

УДК 523.3:001.18

## В. С. Кислюк

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ

# Повернення до Місяця

*Надійшла до редакції 25.05.04*

Проаналізовано основні етапи космічної ери дослідження Місяця. Розглянуто питання наукової доцільності створення у майбутньому на місячній поверхні населених наукових та науково-виробничих баз. Зокрема, такі бази розглядаються як ідеальне місце для всевільової астрономії.

## ВСТУП

Протягом останніх 20 років провідними космічними агентствами світу ведуться інтенсивні дослідження проблем 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 точкою зору. Стан проблеми вивчення Місяця за допомогою космічних апаратів, а також деякі аспекти практичної реалізації цих грандіозних планів аналізуються у пропонованій статті.

### 1. «ЗОЛОТА ПОРА» ДОСЛІДЖЕННЯ МІСЯЦЯ

Не минуло і року від дня запуску в СРСР першого штучного супутника Землі, коли 17 серпня 1958 р. США намагалися взяти реванш запуском першого штучного супутника Місяця. Проте ця спроба виявилася невдалою. На 77 секунді після запуску носій КА «Піонер» вибухнув. Після цього упродовж 1958 р. було зроблено ще кілька спроб (американських і радянських) здійснення польоту до Місяця, але всі вони були невдалими.

Епоха досліджень Місяця за допомогою космічних апаратів (КА) розпочалась в 1959 р., коли в Радянському Союзі було здійснено три піонерські 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 (Бур) та перший штучний супутник Місяця («Луна-10»), а в 1970 р. — перший саморушний апарат «Луноход-1», доставлений на місячну поверхню КА «Луна-17».

В космічній одисеї першого етапу досліджень Селени СРСР тримав явну перевагу. Тривалий час США лише повторювали космічні експерименти СРСР, але після епохального космічного польоту Юрія Гагаріна терпець американців увірвався. 25 травня 1961 р. президент США Джон Кеннеді звернувся до Конгресу країни 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 людини на Місяць. Так з'явилась програма «Аполлон». Результати її виконання такі: від першого пілотованого обльоту Місяця космічним кораблем «Аполлон-8» (грудень 1968 р.) до останнього перебування астронавтів КК «Аполлон-17» на місячній поверхні (грудень 1972 р.) здійснено: дев'ять пілотованих польотів до Місяця (лише один з них, «Аполлон-13», виявився невдалим), у ході яких виконано шість 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 вимірювань.

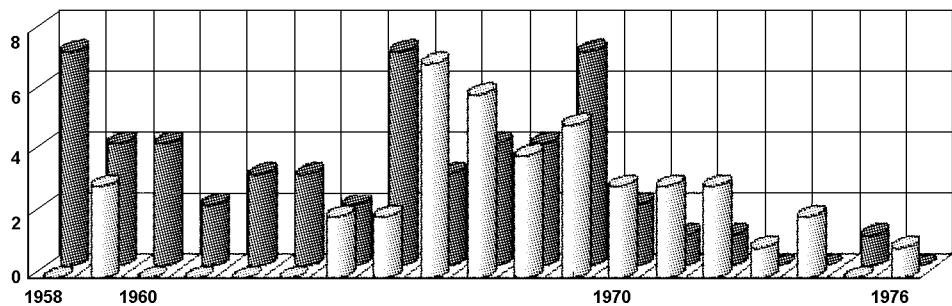


Рис. 1. Розподіл запусків КА до Місяця у 1958—1976 рр.: світлі стовпчики — успішні запуски, темні — невдали

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
«Рейндже́р»	9	4	5	44.4	1961—1965
«Сервейор»	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

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 у Радянському Союзі та Китаї. Справа в тому, що ще задовго до програми «Аполлон» в СРСР були плани активного освоєння Місяця. Під керівництвом С. П. Корольова розроблявся проект пілотованої місячної експедиції. Готувалися спеціальні загони астронавтів, були розроблені конструкції відповідного одягу для роботи на місячній поверхні тощо, але в грудні 1968 р. американські астронавти на КК «Аполлон-8» першими в світі облетіли (аж 10 разів) Місяць. Уже після виконання програми «Аполлон» в СРСР розроблявся проект створення місячної бази. Проте наприкінці 1970-х років ці роботи були припинені, точніше було вирішено відкласти їхнє проведення на початок 21-го століття.

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, який іноді називають «золотою порою» вивчення Місяця [27]. В табл. 1

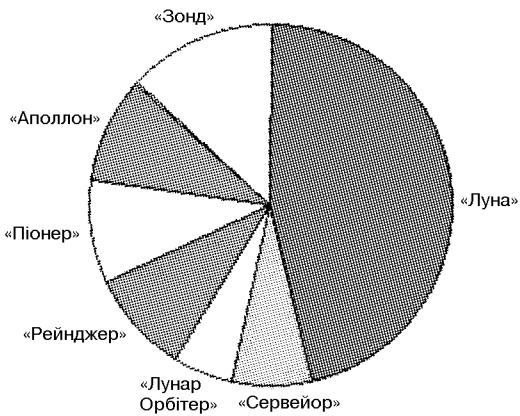


Рис. 2. Співвідношення запущених КА (1958—1976 рр.)

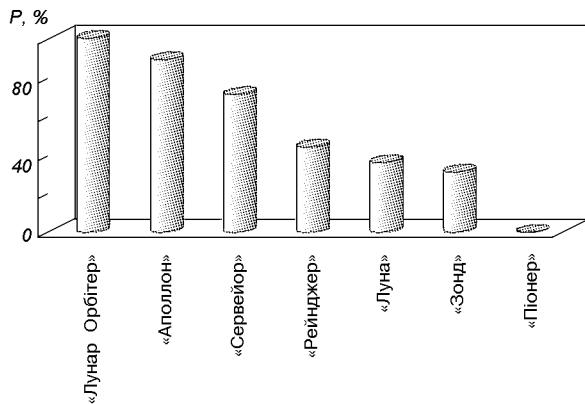


Рис. 3. Ефективність  $P$  (у відсотках) реалізації запусків КА до Місяця

приведена статистика запусків до Місяця протягом цього періоду, підготовлена за даними [6], а на рис. 1—3 проілюстровано розподіл всіх запусків до Місяця по роках, їхнє співвідношення та ефективність.

Як свідчать наведені дані, «золота пора» характеризується значним драматизмом. Велика кількість невдач не дивує: йшло відпрацювання принципово нової техніки і технології.

## 2. ПОВЕРНЕННЯ ДО МІСЯЦЯ

Після польоту КА «Луна-24» у дослідженнях Місяця настало затишня, 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 продовжувалась «золота пора». Польотами американських зондів «Клементина» (1994 р.) і «Лунар Проспектор» (1998 р.) активні дослідження Місяця відновились.

Затишня у вивченні Місяця не можна назвати пасивним. По-перше, знадобились довгі роки для осмислення та 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 до Місяця» [23].

20 липня 1989 р., в день 20-ї річниці першої посадки КК «Аполлон» з астронавтами на місячну поверхню, президент США Джордж Буш-старший оголосив програму SEI (Space Exploration Initiative) [43], покликану прискорити пілотовані дослідження Сонячної системи, починаючи з активного освоєння Місяця. Ця відозва, як і згадане історичне послання президента США Джона Кеннеді, стимулювала проведення наукових досліджень та науково-технічних розробок, спрямованих на створення передумов для побудови в недалекому майбутньому багатопрофільних постійно діючих 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.

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 на звою «Mission to the Moon»: «Science of the Moon» (комплексні дослідження Місяця шляхом дистанційного зондування), «Science on the Moon» (комп-

лексні дослідження з підготовки до створення населеної бази на Місяці) і «Science from the Moon» (розгортання наукових досліджень на поверхні Місяця). У зв'язку з цим стратегія ЄКА базується на розробці і створенні полярного супутника Місяця, посадочного апарату 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).

На початку ХХІ ст. космічне агентство Китаю (China National Space Administration) почало розробку амбіційної довгострокової п'ятиетапної програми створення місячної бази протягом 2005—2030 рр. [41]. 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) [32].

14 січня 2004 р. президент США Джордж Буш виступив в штаб-квартирі НАСА з новою ініціативою з освоєння космічного простору, орієнтованою на відновлення пілотованих польотів на Місяць та його активне освоєння, а також організацію експедицій на Марс та інші планети Сонячної системи. Ця ініціатива викликала широкий резонанс у світі. Створення населеної бази на Місяці, у тому числі і як стартової платформи для польотів до інших світів, стало першочерговим завданням цієї програми.

## 3. ОГЛЯД НОВИХ КОСМІЧНИХ МІСІЙ ДО МІСЯЦЯ

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

**3.1. Реалізовані проекти кінця ХХ ст. MUSES-A/Hiten/Hagoromo.** 24 січня 1990 р. Японія запустила свій перший КА MUSES-A (Mu-launched Space Engineering Satellite) вагою 196 кг на високоорбітальну навколоземну еліптичну орбіту (з апо-

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	мікроКА
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)	2005	ШСМ+ Пенетратори
SELENE	Японія (JAXA)	2005	ШСМ+ПМ
Chang E	Китай (CNSA)	2006— 2007	ШСМ
Chandrayaan-1	Індія (ISRO)	2007— 2008	ШСМ
LRO	США (NASA)	2008	ШСМ
Luna-Glob	Росія	?	ШСМ+ПМ

Примітка. ШСМ — штучний супутник Місяця, ПМ — посадочний модуль.

гесм близько 500 тис. км) [47]. Після запуску цей КА був перейменований на Hiten (буддійський ангел, який грає музичну 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, притому третьою, яка послала КА до Місяця, а також

першою, яка порушила затишня після «золотої пори».

**Galileo**, запущений США 18 жовтня 1989 р. На шляху до Юпітера, з відвідуванням Венери «Галілео» мав два прольоти системи Земля—Місяць, під час яких була отримана певна кількість спектрально-спектрофотометричних 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** [34]. Поява цього КА була дещо несподіваною. Розроблений організаціями Міністерства Оборони США в рамках проекту «зоряні вояні», 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—2900 км). Сталося так, що запланована як попутна програма дослідження Місяця виявилась основною для КА «Клементина». За три місяці його активної роботи отримано безпредметний обсяг інформації про Місяць: відзнято 38 млн км<sup>2</sup> площині 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 у 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 «Дискавері» НАСА, 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 нейtronний спектрометри, магнітометр, електронний рефлексометр, спектрометр альфа-частинок). Одним з основних був гравіта-

ційний експеримент, пов'язаний з падінням КА в кратер («холодну пастку») на південному полюсі Місяця з імовірним заляганням водяного льоду. Проте однозначної відповіді він не дав. Питання існування таких запасів залишається відкритим.

Безпредecedентні 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.

**3.2. Проекти в стадії реалізації. STARDUST** [19], четверта з місій програми НАСА «Дискавері», призначена для взяття зразків кометного пилу і доставки їх на Землю. КА «Стардаст» запущений 7 лютого 1999 р., в січні 2004 р. він пролетів через кому комети Вільда-2, на відстані 230 км від її ядра (389 млн км від Землі). Виконано фотозйомку ядра комети та взято зразки кометного пилу, які в січні 2006 р. будуть доставлені на Землю. Тричі (після запуску в 1999 р., під час здійснення гравітаційних маневрів в системі Земля–Місяць у січні 2001 р. та при поверненні на Землю 2006 р.) КА повинен виконати знімання Місяця камерою, оснащеною вісімома фільтрами.

**SMART-1** (Small Missions for Advanced Research in Technology 1) [21] — перша місячна програма Європейського Космічного Агентства. Крім прецензійних і середнього розміру (типу M3) програм ЄКА розробляє малі, гнучкі і відносно недорогі космічні апарати. Таким є КА SMART-1, запущений 28 вересня 2003 р. на геостаціонарну орбіту. Мета місії: відпрацюування нових технологій, які будуть використані згодом у великих космічних проектах. Передбачається, що КА за допомогою іонного двигуна, рухаючись спіральною еліптичною траєкторією, в березні 2005 року досягне низької полярної навколомісячної орбіти для виконання топографічних, хімічних і мінералогічних досліджень Місяця.

**3.3. 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.** На початку 1980-х рр. в колишньому СРСР був близьким до завершення проект 1Л полярного супутника Місяця [3], історія виникнення якого розпочалась, як уже відмічалось, ще в «доаполлонівський» період. Супутник передбачалось запустити в 1988 р. на високу, майже колову (100 км), навколомісячну 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 вимірюванням світлових потоків для картографування фотометричних і поляриметричних характеристик місячної поверхні. На жаль, запуск цього полярного супутника так і не відбувся.

**Euromoon 2000** [35], 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 аванпоста на Місяці. В 1998 р. розробка проекту була припинена за браком фінансування.

**LunARSat** (Lunar Academic and Research Satellite) [36] — проект мікроКА, який планувався до запуску на високу еліптичну полярну навколо-місячну орбіту (з периселенієм над південним полюсом Місяця) для проведення наукових досліджень місячного довкілля. В основному цей КА мав служити освітням цілям. Проект «Lunarsat» розроблявся в рамках програми «Euromoon 2000».

**Lunarstar/Gauss** [22] — чергова місія НАСА програми «Дискавері». Основна наукова мета КА «Lunarstar» пов'язувалась з вивченням місячної атмосфери, еволюції поверхні Місяця та дослідженнями в галузі сelenохімії. Передбачалось, що «Lunarstar», пербуваючи на майже коловій навколо-місячній 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) [25] 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 та *in-situ* вимірювань. КА включав платформу з саморушним апаратом, роботорукою, засобами тестування мі-

сячного 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) [37] — один з проектів-кандидатів для середнього розміру місії (M3) в рамках довгострокового наукового плану «Горизонт 2000», запровадженого ЄКА в 1984 р. (M1 — «Huygens/Cassini», M2 — INTEGRAL). Мета проекту: проведення глобальних дистанційних вимірювань місячної поверхні з орбіти полярного супутника Місяця і дослідження внутрішньої будови Місяця за допомогою субsatеліта. Оснащення: стереокамера, спектрометри від УФ до ІЧ, а також гамма- і рентгенівський 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, — проект LRI.

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

**3.4. Проекти, близькі до реалізації.** LUNAR-A [30] — космічна місія Японії, розробка якої розпочалась в 1993 р. Планувалась до реалізації в 1997 р., згодом запуски щорічно відкладався (зокрема через неполадки в сонячних батареях зонда) і тепер планується здійснити його в 2005 р. Основна мета місії: вивчення внутрішньої будови Місяця з використанням сейсмометрів (уп'ятеро чутливіших за ті, що були на КК «Аполлон») і зондів теплових потоків, вмонтованих в двох пенетраторах (раніше їх планувалось три), 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) [26] — перша частина (непілотований зонд) японської 30-річної програми створення бази на Місяці, спільний ISAS/NASDA (тепер JAXA) проект, який готовиться до запуску у грудні 2005 р. Основна мета проекту: отримати наукові дані про внутрішню будову і еволюцію Місяця і розвинуті 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.

Chang E [16, 41]. Програма «Chang-E» (в китайській легенді Чанг Е — юна фея, яка летить до Місяця) становить першу фазу виконання довгострокової місячної програми Китаю, остаточною метою якої, як уже згадувалось, є створення населеної місячної бази. На першому етапі програми планується в 2006—2007 рр. запустити супутник Місяця з метою отримання тривимірної моделі його поверхні, аналізу вмісту корисних копалин і мінералів у поверхневому шарі Місяця, а також дослідження стану космічного простору між Землею і Місяцем. На другому етапі передбачається м'яка посадка на місячну поверхню, а на третьому, заключному етапі — доставка зразків місячного ґрунту на Землю.

Chandrayaan-1 [24, 32]. Перший індійський полярний супутник-зонд Місяця (коло орбіта висотою близько 100 км) планується до запуску в 2007—2008 рр. Одним з основних завдань зонда буде пошук покладів на Місяці гелію-3 — стратегічного палива для майбутньої енергетики, а також побудова геологічних, мінералогічних і топографічних карт місячної поверхні на основі зондувань упродовж двох років функціонування на навколо місячній орбіті.

**Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO)** [28]. У відповідності з новою ініціативою Дж. Буша НАСА планує відправити до Місяця в 2008 р. дослідницький орбітальний зонд Lunar Reconnaissance Orbiter (місячний рекогносцировочний супутник). Основна мета: збір інформації, яка може бути корисною для вибору місць посадок майбутніх безпілотних і пілотованих місячних експедицій, а також для пошуку корисних копалин.

**Luna-Glob** [1, 45] — російський проект (Russian Lunar Explorer Project). Переслідує дві цілі: вияснення внутрішньої будови Місяця (наявність залишного ядра і його розміри) і визначення складу летючих речовин в полярних регіонах Місяця. Плануються два сейсмічні експерименти: використання рознесених на відстані порядка 300 м посадочних апаратів з широкосмуговими сейсмометрами та створення малоапертурної сейсмічної мережі (10 сейсмометрів на площині близько 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 для низькочастотного радара, призначеного для підповерхневого зондування Місяця. Можливий термін запуску — не раніше 2006 р.

#### 4. СТРАТЕГІЯ ОСВОЄННЯ МІСЯЦЯ

**4.1. Вирішення глобальних проблем земної цивілізації.** Дві основні проблеми постануть перед земною цивілізацією у 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. У той же час наслідки другої проблеми можуть бути не менш фатальними [8, 29]. Складовими цієї проблеми є (див. рис. 4): виснаження природних ресурсів; перевиробництво енергії на Землі, яке спричиняє 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 за рахунок 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 надходить на земну поверхню через атмосферу. В протилежному разі розпочинаються незворотні процеси порушення природного балансу, які зумовлюють згубні порушення умов проживання на Землі. При існуючому сьогодні рівні споживання енергії на душу населення і збереженні тенденції зростання його чисельності припустима норма буде перевищена уже до 2100 р., що приведе 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 [29].

Якоюсь мірою посприяти пом'якшенню 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. 4).

Один з можливих шляхів пов'язаний з будівництвом космічних електростанцій, які акумулюва-



Рис. 4. Глобальні проблеми земної цивілізації

ли б сонячну енергію і передавали її на Землю. Можливі такі варіанти спорудження космічних станцій: а) низькі навколоzemні 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 навколоzemних орбітах.

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

Крім того, МКС не довговічні, бо їхні орбіти під впливом гравітаційного поля Землі з часом деградують і через 12–15 років 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 кобальту — металу, який використовується для отримання 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, кобальту — 500 млн т, що компенсує потребу людства в цих металах упродовж тривалого часу [8].

Проте вважається, що найбільшого ефекту можна досягнути шляхом переходу енергетики на використання промислових установок, які працюють на реакції синтезу дейтерію та ізотопу гелію-3. Переваги такого процесу полягають у повній відсутності радіоактивної небезпеки і екологічно чистих відходах (протони і гелій-4). На Землі запаси гелію-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 гелію-3. Такої кількості екологічно чистого ядерного пального може вистачити приблизно на

5000 років для забезпечення електроенергією всього людства з урахуванням прогресивного збільшення 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.

**4.2. Наукова доцільність створення постійно діючих місячних баз.** Доцільність активного освоєння Місяця шляхом створення на його поверхні постійно діючих баз (ПМБ) можна розглядати в кількох аспектах [17, 23].

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 навколоzemних станціях. Отримання конструктивних матеріалів, ракетного пального та всіх елементів системи життезабезпечення безпосередньо на Місяці буде значно дешевшим, ніж доставка їх з Землі. У 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 МКС повинно істотно здешевити їхнє функціонування.

4. Місяць — стартова платформа для проведення пілотованих місій на Марс (інші планети і астероїди), особливо для відпрацювання відповідних технологій. Освоєння Марса обійтеться людству

значно дешевше і відбудеться швидше, якщо основні елементи і технології будуть відпрацьовані на Місяці.

5. Освоєння Місяця — потенційно можливий крок людства із розселення 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 [23]. 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».

**4.3. Переваги місячної бази для астрономії.** Створення ПМБ відкриває надзвичайно великі можливості для астрономії, астрофізики, радіоастрономії, а також фізики, хімії та наук про життя. У порівнянні з навколоzemними станціями (НЗС) ПМБ має суттєві переваги [2, 7, 9, 14, 20, 33, 42, 48].

1. Надзвичайно високий вакуум ( $10^5$  молекул/ $\text{см}^3$  — нейтральний газ; менш ніж 100 іонів/ $\text{см}^3$  — іонізований газ) створює ідеальні умови для проведення астрономічних спостережень (всехвильове вікно у Всесвіт): темне небо (УФ-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, ІЧ- і оптичних інтерферометрів з наддовгими базами. Ідеальна природна лабораторія для проведення фізичних, хімічних, біологічних і медичних експериментів.

2. Мала гравітація (прискорення вільного падіння  $g_m = 1/6$  земного), великий момент інерції Місяця і невисока сейсмічність полегшують установку телескопів великих розмірів з мінімальними механічними деформаціями та дають можливість побудови стабільних наддовгих інтерферометрических систем (з базами в декілька тисяч кілометрів), 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 сприятлившу обстановку для роботи, ніж в умовах мікрагравітації на НЗС (ніхто і нішо не «плаває»).

3. Сейсмічна стабільність поверхні та практична відсутність геологічної активності сприяють розгортанню будівництва. Сейсмічна енергія на Місяці становить  $10^{-8}$  від земної, а магнітуди селенотрусів становлять в середньому 1–3 бали за шкалою Ріхтера. Завдяки синхронній орбіті (Місяць поверну-

тий одним боком до Землі) на Місяці практично відсутні припливні деформації. Місяць має постійний припливний горб. Можливі додаткові припливні флукутації через лібрацію становлять не більше ніж 2 мм для десяти 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-пристроїми для компенсації сидеричного руху) та проведення постійного моніторингу мультиспектральних змін. Забезпечується також повільна зміна термальних умов довкілля.

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

6. Наявність природного охолодження приладів до дуже низьких температур створює необмежені можливості для кріогенної апаратури при ІЧ-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 життє- і енергозабезпечення.

10. Наявність «холодних пасток» в приполярних районах з можливими запасами водяного льоду.

11. Відсутність магнітного поля ( $\approx 0.003$ — $0.3$  мкТл). 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.

**4.4. Недоліки і обмеження місячної бази.** Поряд з перевагами ПМБ має і певні недоліки та обмеження у порівнянні з НЗС [14, 23, 33, 42], 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). Розглядається перспектива використання реакції синтезу дейтерію та ізотопу  $^3\text{He}$ .

2. Мікрометеоритна небезпека. Через відсутність атмосфери (в земній атмосфері мікрометеороїди просто згорають) можливі утворення мікрократерів діаметром в кілька десятків мікрон (до 300 по-дій/ $\text{м}^2/\text{рік}$ ), що складає загрозу дзеркалам великих телескопів, а також потребує захисту споруд.

3. Велика забрудненість пилом, створюваним від падіння метеороїдів, а також в результаті діяльності на Місяці (посадка і старт КА, робота механізмів і всієї інфраструктури бази). Пил (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 пилом, піднятим самим ровером.

4. Великі перепади температур дня і ночі. 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 привести 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 ніж 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 10<sup>5</sup> \$/кг).

**4.5. 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, 31, 43, 46, 48].

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

1. Оптичний телескоп з апертурою від 0.5 до 1 м (еквівалент наземного 4-м телескопа), повністю керований із Землі.

2. 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 розділенням до 0.3 мсд (мілісекунди дуги).

На стадії створення ПМБ можливий варіант оснащення місячних обсерваторій, який включатиме 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 кілометрів. Інтерферометр забезпечить мікросекундну точність спостережень, достатню для розділення інших планетних систем, уточнення позагалактичної шкали відстаней, детально-го вивчення динаміки і структури найближчих зір тощо.

2. Субміліметровий інтерферометр (Lunar Submillimeter Interferometer), який працюватиме в субміліметровому діапазоні (30—300) мкм, забезпечуючи кутове розділення 1—10 мсд. Така ж Y-подібна кілометрова база розташування телескопів-антен діаметром 4—5 м (12 телескопів у варіанті [46]). Ця система телескопів могла б бути продуктивною, зокрема, для розв'язання багатьох проблем позагалактичної астрономії.

3. Дуже низькочастотний радіотелескоп VLFRA (Lunar Very Low Frequency Radio Array) — працюватиме в декаметровому і кілометровому діапазонах (довжини хвиль від 10 до 300 м, частоти від 1 до 30 МГц), недоступних для наземних радіотелескопів через поглинання іоносфериою Землі. VLFRA — складна антenna система (19 елементів вздовж 70-км Т-подібної бази, в перспективі 100 елементів вздовж 200-км бази), яку пропонується розгорнути на зворотному боці Місяця (можливо, в кратері Ціолковський), захищенному 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 Габбл, але з більшою ефективністю. Прототипом LOT для встановлення на навколоземній орбіті може стати телескоп з діаметром дзеркала 4-5 м.

У відаленій перспективі розглядається можливість створення мережі телескопів, яка охоплювала б всю поверхню Місяця (видимий і зворотний боки) та радіоінтерферометра з базою Земля–Місяць. Обґрутується можливість створення міжнародної місячної обсерваторії [18].

**4.6. Вибір місця для ПМБ і місячних обсерваторій.** Вимоги щодо найвигіднішого розташування місячних баз залежать від їхнього призначення. В основному можна розглядати дві категорії користувачів ПМБ, вимоги яких можуть бути суттєво різними. Одних (селенологів, сelenофізиків та представників інших сelenонаук) 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, напаки, Земля — це джерело електромагнітних перешкод. У будь-якому випадку при виборі місця для ПМБ необхідно керуватися такими факторами, як безпека, економічність, можливість негайногого використання уже відомих ресурсів [44].

Ще в 1920 р. один з пionерів ракетної техніки Р. Х. Годдард зазначав [44], що найкраще місце на Місяці було б на північному чи південному полюсі, де успішно можуть бути використані вічно затінені і вічно освітлені місця. Полярні області цікаві і з точки зору астрономії. Суттєвим недоліком поляр-

ної 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 (радіоспокій); лімб (майже радіоспокій, видимість Землі); видимий бік (видимість Землі, постійний надійний зв'язок); проекtorальна зона (видимість всього неба, вільний доступ з будь-якої орбіти). З точки зору достатньої вивченості місцевості, простоти транспортування і налагодження надійного радіотелевізійного зв'язку для розміщення бази пропонується, зокрема, західна частина Океану Штурмів [38].

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; леткі компоненти від обробки матеріалів; освітленість; радіошуми; вібрації тощо. Остаточний вибір місця для ПМБ, в тому числі і для місячних обсерваторій можна буде зробити на основі тривалих дистанційних зондувань місячної поверхні за допомогою штучних супутників Місяця.

## 5. ВИСНОВКИ

В цьому огляді був розглянутий головним чином астрономічний аспект подальшого освоєння Місяця. Насправді ж, якщо говорити про активне «обживання» нашого природного супутника, то спектр пов'язаних з цим проблем суттєво розширяється. В усякому разі сучасний стан розвитку космічних технологій, набутий досвід при виконанні попередніх космічних місій, в тому числі і на орбітальних навколоземних 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 оголошенні на 34-й науковій асамблей КОСПАР (Х'юстон, США, 10—19 жовтня 2002 р.). Це, зокрема, згадані вище наміри Китаю [41] та Індії [32]. Концепція проведення дистанційних поляриметричних та радіофізичних досліджень місячної поверхні за допомогою полярного супутника Місяця вивчається також в Україні [39, 40].

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 відповідної міжнародної кооперації.

1. Галимов Э. М., Куликов С. Д., Кремнев Р. С. др. Российский проект исследования Луны // Астрон. Вестник.—1999.—33, № 5.—С. 374—385.
2. Кислюк В. С. Проблемы освоения Місяця // «Місяць з усіх боків». — К.: Наук. думка, 1993.—С. 112—128.
3. Кислюк В. С., Шкуратов Ю. Г., Яцків Я. С. Космічні дослідження Місяця: 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. — М.: Изд-во МГУ, 1993.—С. 54—65.
5. Мороженко А. В. Лунная база: мониторинг глобальных изменений на Земле // Кинематика и физика небес. тел.—2001.—17, № 6.—С. 549—559.
6. Мороз В. И., Хантress В. Т., Шевалев И. Л. Планетные экспедиции XX века // Космич. исследования.—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-худ. альманах).—1997.—№ 3.—С. 62—71.
8. Шевченко В. В. Взгляд мирового сообщества на проблему внеземных ресурсов. — М.: 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 / ВИНТИ. Исследование космического пространства.—1989.—30.—116 с.
10. Bank C., Kassing D. Technologies for Automatic Lunar Exploration Missions // ESA Bull.—1993.—N 74.—P. 29—35.
11. Binder A. B. Lunar prospector: Overview // Science.—1998.—281, N 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 challenges 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 Conf. Ser.—1995.—79.—P. 242—251.
16. China's Moon Flights. (<http://www.spacetoday.org/China/China-Moonflight.html>)
17. Duke M. B. Why explore the Moon? // AIAA Pap.—1992.—N 1029.—P. 1—9.
18. Durst S. International Lunar Observatory // Abstr. of the 3rd Inter. conf. on the exploration and utilization of the Moon (28th Vernadsky-Brown microsymp. On comparative planetology (Oct. 11—14, 1998). — Moscow, 1998.—P. 50.
19. Duxbury T. Lunar exploration by the NASA STARDUST Discovery mission // Abstr. of the 3rd Inter. conf. on the exploration and utilization of the Moon (28th Vernadsky-Brown microsymp. On comparative planetology (Oct. 11—14, 1998). — Moscow, 1998.—P. 64.
20. Foing B. H. The Moon as a site for Astronomy and space science // Adv. Space Res.—1994.—14, N 6.—P. 9—18.
21. 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 microsymp. On comparative planetology (Oct. 11—14, 1998). — Moscow, 1998.—P. 63.
22. Haesler B., Floberghagen R., Wing I., 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 microsymp. On comparative planetology (Oct. 11—14, 1998). — Moscow, 1998.—P. 73.
23. IAA Ad Hoc Committee «Return to the Moon». The case for an international lunar base // Acta Astronaut. (UK).—1988.—17, N 5.—P. 463—489.
24. India's first mission to Moon Chandrayaan-1. Announcement of Opportunity. <http://www.isro.org/chandrayaan-1/announcement.htm>.
25. Kassing D., Novara M. LEDA — a first step in ESA's lunar exploration initiative // ESA Bull.—1995.—N 82.—P. 16—26.
26. Kinoshita T., Itagaki H., Moriuma J., et al. Outline of the experimental lunar lander in SELENE project // Proc. 12<sup>th</sup> Int. Symp. On Space Flight Dynamics. — 1997.—P. 361—364.
27. Lewis J. S., McKay D. S., Clark B. C. Using resources from near-Earth space // Recources of near-Earth space / Eds J. Lewis, M. S. Matthews, M. L. Guerrieri. — Tucson: The Univ. of Arizona Press, 1993.—P. 3—14.
28. Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO). Acquisition Program. (<http://centauri.larc.nasa.gov/LRO/announcement.html>).
29. Lyonnet du Montier M., Collet J. Using Lunar Resources — The next step? // ESA Bull.—1994.—N 77.—P. 59—68.
30. Mizutani H. Lunar interior exploration by Japanese Lunar Penetrator Mission, LUNAR-A // J. Phys. Earth.—1995.—43, N 5.—P. 657—670.
31. McGraw J. T. Lunar Transit Telescopes // Optical Astronomy from the Earth and Moon / ASP Conf. Ser.—1994.—55.—P. 283—302.
32. Moon mission study group. Indian Space Research Organisation. Indian mission to Moon: science goals, payloads and launch scenario(Abstract) / 34<sup>th</sup> COSPAR Scientific assembly. The second World Space Congress. Houston TX USA 10—19 October 2002. Abstract # COSPAR02-A-00891, 2002.
33. Mumma M. J. Astrophysics from the Moon // Observatories in Earth orbit and beyond / Ed. by Y. Kondo: Proc. of the 123 Coll. IAU; Greenbelt, Maryland (USA), April 24—27, 1990. — Dordrecht/Boston/London: Kluwer, 1990.—P. 381—390.
34. Nozette S., Pleasance L. P., Horan D. M., et al. The Clementine mission to the Moon: science overview // Science.—1994.—266.—P. 1835—1839.
35. Ockels W. J. comp. EuroMoon2000. A plan for a European Lunar South Pole expedition. — Paris: ESA, 1996.—ESA-

- BR 122.—20 p.
36. Ockels W. J. LunARSat — educational small satellite for lunar south pole investigation at entry of new millenium // Abstr. of the 3rd intern. conf. on the exploration and utilization of the Moon (28th Vernadsky-Brown microsymp. On comparative planetology (Oct. 11–14, 1998). — Moscow.—P. 71.
  37. Racca G. P., Chicarro 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.
  38. Shevchenko V. V. The choice of location of the lunar base // The Second Conference of Lunar Bases and Space Activities of the 21 Century / NASA Conf. Publ.—1992.—1.—P. 155—161.
  39. Shkuratov Yu. G., Litvinenko L. N., Shulga V. M., et al. Prospective ukrainian lunar orbiter mission (Abstract) / 34<sup>th</sup> COSPAR Scientific assembly. The second World Space Congress. Houston TX USA 10—19 October 2002. Abstract # COSPAR02-A-01756, 2002.
  40. Shkuratov Yu. G., Lytvynenko L. M., Shulga V. M., et al. Objectives of a prospective Ukrainian orbiter mission to the Moon // Adv. Space Res.—2003.—31, N 11.—P. 2341—2345.
  41. Sibing He. Space Age Publishing Company. China (CNSA) views of the Moon (Abstract) / 34<sup>th</sup> COSPAR Scientific assembly. The second World Space Congress. Houston TX USA 10-19 October 2002. Abstract # COSPAR02-A-03008, 2002.
  42. Smith H. J. Lunar-based Astronomy // Observatories in Earth orbit and beyond / Ed. by Y. Kondo.: Proc. of the 123<sup>rd</sup> Colloqu. IAU, held in Greenbelt, Maryland (USA), April 24—27, 1990. — Dordrecht/Boston/London: Kluwer, 1990.—P. 365—375.
  43. Stachnik R. V., Kaplan M. S. NASA's Future Plans for Lunar Astronomy and Astrophysics // Adv. Space Res.—1994.—14, N 6.—P. 245—251.
  44. Staehle R. L., Burke J. D., Snyder G. C., et al. Lunar base sitting // Recources of near-Earth space / Eds J. Lewis, M. S. Matthews, M. L. Guerrieri. — Tucson: The Univ. of Arizona Press, 1993.—P. 427—446.
  45. Surkov Yu. A., Moskaleva L. P., Scheglov O. P., et al. Lander and Scientific Equipment for Exploring Volatiles on the Moon // Planet. Space Sci.—1999.—47, N 8/9.—P. 1051—1060.
  46. Swanson P. N., Cutts J. A. Astronomical observatories on the Moon // Adv. Space Res.—1994.—14, N 6.—P. 123—127.
  47. Uesugi K. Results of the MUSES-A «Hiten» mission // Adv. Space Res.—1996.—18, N 11.—P. 11(69)—11(72).
  48. Volonte S. Astronomy from a lunar base // IAU Symp. 166 “Astronomical and Astrophysical Objectives of Submilliarcsecond Optical Astrometry” / Eds E. Hog, P. K. Seidelmann. — Netherlands: Kluwer, 1995.—P. 347—350.

#### PROBLEMS OF COLONIZATION OF THE MOON

V.S. Kislyuk

In the brief review the main landmarks of space era of Moon's investigations are discussed. The problems of scientific expediency of development in the future of permanent lunar bases are considered. In particular, the advantages of a lunar base for astronomy sciences are discussed.