і певні недоліки та обмеження у порівнянні з НЗС [14,22,30,38], причому, деякі з перерахованих вище переваг можуть розглядатись також як недоліки та обмеження.

1. Відсутність сонячної енергії протягом тривалої (14 діб) місячної ночі потребує спорудження великих (важких) акумуляторних батарей для накопичення енергії протягом сонячного дня і зберігання її, радіоізотопних термальних генераторів (для невеликих обсерваторій) та ядерних електростанцій (для великих обсерваторій). Є перспектива використання реакції синтезу дейтерію і ізотопа ^3He .

2. Мікрометеоритна небезпека. З-за відсутності атмосфери (в земній атмосфері мікрометеороїди просто згорають) можливі утворення мікрократерів діаметром в кілька десятків мікрон (до 300 подій/м²/рік), що складає загрозу дзеркалам великих телескопів, а також потребує захисту споруд.

3. Велика забрудненість пилюкою, створюваною падінням метеороїдів, а також в результаті діяльності на Місяці (посадка і старт КА, робота механізмів і всієї інфраструктури бази). Пилюка (гострі абразивні частинки) має шкідливий вплив на обладнання (оптика, електроніка, механізми) своїм електростатичним прилипанням. З цієї причини кутиковий лазерний відбивач, встановлений на "Луноходе-2", практично вийшов з ладу, покрившись пилюкою, піднятою самим ровером.

4. Великі перепади температур між днем і ніччю. На місячному екваторі ці перепади можуть складати 300°C, що призводить до значних термальних розширень деталей конструкцій. Крім того, самі конструкції і місячна поверхня мають різні емісійні і абсорбційні властивості. Нехтування цим фактором може призвести до руйнування конструкцій (в цьому відношенні перевагу мають полярні станції). Необхідне використання нових, в тому числі і принципово нових термопровідних та ізоляційних матеріалів.

5. Космічні промені (радіація) створюють небезпеку для діяльності людей і обладнання. Необхідний захист і наявність точних прогнозів сонячної активності для прийняття екстрених заходів (укриття). З успіхом будуть використовуватись лавові труби, яких за деякими оцінками не менше 100 на місячній поверхні [4].

6. Надзвичайно високий вакуум призводить до необхідності створення штучної атмосфери. Крім того, відсутність атмосфери спричинює значну термальну радіацію від ґрунту (підсилення шумів приймачів випромінювання). Очевидно, використання роботів на ПМБ буде переважаючим.

7. Неможливість огляду всього неба з одного пункту. Бажано мати як мінімум дві антиподально розташовані обсерваторії (те ж саме стосується і полярних обсерваторій).

8. Велика вартість проведення астрономічних експериментів (на першій фазі створення ПМБ оцінюється орієнтовно в 10⁵ \$/кг).

3.5. Можливі місячні обсерваторії

Використання таких переваг, як стабільність поверхні, високий вакуум, низька гравітація, незначне магнітне поле дозволяє розгорнути інтерферометричні системи, широкопольні чутливі приймачі рентгенівських, гамма і космічних променів, а також детектори для нейтріно середніх енергій. На різних стадіях освоєння Місяця розглядаються, зокрема, такі можливі варіанти оснащення місячних обсерваторій [13,15,28,39,41,43]:

До створення аванпосту на місячній поверхні) пропонується встановити відносно малі (недорогі і технічно нескладні оптичні телескопи), призначені для наукових та навчальних цілей.

1. Оптичний телескоп з апертурою від 0.5 до 1 м (еквівалент наземного 4-м телескопа), повністю керований з Землі. 2. 3. Пасажний зеніт-телескоп (Lunar Transit Telescope) з апертурою 1–2 м, полем зору 1° × 1° і реєструючою ПЗЗ-мозаїкою, який працюватиме в діапазоні довжин хвиль від 0.1 до 10 мкм та кутовим розділенням до 0.3 мілісекунди.

На стадії створення ПМБ можливий варіант оснащення місячних обсерваторій, який включає такі телескопи:

1. Оптичний інтерферометр (Lunar Optical Interferometer) з діаметром дзеркал 1–1.5 м, який працюватиме в спектральних діапазонах: ультрафіолетовому (0.1–0.35) мкм, видимому (0.4–1.0) мкм та ІЧ (1.0–10.0) мкм. Система інтерферометра повинна включати мінімум три телескопи, розташованих на кінцях Y-подібної бази, протяжністю в кілька км. Інтерферометр забезпечить мікросекундну точність спостережень — достатню для розділення інших планетних систем, уточнення позагалактичної шкали відстаней, детального вивчення динаміки і структури найближчих зір тощо.

2. Субміліметровий інтерферометр (Lunar Submillimeter Interferometer), який працюватиме в субміліметровому діапазоні (30–300) мкм, забезпечуючи кутову роздільну здатність (1–10) mas. Така ж Y-подібна кілометрова база розташування телескопів-антен діаметром 4–5 м (12 телескопів в варіанті [41]). Ця система телескопів могла б бути продуктивною, зокрема, для розв'язання багатьох проблем позагалактичної астрономії.

3. Дуже низькочастотний радіотелескоп VLFR (Lunar Very Low Frequency Radio Array) - працюватиме в декаметровому і кілометровому діапазонах (довжини хвиль від 10 до 300 м, частоти від 1 до 30 MHz), недоступних для наземних радіотелескопів з-за поглинання іоносферою Землі. VLFR — складна антенна система (19 елементів вздовж 70-км T-подібної бази, в перспективі 100 елементів вздовж 200-км бази), яку пропонується розгорнути на зворотному боці Місяця (можливо в кратері Цюлковський), захищеному від земних радіошумів. Не виключена можливість установки такої системи і на видимому боці Місяця.

4. Великий оптичний телескоп LOT (Lunar Large Optical Telescope) — повноапертурний 16-м телескоп, який працюватиме в діапазоні від 0.1 до 10 мкм. Передбачається, що цей телескоп буде виконувати ті ж завдання, що і космічний телескоп Хаббла, але з більшою ефективністю. Прототипом LOT для встановлення на навколосемній орбіті може стати телескоп з діаметром дзеркала 4–5 м.

В більш віддаленій перспективі розглядається можливість створення мережі телескопів, яка охоплювала б всю поверхню Місяця (видимий і зворотний боки) та радіоінтерферометра з базою Земля–Місяць. Розглядається можливість створення міжнародної місячної обсерваторії [17].

3.6. Вибір місця для ПМБ і місячних обсерваторій

Вимоги щодо найвигіднішого розташування місячних баз залежить від їх призначення. В основному, можна розглядати дві категорії користувачів ПМБ, вимоги яких можуть бути суттєво різними. Одних (селенологів, селенофізиків та представників інших селенонаук) Місяць перш за все цікавить як виробнича база, на якій відбувається розвідка, видобуток та утилізація місячних ресурсів. Тих, хто планує використання Місяця як платформи для проведення астрономічних спостережень, експериментів в галузі космічної фізики, а також моніторингу Землі, Сонця і інших небесних об'єктів цікавить не стільки те, що під ногами, як те, що діється над головою. Але і серед них є різні інтереси. Одним потрібно бачити Землю, іншим, навпаки, Земля — це джерело електромагнітних перешкод. В будь-якому разі, при виборі місця для ПМБ необхідно керуватися такими факторами як безпека, економічність, можливість негайного використання уже відомих ресурсів [40].

Ще в 1920 р. один з піонерів ракетної техніки Р.Х.Годдард зазначав [40], що найкраще місце на Місяці було б на північному чи південному полюсі, де успішно можуть бути використані наявність вічно затінених і вічно освітлених місць. Полярні області цікаві і з точки зору астрономії. Суттєвим недоліком полярної станції є те, що з одного полюса половина небесної сфери ніколи не видима. Доведеться, очевидно, освоювати обидва полюси Місяця. Серед інших варіантів будівництва місячних обсерваторій, які мають свої переваги і недоліки, дискутуються такі: зворотний бік (радіо-спокій); лімб (майже радіо-спокій, видимість Землі); видимий бік (видимість Землі, постійний надійний зв'язок); приекваторіальна зона (видимість всього неба, вільний доступ з будь-якої орбіти). З точки зору достатньої вивченості місцевості, простоти транспортування і налагодження надійного радіо-телевізійного зв'язку для розміщення бази пропонується, зокрема, західна частина Океану Штормів [35].

Звичайно, крім фактора раціонального географічного (точніше селенографічного) розміщення місячних обсерваторій, важливим буде максимальне узгодження інтересів всіх користувачів наукових та науково-виробничих комплексів на Місяці. Отже, виникає проблема розміщення місячної обсерваторії відносно всієї інфраструктури ПМБ, багато з наслідків якої необхідно уникнути при виборі місця для обсерваторії: пилюка від місцевої діяльності, запуску і посадки ракет; летючі від обробки матеріалів; освітленість; радіошуми; вібрації тощо. Остаточний вибір місць для ПМБ, в тому числі і для місячних обсерваторій можна буде зробити на основі тривалих дистанційних зондувань місячної поверхні за допомогою штучних супутників Місяця.

4. ВИСНОВКИ

Сучасний стан розвитку космічних технологій, набутий досвід при виконанні попередніх космічних місій, в тому числі і на орбітальних навколосемних станціях, свідчать про те, що технічні проблеми не можуть бути перешкодою на шляху реалізації грандіозної місячної програми. До місячних перегонів підключаються, крім згаданих вище, і інші наукові колективи різних країн та космічних агентств світу, які займаються розробкою нових проектів подальшого освоєння Місяця. В основному, ці програми стосуються різних модифікацій дистанційних досліджень місячної поверхні за допомогою штучних супутників Місяця, але є й плани, якими передбачається створення в недалекому майбутньому населених місячних баз.

Деякі з цих пропозицій були оголошені на 34-й науковій асамблеї КОСПАР (Х'юстон, США, 10–19 жовтня 2002 р.). Космічне агентство Китаю (China National Space Administration) розробляє довгострокову 5-ти етапну програму створення бази на Місяці протягом 2005–2030 рр. [37]. Основні етапи цієї програми: полярний супутник, роботи, населена місячна база. Недавній запуск космічного корабля з першим китайським космонавтом розглядається як серйозна передумова до реалізації цієї програми. Про свої наміри запустити полярний супутник Місяця заявило також космічне агентство Індії (Indian Space Research Organization) [29]. Концепція проведення дистанційних поляриметричних досліджень місячної поверхні за допомогою полярного супутника Місяця вивчається також в Україні [36].

Таким чином, Місяць знову стає об'єктом особливої уваги землян. Безумовно, з огляду на те, що Місяць є спільним природним дарунком людству, виконання програми його активного освоєння повинно здійснюватись на основі відповідних міжнародних нормативно-правових документів. До того ж витрати, пов'язані з реалізацією програми створення місячної бази, істотно зменшилися б при налагодженні міжнародної кооперації.

1. Галимов Э.М., Куликов С.Д., Кремнев Р.С., Сурков Ю.А., Хаврошкин О.Б. Российский проект исследования Луны // Астрон. Вестник. — 1992. — **33**, № 5. — С. 374–385.
2. Кислюк В.С. Проблемы освоения Мiсяця // Мiсяць з усіх боків. — К.: Наук. думка, 1993. — С. 112–128.
3. Кислюк В.С., Шкуратов Ю.Г., Яцків Я.С. Космічні дослідження Мiсяця: задачі, можливості і перспективи української науки і техніки // Космічна наука і технологія. — 1996. — **2**, № 1–2. — С. 3–14.
4. Лейкин Г.А., Санович А.Н., Шевченко В.В. О создании лунной базы // Астрономические аспекты освоения Луны и поиск внеземных ресурсов. — Изд-во МГУ, 1993. — С. 54–65.
5. Морозенко А.В. Лунная база: мониторинг глобальных изменений на Земле // Кинематика и физика небес. тел. — 2001. — **17**, № 6. — С. 549–559.
6. Мороз В.И., Хантресс В.Т., Шевалев И.Л. Планетные экспедиции XX века // Косм. исследов. — 2002. — **40**, № 5. — С. 451–481.
7. Сизенцев Ф.Г., Шевченко В.В., Семенов В.Ф., Байдал Г.М. Концепция производственной лунной базы // Вселенная и мы (научно-худож. альманах). — М., 1997. — № 3. — С. 62–71.
8. Шевченко В.В. взгляд мирового сообщества на проблему внеземных ресурсов. — Москва: ГАИШ, 1999. (<http://selena.sai.msu.ru/Symposium/resource.pdf>)

9. *Шевченко В.В., Чикмачев В.И.* Лунная база — проект XXI века // Итоги науки и техники // ВИНТИИ. Исследование космического пространства. — 1989. — **30**. — 116 с.
10. *Bank C., Kassing D.* Technologies for Automatic Lunar Exploration Missions // ESA Bull. — 1993. — № 74. — P. 29–35.
11. *Binder A.B.* Lunar prospector: Overview // Science. — 1998. — **281**, № 5382. — P. 1475–1476.
12. *Bonnet R.M.* Why the Moon? // Proc. of Intern. Lunar Workshop “Towards a world strategy for exploration and utilization of our natural satellite”. — Beatenberg (Switzerland), 31 May — 3 June, 1994. — P. 9–13.
13. *Burns J.O.* Some astronomical chalanges for the twenty-first century // The Second Conference of Lunar Bases and Space Activities of the 21 Century // NASA Conf. Publ. — 1992. — **1**. — P. 315–319.
14. *Burns J.O.* The pros & cons of doing ultraviolet astronomy from the Moon // Optical Astronomy from the Earth and Moon // ASP Conference Series. — 1994. — **55**. — P. 280–282.
15. *Burns J.O.* Astronomy from the Moon // Robotic telescopes. ASP Conference Series. — 1995. — **79**. — P. 242–251.
16. *Duke M.B.* Why explore the Moon? // AIAA Pap. — 1992. — № 1029. — P. 1–9.
17. *Durst S.* International Lunar Observatory // Abstr. of the 3rd Intern. conf. on the exploration and utilization of the Moon (28th Vernadsky-Brown microsypm. On comparative planetology (Oct. 11-14, 1998). — Moscow. — P. 50.
18. *Duxbury T.* Lunar exploration by the NASA STARDUST Discovery mission // Abstr. of the 3rd Intern. conf. on the exploration and utilization of the Moon (28th Vernadsky-Brown microsypm. On comparative planetology (Oct. 11-14, 1998). — Moscow. — P. 64.
19. *Foing B.H.* The Moon as a site for Astronomy and space science // Adv.Space Res. — 1994. — **14**, № 6. — P. 9–18.
20. *Foing B.H., Racca G.D., and the SMART-1 Team.* The ESA SMART-1 Solar Electric Propulsion Mission to the Moon // Abstr. of the 3rd Intern. conf. on the exploration and utilization of the Moon (28th Vernadsky-Brown microsypm. On comparative planetology (Oct. 11-14, 1998). — Moscow. — P. 63.
21. *Haeusler B., Floberghagen R., Wing Ip et al.* LUNARSTAR subsatellite GAUSS — a proposal for the complete gravity field determination of the Moon // Abstr. of the 3rd Intern. conf. on the exploration and utilization of the Moon (28th Vernadsky-Brown microsypm. On comparative planetology (Oct. 11-14, 1998). — Moscow. — P. 73.
22. IAA Ad Hoc Commitee “Return to the Moon”. The case for an international lunar base // Acta Astronaut. (UK). — 1988. — **17**, № 5. — P. 463–489.
23. *Kassing D., Novara M.* LEDA — a first step in ESA’s lunar exploration initiative // ESA Bull. — 1995. — № 82. — P. 16–26.
24. *Kinoshita T, Itagaki H., Moriuma J., Namura E., Sasaki S.* Outline of the experimental lunar lander in SELENE project // Proc. 12th Int. Symp. “On Space Flight Dynamics”. — 1997. — P. 361–364.
25. *Lewis J.S., McKay D.S., Clark B.C.* Using resources from near-Earth space // Recources of near-Earth space (eds. Lewis J., Matthews M.S., Guerrieri M.L.). — The University of Arizona Press, Tucson&London, 1993. — P. 3–14.
26. *Lyonnet du Montier M., Collet J.* Using Lunar Resources — The next step? // ESA Bull. — 1994. — № 77. — P. 59–68.
27. *Mizutani H.* Lunar interior exploration by Japanese Lunar Penetrator Mission, LUNAR-A. // J.Phys. Earth. — 1995. — **43**, № 5. — P.657-670.
28. *McGraw J.T.* Lunar Transit Telescopes // Optical Astronomy from the Earth and Moon. ASP Conf. Series. — 1994. — **55**. — P. 283–302.
29. Moon mission study group. Indian Space Research Organisation. Indian mission to Moon: science goals, payloads and launch scenario(Abstract) / 34th COSPAR Scientific assembly. The second World Space Congress. Houston TX USA 10-19 October 2002. Abstract # COSPAR02-A-00891, 2002. (<http://www.cosis.net/abstracts/COSPAR02/00891/COSPAR02-A-00891.pdf>).

30. *Mumma M.J.* Astrophysics from the Moon // Observatories in Earth orbit and beyond (ed. Kondo Y). Proc. of the 123rd Colloqu. IAU, held in Greenbelt, Maryland (USA), April 24-27, 1990. — Kluwer Acad. Publ. Dordrecht/Boston/London. — 1990. — P. 381-390.
31. *Nozette S., Pleasance L.P., Horan D.M., et al.* The Clementine mission to the Moon: science overview // Science. — 1994. — 266. — P. 1835-1839.
32. *Ockels W.J. & comp.* EuroMoon2000. A plan for a European Lunar South Pole expedition // ESA, Paris (France), ESA-BR-122. 20 p (Dec. 1966). ISBN 92-9092-428-4.
33. *Ockels W.J.* LunARSat — educational small satellite for lunar south pole investigation at entry of new millennium // Abstr. of the 3rd intern.conf. on the exploration and utilization of the Moon (28th Vernadsky-Brown microsypm. On comparative planetology (Oct. 11-14, 1998). — Moscow. — P. 71.
34. *Racca G.P., Chicarvo A., Whitcomb D.* The Moon Orbiting Observatory, a low-cost mission for global lunar characterization // Acta Astronaut. (UK), Suppl. issue. — 1995. — **35**. — P. 329-335.
35. *Shevchenko V.V.* The choice of location of the lunar base // NASA Conf. Publ. — 1992. — **1**. — P. 155-161.
36. *Shkuratov Yu.G., Litvinenko L.N., Shulga V.M., Yatskiv Ya.S., Kislyuk V.S.* Prospective ukrainian lunar orbiter mission (Abstract) / 34th COSPAR Scientific assembly. The second World Space Congress. Houston TX USA 10-19 October 2002. Abstract #COSPAR02-A-01756, 2002. (<http://www.cosis.net/abstracts/COSPAR02/01756/COSPAR02-A-01756.pdf>)
37. *Sibing He.* Space Age Publishing Company. China (CNSA) views of the Moon (Abstract) / 34th COSPAR Scientific assembly. The second World Space Congress. Houston TX USA 10-19 October 2002. Abstract #COSPAR02-A-03008, 2002. (<http://www.cosis.net/abstracts/COSPAR02/03008/COSPAR02-A-03008.pdf>)
38. *Smith H.J.* Lunar-based Astronomy // Observatories in Earth orbit and beyond (ed. Kondo Y). Proc. of the 123rd Colloqu. IAU, held in Greenbelt, Maryland (USA), April 24-27, 1990. — Kluwer Acad. Publ. Dordrecht/Boston/London. — 1990. — P. 365-375.
39. *Stachnik R.V., Kaplan M.S.* NASA'S Future Plans for Lunar Astronomy and Astrophysics // Adv. Space Res. — 1994. — **14**, № 6. — P. 245-251.
40. *Stahle R.L., Burke J.D., Snyder G.C., Dowling R., Spudis P.D.* Lunar base sitting // Resources of near-Earth space (eds. Lewis J., Matthews M.S., Guerrieri M.L.). The University of Arizona Press, Tucson&London. — 1993. — P. 427-446.
41. *Swanson P.N., Cutts J.A.* Astronomical observatories on the Moon // Adv.Space Res. — 1994. — **14**, № 6. — P. 123-127.
42. *Uesugi K.* Results of the MUSES-A "Hiten" mission // Adv. Space Res. — 1996. — **18**, № 11. — P. 11(69)-11(72).
43. *Volonte S.* Astronomy from a lunar base // IAU Symp.166 Astronomical and Astrophysical Objectives of Sub-milliarcsecond Optical Astrometry (eds Hog E., Seidelmann P.K.). Kluwer, The Netherlands. — 1995. — P. 347-350.

Надійшла до редакції 5.07.2003