

УДК 523.3:001.18

В. С. Кислюк

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ

КОСМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІСЯЦЯ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ (ОГЛЯД)

подається огляд основних результатів космічних місій до Місяця упродовж періоду «Повернення до Місяця» (кінець ХХ ст. — сьогодення). Проведено аналіз реалізованих місячних проєктів та розглянуто плани досліджень Місяця за допомогою космічних апаратів на найближчу перспективу.

ВСТУП

22 серпня 1976 р. АМС «Луна-24» доставила на Землю останню порцію місячного ґрунту вагою 170 г, добутого в результаті обертово-ударного буріння до глибини близько двох метрів в районі південно-східної околиці Моря Криз. Цією місією було завершено майже 18-річний період космічної ери дослідження Місяця, названий «Золотою порою» [7]. В цей час вперше в історії людства були здобуті епохальні досягнення: попадання в Місяць («Луна-2»), фотографування його зворотного боку («Луна-3»), м'яка посадка на місячну поверхню («Луна-9»), запуск штучного супутника Місяця («Луна-10»), пілотований обліт Місяця («Аполлон-8») та висадка астронавтів на його поверхню («Аполлон-11»), автоматична доставка зразків місячного ґрунту на Землю («Луна-16»), робота дистанційно керованого місяцехода («Луноход-1», доставлений КА «Луна-17»).

Політ «Луна-24» знаменний ще й тим, що вже тоді, 37 років тому, в доставлених на Землю зразках місячного ґрунту була виявлена вода [3]. Це відкриття було настільки несподіваним, що його автори заявили про це дуже обережно, поставивши знак запитання в заголовку статті [1]. Лише через 18 років потому, з польотом КА «Клементина» стало актуальним питання наявності води на

Місяці, з пошуками якої так чи інакше пов'язані всі подальші місячні місії.

Після польоту зонда «Луна-24» настало тривале затишшя у дослідженнях Місяця за допомогою космічних апаратів, які відновилися лише в останнє десятиріччя ХХ ст. Розпочався новий етап місячної гонки, відомий тепер як «Повернення до Місяця». В даному огляді йтиметься про стан та найближчі перспективи виконання космічних місій з дослідження Місяця з часу відновлення інтересу до природного супутника Землі. Спочатку нагадаємо коротко про перші космічні місії, здійснені на цьому етапі (табл.1).

РЕАЛІЗОВАНІ ПРОЕКТИ КІНЦЯ ХХ — ПОЧАТКУ ХХІ СТОЛІТЬ

20 липня 1989 р., в день 20-ї річниці першої посадки КА «Аполлон» з астронавтами на місячну поверхню, президент США Джордж Буш-старший оголосив програму SEI (*Space Exploration Initiative*), покликану прискорити пілотовані дослідження Сонячної системи, починаючи з активного освоєння Місяця [41]. Ця відозва стимулювала проведення наукових досліджень та науково-технічних розробок, спрямованих на створення передумов для побудови в недалекому майбутньому багатопрофільних місячних баз. З ініціативи НАСА (*National Aeronautics and Space Administration*) розпочалось здійснення програми «Дискавері» (*Discovery*), призначеної для планомірного дослідження об'єктів Сонячної системи.

На сьогодні реалізовано 12 проектів цієї програми, в тому числі два місячні: «Лунар Проспектор» і GRAIL.

Першою країною, яка порушила тривале затишшя у дослідженнях Місяця, стала Японія.

MUSES-A (*Mu-launched Space Engineering Satellite*) — перший місячний зонд, запущений Японією 24 січня 1990 р. на високоорбітальну навколосезну еліптичну орбіту (з апогеєм близько 500 тис. км) [43]. Відразу після запуску він був перейменований на «Hiten», який здійснивши три оберти по орбіті, випустив мініатюрний (діаметром 30 см) супутник Місяця «Hagoromo» (невдовзі єдиний прилад на ньому — температурний датчик — відмовив, і зв'язок з супутником було втрачено). Після запуску космічного експреса «MUSES-A/Hiten/Hagoromo», головною метою якого була перевірка і відпрацювання космічної техніки, Японія стала четвертою космічною державою світу, притому третьою країною, апарат якої був доставлений на Місяць, а також першою, яка порушила затишшя після «Золотої пори».

На виклик Японії відповіли Сполучені Штати Америки, відправивши до Місяця один за другим космічні апарати «Клементина» та «Лунар Проспектор».

«**Клементина**» (Clementine) — спільна місія Командування повітряно-космічної оборони Північної Америки і НАСА [32]. Запуск здійснено 25 січня 1994 р. з метою вивчення астероїдів при зближенні з ними. Проте основною програмою для нього стали дослідження Місяця. Зонд був оснащений чотирма знімальними камерами, а також лазерним альтиметром. Здобуті ним дані дали змогу вивчити багато питань, зокрема

уточнення моделей гравітаційного поля та топографії Місяця; побудови глобальної тривимірної моделі будови місячної кори; визначення складу морських базальтів на зворотному боці Місяця; дослідження басейну «Південний полюс — кратер Ейткен»; даних, які свідчать про можливість існування запасів водяного льоду у приполярних «холодних пастках» (проведено бістатичний експеримент з виявлення водяного льоду).

«**Лунар Проспектор**» (Lunar Prospector) — третя з місії згаданої вище програми НАСА «Дискавері» — був запущений 7 січня 1998 р. [13]. Завданням цього КА було: дослідження з низької полярної орбіти складу поверхневих порід Місяця, відкладень льоду в його полярних областях, вивчення детальної структури гравітаційного і магнітного полів Місяця та короткотривалих явищ, пов'язаних з процесами дегазації місячних порід. Все це виконувалось за допомогою п'яти інструментів, встановлених на борту КА (гамма- і нейтронний спектрометри, магнетометр/електронний рефлектометр, спектрометр альфа-частинок). Одним з основних був гравітаційний експеримент, пов'язаний з падінням КА у кратер («холодну пастку») на південному полюсі Місяця з імовірним заляганням водяного льоду, яке відбулось 30 липня 1999 р. Проте підтвердження наявності води (льоду) не було отримано.

SMART-1 (*Small Missions for Advanced Research in Technology* — SMART-1) був запущений 28 вересня 2003 р. в рамках першої місячної програми Європейського Космічного Агентства (ЄКА), [20]. Одне з основних призначень місії полягало у відпрацюванні нових технологій для реалізації майбутніх космічних польотів за допомогою малопотужних плазмових двигунів, які вико-

Таблиця 1. Повернення до Місяця: реалізовані проекти кінця XX ст. — початку XXI ст.

Назва КА	Країна	Запуск	Завершення роботи	Примітка (координати місця падіння на Місяць)
MUSES-A/Hiten «Hagoromo»	Японія	24.01.1990 р. ?	10.04.1993 р. 21.02.1990 р.	34.3°S, 55.6°E зв'язок втрачено
«Клементина»	США	25.01.1994 р.	07.05.1994 р.	спрямований до астероїда Географ (загубився)
«Лунар Проспектор»	США	01.01.1998 р.	31.07.1999 р.	87.7°S, 42.1°E (кратер Шумейкер)
SMART-1	ЄКА	30.09.2003 р.	03.09.2006 р.	34.4°S, 46.2°W

ристовують сонячну енергію для іонізації газу (в КА СМАРТ-1 використовувався ксенон). Більше року КА рухався по навколоземній спіралі, поступово розкручуючи її за допомогою такого двигуна, доки не досягнув 15 листопада 2004 р. низької полярної навколomisячної орбіти для виконання топографічних, хімічних і мінералогічних досліджень Місяця. На цій орбіті СМАРТ-1 перебував до вересня 2006 р. До складу його наукової апаратури входили сім приладів, в тому числі компактний рентгенівський спектрометр D-CIXS, камера з високим просторовим розділенням AMIE, дифракційний ІК-спектрометр SIR. З вересня 2006 р. СМАРТ-1, який перебував поблизу периселенію, припинив своє існування (упав на поверхню Місяця).

ГЛОБАЛЬНА СТРАТЕГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МІСЯЦЯ

14 січня 2004 р. президент США Джордж Буш-молодший виступив у штаб-квартирі НАСА з новою ініціативою з освоєння космічного простору (*Vision for Space Exploration*), 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 планет, стало першочерговим завданням цієї програми.

Нова ініціатива США виникла не на голому місці. Це була відповідь на нові виклики у місячній гонці, як це було в 1961 р. (народження програми «Аполлон» [6]). На цей раз каталізатором стали такі події: 1) успішно здійснений в 2003 р. згаданий уже експеримент ЄКА СМАРТ-1; 2) заява Китаю про серйозні наміри щодо здійснення розгорнутих планів дослідження Місяця після успішного польоту в 2003 р. першого китайського космонавта (тайконавта) Яна Лівєя (Китай зайняв третє місце у світі як країна, що має власну пілотовану космонавтику); 3) заяви про місячні амбіції, з якими виступили також Японія та Індія.

«Сузір'я» («Constellation»). За ініціативи Дж. Буша в 2004 р. в США приступили до реалізації нової космічної програми «Сузір'я» [19], метою якої стало створення необхідної інфраструктури для забезпечення польотів нового космічного корабля до МКС, а також польотів на Місяць (у перспективі і на Марс), створення постійної бази на Місяці. Ця інфраструктура мала включати: новий пілотований 4-місний дослідницький корабель (ПДК) «Оріон»; важкі ракети-носії (РН) «Арес-1» і «Арес-5» для виводу ПДК відповідно на навколоземну орбіту та за її межі; місячний модуль «Альтаїр» — для по-

Таблиця 2. Повернення до Місяця: реалізовані проекти в рамках глобальної стратегії

Назва КА	Країна	Запуск	Завершення роботи	Примітка (координати місця падіння на Місяць)
«Селена-1/Кагуя» Rstar (Okina) Vstar (Ouna)	Японія	14.09.2007 р.	11.06.2009 р. 12.02.2009 р. 29.06.2009 р.	65.5° S, 80.4° E 25.0° N, 161° W перебуває на орбіті ?
«Чан'є-1»	Китай	24.10.2007 р.	01.03.2009 р.	1.5° S, 52.4° E
«Чандраян-1» MIP	Індія	22.10.2008 р. 14.11.2008 р.	29.08.2009 р. 14.11.2008 р.	втрачено зв'язок 89.9° S, 0.0° E (кратер Шеклтон)
LRO LCROSS	США	18.06.2009 р.	09.10.2009 р.	продовжує роботу 84.9° S, 35.5° W (кратер Кабео)
«Чан'є-2»	Китай	01.10.2010 р.	08.06.2011 р. 13.12.2012 р.	спрямований в точку Лагранжа L2 проліт мимо астероїда 4179 Таутатис
GRAIL GRAIL A (Ebb) GRAIL B (Flow)	США	10.09.2011 р.	17.12.2012 р.	75.6° N, 26.6° W упав першим упав другим

садки на Місяць і злету з нього. Планувалося до 2020 р. побудувати на Місяці базу і приступити до підготовки польоту на Марс. Проте на початку 2011 р. рішенням президента США Барака Обами в зв'язку з дефіцитом бюджету фінансування програма «Сузір'я» була призупинена. Незважаючи на це, НАСА продовжує роботу за дещо зміненою програмою, залучаючи кошти приватних компаній.

Нова хвиля досліджень Місяця за допомогою космічних апаратів розпочалася в 2007 р. З того часу Місяць вивчали космічні апарати Японії, Китаю, Індії та США. Спільною ознакою всіх цих КА є те, що всі вони є полярними супутниками Місяця, оснащеними 3D-камерами високої роздільної здатності, а також лазерними альтиметрами, які забезпечують детальне вивчення топографії місячної поверхні, необхідне для подальшого освоєння Місяця. Розглянемо детальніше ці (реалізовані на сьогодні) проекти в порядку їхнього виконання. Основні відомості про них наведено у табл. 2.

ДОВГОСТРОКОВА МІСЯЧНА ПРОГРАМА ЯПОНІЇ

Вивченням різних можливостей космічних досліджень Місяця японські інженери займалися ще у період виконання програми НАСА «Аполлон», а з середини 1980-х рр. вони приступили до розробки проектів «Lunar-A» і SELENE з тим, щоб запустити їх на початку XXI ст. Реалізація в 1990 р. згаданого вище проекту «MUSES-A/Hiten» стало першим кроком на шляху Японії до Місяця.

«Лунар-А». Завданнями проекту місії «Лунар-А», розробка якого розпочалася в 1993 р., були крім детального знімання місячної поверхні, ще й моніторинг місячних землетрусів (селенотрусів), вимірювання підповерхневих термальних властивостей і теплових потоків, а також вивчення внутрішньої будови Місяця. Для цього планувалося оснастити «Лунар-А» знімальною камерою і двома пенетраторами, обладнаними сейсмометрами і приладами для вимірювання теплових потоків [29]. Проте розробка пенетраторів виявилась надто складною технічною проблемою. Після багатократних перенесень запуску цього зонда на початку 2007 р.

Японія, відчувачи втрату темпу в новій місячній гонці, заявила про свій намір припинити розробку «Лунар-А» з метою зосередження зусиль на проекті SELENE [23, 37].

«Селена-1/Кагуя» (SELENE-1/Kaguya) — перша частина (безпілотний зонд) японської 30-річної програми SELENE (*Selenological and Engineering Explorer*) створення бази на Місяці, реалізація якого також декілька разів відкладалася. Запуск здійснено 14 вересня 2007 р. [23]. «Кагуя» (так назвали перший КА з серії SELENE) складається з головного полярного супутника (орбітера) з висотою близько 100 км над поверхнею Місяця, на якому встановлено більшість приладів (всього їх налічується 14) та двох субсупутників на полярних еліптичних орбітах: супутника-ретранслятора Rstar (Окіна) (від 120 до 2395 км) для передачі на Землю сигналів від орбітера під час перебування його на протилежному від Землі боці Місяця і супутника Vstar (Оюна) (від 129 до 792 км) для здійснення диференціальних радіоінтерферометричних спостережень. Застосування VLBI-вимірювань особливо ефективно в лібраційній зоні Місяця, де вектор сили тяжіння перпендикулярний до напрямку на Землю, що різко зменшує можливості доплерівських вимірювань. Принцип роботи трьох супутників системи «Кагуя» показано на рис. 1.

Прилади на «Кагуї» призначені для: топографічної і глобальної мінералогічної зйомки місячної поверхні, вивчення розподілу хімічних елементів, визначення мінерального складу ґрунту, отримання даних про надра Місяця, дослідження місячного докільця та спостережень Землі, а також відпрацювання технологій майбутніх місячних досліджень.

Найголовнішим досягненням КА «Кагуя» є виконані ним геодезичні (селенодезичні) вимірювання Місяця за допомогою субсупутників Окіна і Оюна, а також лазерного альтиметра LALT (роздільна здатність 5—10 м). За допомогою цих інструментів отримані такі результати: 1) точні визначення орбіт (з дециметровою точністю) за допомогою доплерівських VLBI-вимірювань; 2) детальне вивчення гравітаційного поля зворотного боку Місяця на основі 4-шляхових доплерівських вимірювань; 3) перше визначення

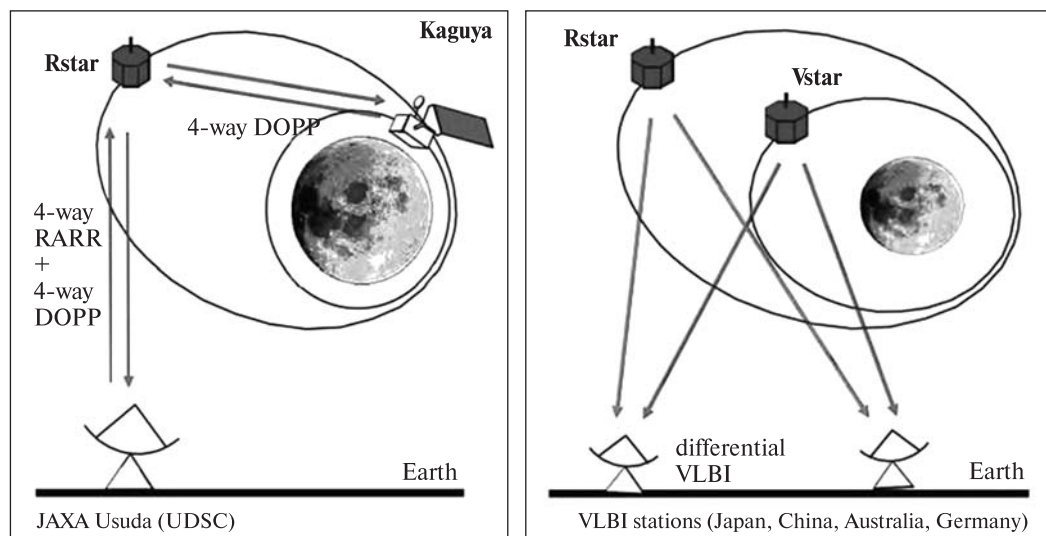


Рис. 1. Принцип роботи 2-шляхових (віддалемірних і доплерівських) та 4-шляхових доплерівських спостережень КА «Кагуя» з використанням Rstar (ліворуч), а також диференціальних VLBI-стежень між Rstar і Vstar (праворуч) [36]

топографії у високих широтах (вище $\pm 86^\circ$); 4) глобальні карти гравітаційних аномалій, товщини місячної кори та степені освітленості у північному і південному полярних регіонах [11, 28].

Крім того, «Кагуя» за допомогою стереокамери з розрізненням 10 м/пкл, першим «заглянув» в «холодну пастку» на південному полюсі (дно стратегічного кратера Шеклтон, температура нижче 90 К), проте очікуваного водяного льоду там не виявлено. Зроблено висновок про те, що покладів чистого водяного льоду на дні кратера немає. Цей лід, можливо, розсіявся і перемішався з ґрунтом або його там зовсім немає [22].

ДОВГОСТРОКОВА МІСЯЧНА ПРОГРАМА КИТАЮ

Космічні дослідження в Китаї розпочалися в 1956 р., за рік до запуску в СРСР першого штучного супутника Землі, і нині розвиваються дуже стрімко. Китай має чотири космодроми (три діючі, один в стадії будівництва), власну супутникову систему навігації, великий потенціал для запуску космічних апаратів — РН «Чанчжен» («Великий похід»). Успішно пройшла наземні випробування потужна РН «Чанчжен-5».

Китай плекає надію стати (до 2020 р.) другою країною, громадянин якої побуває на поверхні

Місяця, про що в жовтні 2000 р. було офіційно заявлено космічним агентством Китаю CNSA (*China National Space Administration*): «...наступні кроки на Місяці будуть китайськими» [39]. Китайська трифазна програма дослідження Місяця офіційно стартувала на початку 2004 р., коли керівництвом Китаю була затверджена її перша фаза (*Lunar Orbiting Exploration Project*), яка отримала назву «Чан'є» (Chang'e) [42].

Найамбітніша на сьогодні китайська програма «Чан'є» включає три етапи: 1) орбітальні польоти («Чан'є-1, -2»), 2) м'яка посадка («Чан'є-3, -4»), 3) автоматичне повернення зразків («Чан'є-5, -6»), після виконання яких плануються пілотовані польоти на Місяць.

«Чан'є-1» запущено 24 жовтня 2007 р., тобто через місяць після запуску японського апарата «Кагуя». «Чан'є-1» мав чотири наукові цілі: 1) отримання 3D-зображень місячної поверхні та побудова тривимірної топографічної карти Місяця для наукових і практичних цілей (в т. ч. визначення місць посадок майбутніх апаратів); 2) складання карт розподілу хімічних елементів (особливо стратегічних — титану, заліза та ін.); 3) оцінки глибинного розподілу елементів (особливо ізотопу гелій-3); 4) дослідження середови-

ща між Землею та Місяцем (наприклад «хвостової» області магнітосфери Землі).

Для розв'язання цих завдань на борту «Чан'є-1» було встановлено 25 приладів і пристроїв, зосереджених в шести групах інструментів, серед них такі: оптичні знімальні системи (ПЗЗ-стереокамера, інтерферометр-спектрометр, лазерний альтиметр, гамма/рентгенівський спектрометри, мікрохвильовий детектор, система моніторингу космічного оточуючого середовища (детектор сонячних часток високої енергії та іонний малоенергетичний детектор), система керування даними корисного навантаження [35, 42].

Провідні спеціалісти проекту вважають, що поставлені завдання були повністю виконані, а багато з досліджень, виконаних за допомогою «Чан'є-1», були здійснені вперше у світі. Зокрема, заслуговують на увагу нові селенодезичні результати: за допомогою лазерного альтиметра LAM (*Laser Altimeter Module*) побудовано високоточну топографічну карту Місяця, точність якої близька до 31 м по висоті і 0.25° (7 км) у плані. Отримано також параметри геометричної фігури та гравітаційного поля Місяця [35].

1 березня 2008 р. відбувся керований спуск «Чан'є-1» з орбіти.

«Чан'є-2» — другий китайський супутник Місяця, запущений 1 жовтня 2010 р., в день 61-ї річниці проголошення незалежності Китаю. На відміну від «Чан'є-1» запуск цього апарата був здійснений не з навколоразомної орбіти, а безпосередньо на траєкторію польоту до Місяця. Основне науково-практичне завдання «Чан'є-2» полягало у виконанні зйомки з високим просторовим розділенням окремих районів місячної поверхні з огляду на вибір підходящого місця для посадки наступного апарата «Чан'є-3». Найімовірніше таким місцем стане Затока Райдуги, розташована на північно-західній окраїні Моря Дошів. Ця рівнинна, заповнена застиглою базальтовою лавою місцина цікава з погляду як балістики (безпечний спуск та посадка апаратів), так і селенології. Знімання ділянок Місяця (з розділенням 1.5 м), придатних для посадки наступних космічних апаратів, виконувалося з висоти 15 км. 8 листопада 2010 р. в Китаї доволі помпезно на урядовому рівні відбувалася цере-

монія показу знімків місячної поверхні, отриманих супутником «Чан'є-2».

В червні 2011 р. «Чан'є-2» успішно виконав заплановану програму і, зважаючи на не повністю використаний ресурс, був спрямований в точку Лагранжа L2 системи Земля — Сонце для виконання спостережень Місяця, Землі та міжпланетного простору. Згодом місію «Чан'є-2» було продовжено. Навесні 2012 р. він попрямував на зустріч з астероїдом (4179) Тоутатис, а 13 грудня 2012 р. зонд (тепер уже міжпланетний) пролетів на відстані 3.2 км від астероїда. В результаті камерами «Чан'є-2» були отримані знімки поверхні астероїда з великим розділенням (~ 10 м/пкл).

ІНДІЙСЬКА ПРОГРАМА КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МІСЯЦЯ

Космічні дослідження в Індії розпочалися в 1947 р. — відразу після отримання незалежності. В 1962 р. створено космічне агентство Індії ISRO (*Indian Space Research Organization*), яке координує всю космічну діяльність країни. Після запуску дослідницької ракети для зондування Землі (1963 р.) Індія стала визнаною космічною державою. Досвід космічних досліджень Індія набувала у співпраці з передовими космічними державами, перш за все з Радянським Союзом. Зокрема, у 1975 р. з території СРСР радянською ракетою запущено перший індійський штучний супутник Землі «Аріабата» (названий на честь індійського астронома V ст.), а у 1984 р. — здійснено спільний космічний політ індійсько-радянського екіпажу. Індія має власний космодром і ракети-носії.

Один з провідних напрямів космічної програми Індії в XXI ст. стосується досліджень Місяця. В 2003 р. індійським урядом було заявлено про підготовку до польоту першого індійського космічного апарата до Місяця. Місячна програма Індії була названа «Чандраян» (*Chandrayaan*), що в перекладі з санскриту означає «Місячний корабель».

«Чандраян-1». Запуск першого індійського штучного супутника Місяця здійснено 22 жовтня 2008 р. з космодрому Шріхарікота, а 12 листопада він досягнув розрахункової навколоразомної орбіти висотою в 100 км [12].

Місія «Чандраян-1» була спрямована на виконання дистанційного зондування Місяця з високим розрізненням в різних областях спектра. Основні завдання її такі: вивчення мінералогічного і хімічного складу полярних районів Місяця; пошук можливих зон розташування підповерхневих запасів водяного льоду, особливо в районі полюсів; стратиграфічне дослідження поверхневого шару Місяця в районі найбільшого басейну «Південний полюс — кратер Айткен»; точне вимірювання топографії Місяця; отримання стереозображень більшої частини поверхні Місяця з високим розділенням.

Для виконання цієї програми на борту «Чандраян-1» було встановлено 11 приладів, в т. ч. п'ять з ISRO, серед яких ударний зонд MIP (*Moon Impact Probe*), знімальна камера TMC (*Terrain Mapping Camera*), лазерний локатор LLRI (*Lunar Laser Ranging Instrument*) та інші, а також шість приладів з інших космічних агентств (ЄКА, НАСА, Болгарії), серед яких найвражаючіші результати були отримані з допомогою приладу M3 (*Moon Mineralogy Mapper*).

14 листопада 2008 р. (день народження Джавахарлала Неру) ударний зонд MIP (масою 34 кг), на якому були встановлені відеокамера, радарний альтиметр та мас-спектрометр, відділився від «Чандраян-1» і у вільному падінні врізався в місячну поверхню неподалік кратера Шеклтон, розташованого поблизу південного полюса Місяця. Викиди місячної породи на місці падіння модуля проаналізовані орбітальним апаратом. Дані, отримані при жорсткій посадці ударного зонда, будуть використані для відпрацювання м'якої посадки майбутнього індійського місяцехода, доставка якого на Місяць планується наступним КА «Чандраян-2».

29 серпня 2009 р., після перебування КА «Чандраян-1» на місячній орбіті упродовж 312 днів (замість запланованих двох років), зв'язок з ним був втрачений (підвела система теплозахисту). Незважаючи на це, керівництво ISRO вважає, що наукова програма місії виконана на 95 %.

Заслугує на увагу експеримент з виявлення води на Місяці, проведений на «Чандраян-1» за допомогою приладу M3 (НАСА). Вимірювання

цим приладом показали наявність в ІЧ-спектрах смуги поглинання H_2O і/або OH в області 3 мкм, яка, як виявилось згодом, характерна майже для всієї освітленої поверхні Місяця [31, 34] (див. рис. 1 на кольоровій вклейці).

РЕАЛІЗОВАНІ ПРОЕКТИ США

Незважаючи на призупинення програми «Сюзір'я», НАСА продовжує дослідження Місяця, здійснюючи запуски зондів спеціального призначення. Реалізованими на сьогодні є дві місячні місії: LRO і GRAIL. Розглянемо їх детальніше.

LRO (*Lunar Reconnaissance Orbiter*) — рекогносцирувальний місячний орбітальний зонд — був запущений 18 червня 2009 р. разом з іншим апаратом, призначеним для вивчення і зондування місячних кратерів LCROSS (*Lunar Crater Observation and Sensing Satellite*). LRO є авангардним проектом програми НАСА «*Lunar Precursor Robotic Program*», сформованої у відповідності з запропонованим у 2004 р. Президентом США новим баченням космічних досліджень, а саме: здійснення серії автоматичних місій з метою підготовки підґрунтя для можливого в подальшому постійного перебування людей на Місяці.

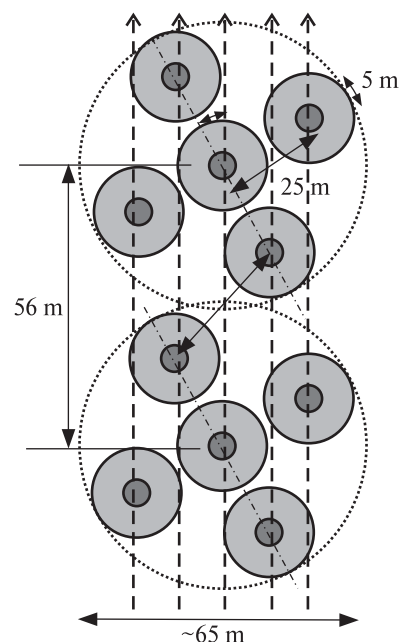


Рис. 2. Шаблон променів LOLA на місячній поверхні з орбіти LRO (висота 50 км). Темні кружки — плями від лазерних променів; світлі — індикатори поля зору [40].

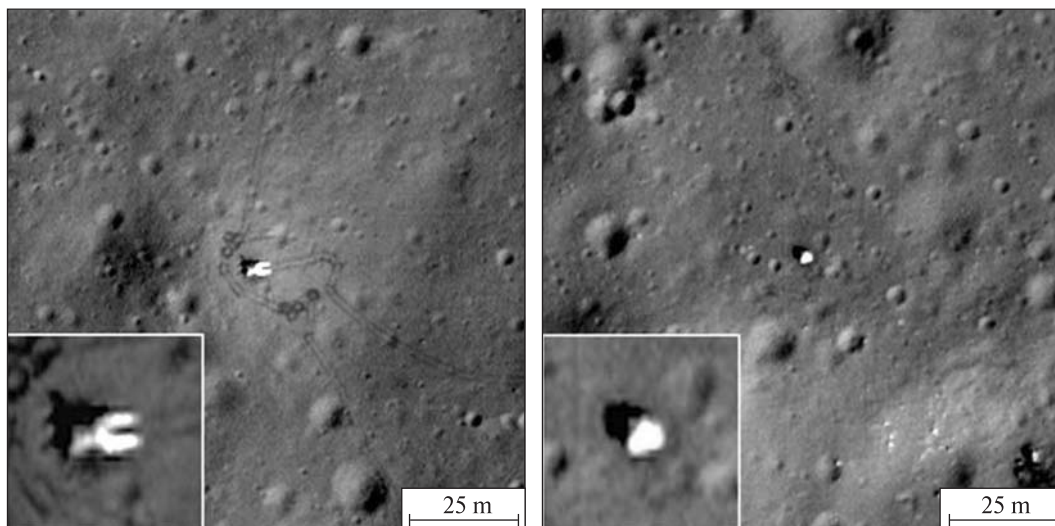


Рис. 3. Фото з LRO: «Луна-17» (ліворуч), «Луноход-1» (праворуч). LROC NAC знімок M175502049RE [NASA/GSFC/Arizona State University].

Про завдання місії свідчить перелік приладів, встановлених на LRO [16], а саме: CRaTER (*Cosmic Ray Telescope for the Effects of Radiation*); DLRE (*Diviner Lunar Radiometer Experiment*); LAMP (*Lunar Alpha Mapping Project*); LEND (*Lunar Exploration Neutron Detector*); LOLA (*Lunar Orbiter Laser Altimeter*); LROC (*Lunar Reconnaissance Orbiter Camera*) — знімальні камери (вужькокутна NAC та широкутна WAC). Крім того, до складу обладнання LRO належить радар Mini-RF (*Miniature Radio Frequency radar*) (див. рис. II на кольоровій вклейці).

Серед результатів LRO — високоточна глобальна топографічна карта Місяця, побудована за даними зйомок камерами LROC та вимірів за допомогою лазерного альтиметра LOLA, в якому лазерний промінь розділений на п'ять вихідних променів. Це надає можливість отримувати одночасно п'ять паралельних профілів місячної поверхні вздовж підсупутникової траси LRO для детального вивчення топографії місячної поверхні (рис. 2).

Одним з головних наслідків роботи зонда є унікальне детальне зображення зворотного боку Місяця, змонтоване з десятків тисяч знімків, отриманих з LRO. Крім того, LRO виконав зйомку залишених на Місяці споряджень місії «Аполлон» та інших апаратів. Зокрема, з висоти 33 км

були сфотографовані місце посадки КА «Луна-17» та «Лунохода-1», місцезнаходження якого вважалося «втраченим» (рис. 3), що дало змогу відновити його лазерну локацію [30]. НАСА опублікувала повний архів даних зйомок LRO [26]. Характерним для LRO є і те, що його положення відслідковується з допомогою лазерної локації з наземних станцій.

В рамках проекту LRO була здійснена найвдаліша спроба пошуку води на Місяці в експерименті, проведеному з допомогою КА LCROSS, запущеного разом з LRO. В цьому експерименті 9 жовтня 2009 р. верхній ступінь ракети-носія зонда Центавр врізався у поверхню Місяця неподалік від південного полюса в районі кратера Кабео, а за ним і блок супроводу (власне сам LCROSS) з вимірювальною апаратурою. З допомогою в тому числі нейтронного спектрометра LEND (виготовленого в Інституті космічних досліджень РАН) в хмарі викиду від удару було виявлено сліди водяної пари, а також інших легких компонентів: вуглеводів, газів, які містять сірку та двоокис вуглецю та ін. [18].

GRAIL (*Gravity Recovery and Interior Laboratory*) — 11-та космічна місія згаданої вище програми США «Дискавері» [46]. Місія GRAIL — це тандем двох однотипних космічних апаратів на одній і тій же навколomisячній орбіті: GRAIL-A

і GRAIL-B, які після запуску були перейменовані на «Ebb» (*Відплив*) і «Flow» (*Приплив*). Запуск обох апаратів (спочатку GRAIL-A, а за ним і GRAIL-B) здійснено 10 вересня 2011 р. на малоенергетичну траєкторію польоту до Місяця через точку Лагранжа L1 системи Земля — Сонце. Через три з половиною місяці GRAIL-A і GRAIL-B зайняли навколomisячну полярну орбіту (середньою висотою 55 км над місячною поверхнею) відповідно 31 грудня 2011 р. і 1 січня 2012 р., утворивши базу довжиною в 175—225 км (рис. 4).

Основна мета місії: вивчення детальної структури місячних надр від кори до ядра та в'яснення термальної еволюції Місяця на основі точного вимірювання та картографування варіацій його гравітаційного поля. Ідея експерименту полягає у високоточному вимірюванні змін відстані між двома апаратами та їхніх відносних швидкостей за допомогою системи стеження LGRS (*Lunar Gravity Ranging System*). Застосовано той же принцип вимірювань, що і в проєкті GRACE (*Gravity Recovery And Climate Experiment*), який з 2002 р. успішно виконується при картографуванні гравітаційного поля Землі. Крім того, на обох апаратах встановлено однотипні камери *MoonKAM*, призначені для виконання студентських освітніх програм.

Вимірювання з допомогою GRAIL виконані упродовж двох тримісячних сесій: з 7 березня 2012 р. (висота КА 55 км) та з 30 серпня 2012 р. (23 км). Результати вимірювань опрацьовуються. 17 грудня 2012 р. експеримент GRAIL був завершений. Обидва апарати зійшли з орбіти і упали на місячну поверхню. НАСА запропонувало місце падіння їх назвати іменем Саллі Райд (*Sally Ride*), першої американської жінки в космосі, яка була також учасником проєкту GRAIL.

НАЙБЛИЖЧІ ПЕРСПЕКТИВИ КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МІСЯЦЯ

Розглянемо космічні проєкти дослідження Місяця, фактично готові до реалізації в найближчі п'ять років. Деякі дані про них наведені в табл. 3.

Сполучені Штати Америки. У планах США на даний час відсутні заяви щодо виконання амбітних проєктів, які свідчили б про підготовку

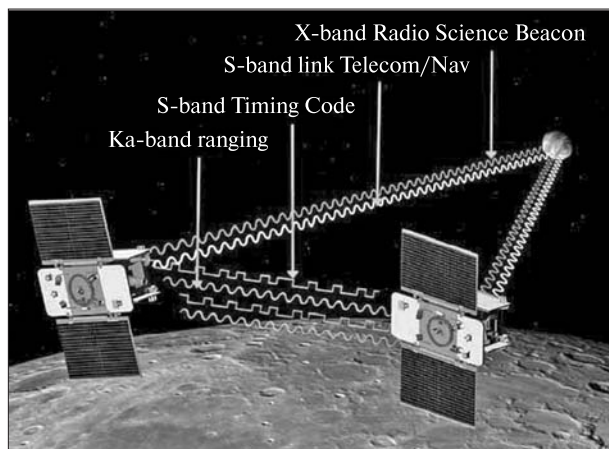


Рис. 4. Схема передачі інформації в проєкті GRAIL [21]

перспективних досліджень Місяця з допомогою пілотованих місій. Створюється враження, що США ніби спокійно спостерігають за місячною «метушнею», яку демонструють інші країни, залишаючи за собою славу абсолютного рекордсмена у місячній гонці. Проте уже здійснені або заплановані для виконання найближчим часом місії, свідчать про планомірну та фундаментальну підготовку до виконання майбутніх серйозних місячних проєктів. Буде продовжуватись дослідження з допомогою LRO, а також фактично готова до реалізації місія LADEE.

LADEE (*Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer*) заплановано до запуску в серпні 2013 р. з метою дослідження складу атмосфери Місяця та екзосферичного пилу в місячному доквіллі [27]. Серед інструментів КА такі: детектор пилу LDEX (*Lunar Dust Experiment*) для прямого збирання і аналізу часток пилу на орбіті супутника LADEE; нейтральний мас-спектрометр NMS (*Neutral Mass Spectrometer*) для виконання *in situ* вимірювань екзосферичних різновидів пилу місячного доквілля на різних висотах; УФ/видимий спектрометр UVS (*UV/Vis Spectrometer*) для вимірювання пилу і атмосфери. Крім того, на LADEE встановлять демонстраційну систему лазерного зв'язку LLCD (*Lunar laser Communication Demonstration*), перспективну з погляду розробки майбутніх високошвидкісних оптичних систем передачі інформації від місячного орбітера до наземного приймача [14]. Експеримент LLCD

спрямований на відпрацювання концепції передачі інформації у масштабах далекого космосу за допомогою лазера в десятки разів швидше, ніж за допомогою радіотехнічних засобів.

Китайські перспективи. «Чан'є-3». У другій половині 2013 р. Китай має намір відправити на Місяць черговий зонд «Чан'є-3», який повинен стати ключовою ланкою в ланцюжку апаратів «Чан'є» [24]. Планується здійснити першу у світі (з часу польоту КА «Луна-24») м'яку посадку на місячну поверхню. Варіанти місць посадок на місячну поверхню визначені в результаті польотів апаратів «Чан'є-1, -2». Найімовірніше з них — Затока Райдуги (*Sinus Iridium*) в північно-західній частині Моря Дощів (рис. 5).

«Чан'є-3» складається з двох частин — посадкового апарата і невеликого (масою ~100 кг) дистанційно керованого робота-місяцехода, оснащеного панорамними і навігаційними камерами, альфа-рентгенівським та ІЧ-спектрометрами, а також пристроями для забору та аналізу ґрунту. Крім того, на зовнішній стороні піддону встановлюється радар, здатний вивчати структуру ґрунту та кори Місяця до глибини порядку 30 м та декількох сотень метрів відповідно. Завдяки спеціальним сенсорам, встановленим на ровері, цей шестиколісний та чотириногий ровер зможе

самостійно обирати маршрути руху та автоматично обходити перешкоди на місячній поверхні. Планується, що він упродовж 3-місячної роботи (включаючи три місячні ночі) подолає відстань до 10 км та обстежить поверхню площею близько 3 км². Безперебійну роботу місяцехода забезпечить ядерний радіоізотопний термоелектричний генератор RTG, аналогічний встановленому на марсоході «Curiosity» (Curiosity). На лендері планується встановити апаратуру для спостереження земної іоносфери, а також невеликий (12 см) оптичний УФ-телескоп, націлений на спостереження тісних подвійних зір, активних ядер галактик, короткоперіодичних змінних зір тощо.

Віддаленіша перспектива (за матеріалами інтернет-видань). «Чан'є-4», який є прототипом «Чан'є-3», фактично повинен повторити роботу свого попередника. Тому дата запуску (орієнтовно 2015 р.) і програма цього зонда залежатиме від результатів роботи «Чан'є-3». «Чан'є-5» — можливий запуск в 2017 р. Це перший китайський зонд, який має доставити на Землю зразки місячного ґрунту і гірських порід (принаймні 2 кг), добутих з глибини близько двох метрів. На лендері буде встановлено обладнання для виконання зйомки, спектрального аналізу мінералів та

Таблиця 3. Реальні перспективні проекти

Країна	Назва КА	Запуск (план)	Тип	Мета
США	LRO	2009 р.	орбітер	продовження роботи дослідження атмосфери Місяця
	LADEE	2013 р.	орбітер	
Китай	«Чан'є-3»	2013 р.	лендер, ровер, телескоп	м'яка посадка (Затока Райдуги), комплексні дослідження
	«Чан'є-4»	2015 р.?		програма залежить від результатів роботи «Чан'є-3»
	«Чан'є-5»	2017 р.?		доставка зразків ґрунту на Землю
Індія	«Чандраян-2»	2015 р.?	орбітер, лендер, ровер	комплексні дослідження
Японія	SELENE-2	2017 р.	орбітер, лендер, ровер, телескоп ФЗТ	комплексні дослідження
Росія	«Луна-Глоб-1»	2015 р.	лендер	дослідження в околі N-полюса
	«Луна-Глоб-2»	2016 р.	орбітер	дистанційні дослідження
	«Луна-Ресурс»	2017 р.	лендер, ровер?	дослідження в околі S-полюса
Україна	«Укрселена»	2017 р.?	орбітер	дистанційні дослідження

грунтових газів, складу ґрунту, буріння ґрунту та забору його зразків. Запуск апарату «Чан'є-5» позначить початок третього етапу місячної китайської програми.

Виконання всіх етапів програми «Чан'є» розглядається як підготовка до пілотованої експедиції на Місяць, яку Китай планує здійснити в 2020—2030-ті рр.

Індійські перспективи. «Чандраян-2» планувався до запуску в 2015 р. як спільна з Росією місія, яка складається з орбітального і посадкового модуля, а також місяцехода. Причому поставку орбітера з п'ятьма інструментами (з них три нові, а два — покращені версії з «Чандраян-1») і мініровера (масою 15 кг) забезпечує Індія (ISRO), а лендера з корисним навантаженням 35 кг (включаючи прилади для аналізу ґрунту і пошуку води) — Росія (Роскосмос). Запуск «Чандраян-2» передбачалося здійснити індійською ракетою GSLV-MkII (*Geosynchronous Satellite Launch Vehicle*). Мета проекту — продовження досліджень походження і еволюції Місяця на основі дистанційних (орбітальних) вимірювань та аналізу зразків місячного ґрунту *in-situ*. Проблеми з КА «Фобос-Ґрунт» (грудень 2011 р.) загальмували виготовлення посадкового апарата, і як наслідок — реалізацію проекту «Чандраян-2» в запланований термін (2015 р.). В зв'язку з цим Індія має намір розробити лендер незалежно від Росії, і в 2015 р. самостійно здійснити запуск свого другого місячного зонда [15].

Реалізація місячної програми Японії. SELENE-2. На 39-й науковій Асамблеї КОСПАР (14—22 липня 2012 р., Майсур, Індія) керівництвом JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) було оголошено про підготовку місячної посадкової місії SELENE-2 з метою відпрацювання і демонстрації ключових технологій для майбутніх місячних досліджень [25]. Ця багатоцільова місія розглядається як провісник досліджень Місяця з допомогою пілотованих експедицій. Запуск планується здійснити орієнтовно в 2017 р. Крім того, заявлено і про те, що в подальшому (віддалена перспектива) не виключається можливість виконання спільної з НАСА пілотованої місії на Місяць, а саме: ракета і місячний лендер — з НАСА, астронавт — з Японії. SELENE-2

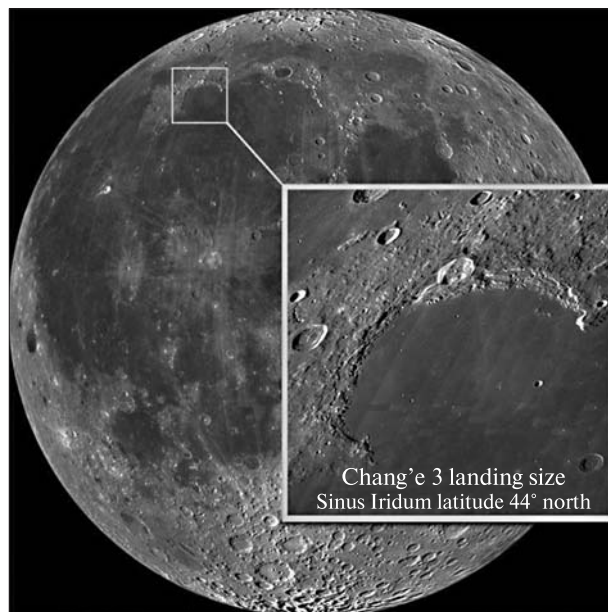


Рис. 5. Можливе місце посадки зонда «Чан'є-3» — Затока Райдуґи [17]

складатиметься з орбітального апарата (орбітер-ретранслятор) масою 700 кг, посадкового апарата (лендер) — 1000 кг іровера — 100 кг.

Стратегія досліджень включає три основні положення [44]: 1) дослідження радіальних варіацій структури і хімічного складу Місяця, бажано до центра Місяця завдяки комбінації дистанційних геофізичних і геологічних вимірювань *in situ*; 2) детальні геологічні спостереження за допомогою сучасних дистанційних методів вимірювань; 3) виконання першого етапу астрономічних спостережень в унікальних місячних умовах.

Для виконання геологічних, геофізичних і астрономічних досліджень на комплексі SELENE-2 планується встановити 14 приладів. Зокрема, особлива увага приділяється дослідженню особливостей фізичної лібрації Місяця (ФЛМ) на основі трьох типів даних: диференціальних VLBI-вимірювань (на орбітері і лендері будуть встановлені радіоджерела); лазерної локації (на місячній поверхні будуть встановлені замість традиційних кутикових відбивачів звичайні рефлектори); а також ILOM (*In-situ Lunar Orientation Measurement*) — спостережень з допомогою невеликого оптичного телескопа ФЗТ (фотографічна зенітна тру-

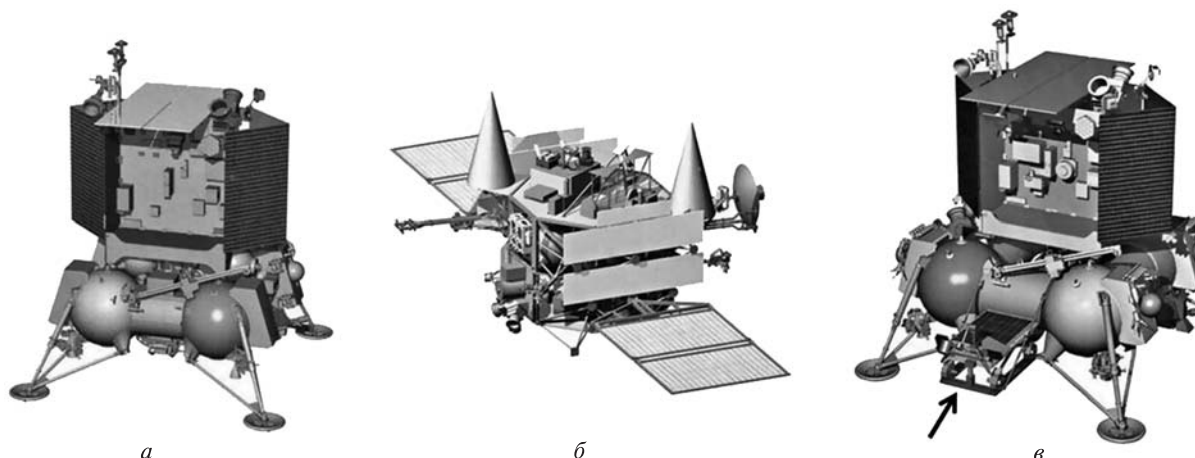


Рис. 6. Апарати проекту «Луна-Глоб»: *а* — посадковий апарат «Луна-Глоб-1», *б* — орбітальний апарат «Луна-Глоб-2», *в* — посадковий апарат «Луна-Ресурс» (стрілкою відмічена платформа для індійського міні-ровера). («Новости космонавтики». — 2012. — № 4)

ба) [36]. В розробці теорії ФЛМ бере участь Казанський університет [33]. Має намір поставити свій прилад на ровері SELENE-2 також Корея [25]. Для досягнення цих цілей геофізичні спостереження повинні бути тривалими, принаймні три або більше місяців. Тому розробляється система забезпечення для виконання безперервних цілодобових спостережень.

Розглядається близько десяти варіантів посадкових місць для SELENE-2 і одне з них — неподалік від посадки КК «Аполлон-14».

Росія: повернення до Місяця. «Россия, к сожалению, засиделась на Земле со своими лунными планами» (з інтерв'ю академіка Л. М. Зеленого журналу «Новости космонавтики», 2012. — 22, № 8).

Колишній Радянський Союз вийшов з «місячної гонки» в 1976 р. з великим досвідом дослідження Місяця з допомогою автоматичних апаратів. Достатньо назвати три доставки місячного ґрунту на Землю («Луна-16», «Луна-20», «Луна-24») та роботу двох місяцеходів («Луноход-1», «Луноход-2»). Після цього в СРСР велась розробка нової програми дослідження Місяця з допомогою автоматів, зокрема із метою створення обрисів виробничих місячних баз [9], проте ці роботи не були пріоритетними і недостатньо фінансувалися.

В середині 1990-х рр. Росія визначилася з багатoproфільною програмою дослідження Мі-

сяця, яка включала етапи: «Луна-Глоб», «Луна-Ресурс», «Луна-Ґрунт», «Лунный полигон», а також «Луноход-3» [4], але першочерговою тоді було визнано програму «Марс-96», після провалу якої знову постала дилема: «Луна-Глоб» чи «Фобос-Ґрунт»? Після чергової невдачі було вирішено проекту «Луна-Глоб» надати нарешті статус пріоритетного в рамках затвердженої Урядом Російської Федерації наприкінці 2012 р. програми космічних досліджень на 2013—2020 рр. [5]. Виконання програми «Фобос-Ґрунт» не скасовано, а лише відкладено на майбутнє. Відомості про комплексну місячну програму Росії можна знайти в роботах [8, 45]. Остаточний варіант її буде підготовлено упродовж 2013 р.

Як уже зазначалося, спочатку в місії «Луна-Глоб» передбачалася участь Індії, а саме в 2013 р. — запуск індійською ракетою GSLV орбітального апарата «Чандраян-2» разом з російським посадковим зондом «Луна-Ресурс» і індійським міні-ровером (масою 15 кг), а в 2014 р. — відправка орбітального і посадкового апаратів місії «Луна-Глоб» (суто російський проект).

Провал місії «Фобос-Ґрунт» призвів до масштабного перегляду місячної програми у зв'язку з необхідністю підвищення надійності місячних апаратів, які проектувалися на основі «фобосівських» розробок. Очевидно, вплинула також аварія з новою індійською РН PLSV, яка стала-

ся наприкінці 2011 р. Саме ця ракета повинна була доставити на Місяць орбітальний модуль і місяцехід. Реалізацію проектів «Луна-Ресурс» і «Луна-Глоб» було відкладено на декілька років. Запуск цих апаратів вирішено здійснювати ракетою «Союз-2» в такій послідовності: посадковий зонд «Луна-Глоб-1» (2015 р.), орбітальний КА «Луна-Глоб-2» (2016 р.) і нарешті «Луна-Ресурс» (2017 р.), на якому пропонується відправити індійський міні-ровер. Це рішення стало важким ударом для Індії.

В рамках проекту «Луна-Глоб» планується виконати детальні дослідження властивостей полярного реголіту, дослідити вміст в ньому води і легких сполук, вивчити місячну полярну екзосферу.

«Луна-Глоб-1» готується до запуску в 2015 р. (можливо 2016 р.) з нового космодрому Росії «Восточный» ракетою-носієм «Союз-2» з розгінним блоком «Фрегат». Це буде демонстраційний апарат, на якому будуть відпрацьовуватись система м'якої посадки та технічні рішення стосовно реалізації подальших місячних місій. Посадковий апарат матиме менші розміри, ніж передбачалося раніше, оскільки його основне завдання полягатиме у перевірці принципу примісячення, а не в отриманні суттєвих наукових даних. Вирішується питання щодо спорядження КА «Луна-Глоб-1» науковою апаратурою. З метою підвищення надійності посадки, маючи гіркий досвід з «Фобос-Грунт» та враховуючи надзвичайну складність посадки на полюс (перш за все з огляду балістики), вирішено зменшити кількість приладів на зонді майже удвічі (з 34 кг запланованих до 20 кг). Так, наприклад вирішено, що на зонді не буде бурової установки, а залишаться прилади для вимірювання температури поверхні, аналізу зразків ґрунту, вивчення пилових частинок та місячної екзосфери, а також нейтронний детектор для вивчення наявності водню в підповерхневих шарах.

«Луна-Глоб-2» — орбітальний апарат серії «Луна-Глоб», буде запусканий в 2016 р. з метою виконання наукових завдань дистанційними методами та як супутник-ретранслятор.

«Луна-Ресурс» — посадковий апарат, який планується до запуску в 2017 р., призначений

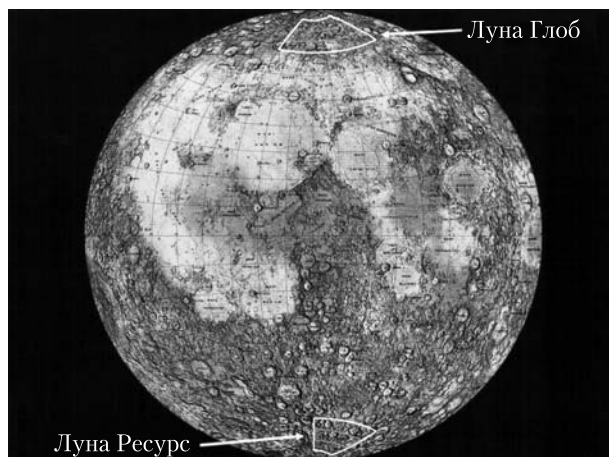


Рис. 7. Північний та південний сектори посадки для місій «Луна-Глоб» і «Луна-Ресурс» на гіпсометричній карті видимої півкулі Місяця. (варіант [2])

для проведення контактних досліджень на полюсі (очевидно, південному) Місяця. Серед наукової апаратури на ньому встановлюється потужна бурильна установка, призначена для взяття проб льоду у полярних областях з глибини до двох метрів. У перспективі цей лід планується доставити на Землю для подальшого аналізу (орієнтовно не раніше 2019 р.). Питання участі Індії в проекті «Луна-Ресурс» поки що залишається відкритим.

На рис. 6 показано апарати проекту «Луна-Глоб». Нині вивчається питання вибору місць посадки майбутніх місій «Луна-Глоб», зокрема з допомогою даних, отриманих нейтронним спектрометром LEND, який здійснює зйомку на борту LRO. Один з можливих варіантів наведено на рис. 7. Пропонуються два сектори для посадки апаратів «Луна-Глоб» і «Луна-Ресурс»: відповідно поблизу північного і південного полюсів Місяця [2].

Участь України у місячних перегонах. «Укрселена» — український полярний супутник Місяця [10, 38]. Основне завдання супутника — комплексні дослідження місячної поверхні за допомогою двох приладів: 1) радара з синтезованою апертурою зображень для глобального знімання поверхні Місяця у міліметровому діапазоні і 2) панорамного фотополяриметра для спектрополяриметричних досліджень в УФ- і

видимій ділянках спектра. Прилади розробляються науковими установами України. Цілі місії «Укрселена» такі [10]: 1) отримання радарних зображень (довжина хвилі 3 мм) високого просторового розділення (до 100 м) постійно затінених ділянок в районах місячних полюсів; 2) одночасна радарна і оптична зйомка високого розділення освітлених ділянок для дослідження структурних характеристик поверхні і визначення функції рельєфу поверхні; 3) картування вмісту діоксиду титану (TiO_2) в матеріалі поверхні і ступеня зрілості реголіту за даними спектроскопічної зйомки на довжинах хвиль 0.25, 0.42 і 0.56 мкм.

Розробкою космічного апарата займатиметься ДКБ «Південне».

Вважається, що при сприятливому збігу обставин запуск супутника «Укрселена» можна було б здійснити в 2017 р. (<http://uk.wikipedia.org/wiki/Укрселена>).

ВИСНОВОК

В даному огляді ми розглянули лише завершені програми космічних досліджень Місяця та проекти, які мають реальну перспективу бути здійсненими упродовж найближчих п'яти років. Насправді ж коло пропозицій від різних держав, космічних агентств світу та приватних компаній набагато ширше, але розгляд цих пропозицій виходить за рамки даної статті.

1. Ахманова М. В., Дементьев Б. В., Марков М. Н. Вода в реголите Моря Кризисов («Луна-24»)? // Геохимия. — 1978. — № 5. — С. 285—288.
2. Базилевський А. Т. Лаборатория сравнительной планетологии ГЕОХИ РАН: совместные работы с НПО им. С. А. Лавочкина // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. — 2012. — № 4. — С. 53—63.
3. Базилевський А. Т., Абдрахимов А. М., Дорофеева В. А. Вода и другие летучие на Луне (обзор) // Астрон. вестник. — 2012. — № 2. — С. 99—118.
4. Галимов Э. М., Куликов С. Д., Кремнев Р. С. и др. Российский проект исследования Луны // Астрон. вестник. — 1999. — № 5. — С. 374—385.
5. Государственная программа Российской Федерации «Космическая деятельность России на 2013—2020 годы»: Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 г. № 2594-р. — М., 2012. — Режим доступа: www.federal-space.ru/download/gp_kdr_2013_2020.doc
6. Караи Ю. День рождения программы «Аполлон» (25 мая 2011 г. исполнилось 50 лет со дня решения, изменившего мир). — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.golos-ameriki.ru/articleprintview/235188.html>
7. Кислюк В. С. Повернення до Місяця // Космічна наука і технологія. — 2004. — № 2/3. — С. 101—113.
8. Поповкин В. А. Российские планы исследования Солнечной системы: научно-технические аспекты и международное сотрудничество // 3-й Московский Международный Симпозиум по исследованиям Солнечной системы (8 — 12 октября 2012 г.). — Москва, ИКИ РАН. — Режим доступа: http://ms2012.cosmos.ru/presentations/3ms3-os-02_v._popovkin_russian_plans.pptx
9. Сизенцев А. Г., Шевченко В. В., Семенов В. Ф., Байдал Г. М. Концепция производственной базы на Луне 2050 г. // Вселенная и мы (альманах). — 1997. — № 3. — С. 62—72.
10. Шкуратов Ю. Г., Кислюк В. С., Литвиненко Л. Н., Яцкив Я. С. Модель Луны 2004 для проекта «Укрселена» // Космічна наука і технологія. Додаток. — 2004. — № 2. — 58 с.
11. Araki H., Tazawa S., Noda H., et al. Lunar global shape and polar topography derived from Kaguya-LALT laser altimetry // Science. — 2009. — № 323, N 5916. — P. 897—900.
12. Bhandari N. Scientific challenges of Chandrayaan-1: The Indian lunar polar orbiter mission // Current Sci. — 2004. — № 86, N 11. — P. 1489—1498. — Режим доступа: <http://www.isro.org/publications/pdf/ScientificchallengesofCHANDRAYAAN-1.pdf>
13. Binder A. B. Lunar prospector: Overview // Science. — 1998. — № 281, N 5382. — P. 1475—1476.
14. Boroson D. M., Scozzafava J. J., Murphy D. V., et al. The Lunar Laser Communications Demonstration (LLCD) // Third IEEE Intern. Conf. on Space Mission Challenges for Information Technology. — 2009. — SMC-IT 2009. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/61673>
15. Chandrayaan-2: India to go it alone // The Hindu. January 22, 2013. — Режим доступа: <http://www.thehindu.com/news/national/chandrayaan2-india-to-go-it-alone/article4329844.ece>
16. Chin G., Brylow S., Foote M., et al. Lunar reconnaissance orbiter overview: the instrument suite and mission // Space Sci. Rev. — 2007. — № 129, N 4. — P. 391—419. — Режим доступа: http://lro.gsfc.nasa.gov/library/LRO_Space_Science_Paper.pdf

17. *China's first unmanned Moon landing.* — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.futuretimeline.net/21stcentury/2013.htm>
18. *Colaprete A., Ennico K., Wooden D., et al.* Water and More: An overview of LCROSS impact results // 41st Lunar and Planet. Sci. Conf. — 2010. — Abs. 2335. — Режим доступу: <http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2010/pdf/2335.pdf>
19. *Connolly J. F.* Constellation Program Overview // Constellation Program Office. — October, 2006. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.nasa.gov/pdf/163092main_constellation_program_overview.pdf
20. *Foing B. H., Racca G. D., Marini A., et al.* SMART-1 mission to the Moon: Technology and science goals // Adv. Space Res. — 2003. — **31**, N 11. — P. 2323–2333. — Режим доступу: http://sci2.esa.int/smart1/docs/COSPAR_2002_ASR.pdf
21. *Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) Launch / NASA Press Kit/august 2011.* — Режим доступу: http://www.nasa.gov/pdf/582116main_GRAIL_launch_press_kit.pdf
22. *Haruyama J., Ohtake M., Matsunaga T., et al.* Lack of Exposed Ice Inside Lunar South Pole Shackleton Crater // Science. — 2008. — **322**, N 5903. — P. 938–939. <http://www.planetary.brown.edu/pdfs/3928.pdf>
23. *Kato M., Sasaki S., Takizawa Y.* The Kaguya Mission Overview // Space Sci. Rev. — 2010. — **154**. — P. 3–19. — http://spxps.org/pdfs/sps_gassyuku_20120309_katou.m1.pdf
24. *Laxman S.* Chang'e-3: China To Launch First Moon Rover In 2013 // Asian Scientist. — 2012. — March 7. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.asianscientist.com/topnews/chang-e-3-china-first-moon-rover-launch-in-2013/>
25. *Laxman S.* Japan SELENE-2 Lunar Mission Planned For 2017 // Asian Scientist. — 2012. — July 16. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.asianscientist.com/topnews/japan-announces-selene-2-lunar-mission-2017/>
26. *LRO Archives // Moon Views / Official website of the Lunar Orbiter Image Recovery Project (LOIRP).* — Режим доступу: <http://www.moonviews.com/archives/lro/>
27. *Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer (LADEE). Mission Overview.* — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.nasa.gov/mission_pages/LADEE/main/
28. *Matsumoto K., Goossens S., Ishihara Y., et al.* An improved lunar gravity field model from SELENE and historical tracking data: Revealing the farside gravity features // J. Geophys. Res. — 2010. — **115**, E06007. — 20 p.
29. *Mizutani H., Fujimura A., Tanaka S.* Lunar-A mission: Outline and current status // J. Earth Syst. Sci. — 2005. — **114**, N 6. — P. 763–768. — Режим доступу: <http://www.ias.ac.in/jess/dec2005/ilc-22.pdf>
30. *Murphy T. W. Jr., Adelberger E. G., Battat J. B. R., et al.* Laser ranging to the lost Lunokhod 1 reflector // Icarus. — 2011. — **211**, N 2. — P. 1103–1108.
31. *NASA Instruments Reveal Water Molecules on Lunar Surface.* — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.nasa.gov/topics/moonmars/features/moon20090924.html>
32. *Nozette S., Rustan P., Pleasance L. P., et al.* The Clementine mission to the Moon: Scientific Overview // Science. — 1994. — **266**, N 5192. — P. 1835–1839.
33. *Petrova N., Gusev A., Kawano N., Hanada H.* Free librations of the two-layer Moon and the possibilities of their detection // Adv. Space Res. — 2008. — **42**, N 8. — P. 1398–1404.
34. *Pieters C. M., Goswami J. N., Clark R. N., et al.* Character and Spatial Distribution of OH/H₂O on the Surface of the Moon Seen by M³ on Chandrayaan-1 // Science. — 2009. — **326**, N 5952. — P. 568–572.
35. *Ping J., Su X., Huang Q., Yan J.* New selenodetic results in Chang'e-1 mission // 42nd Lunar and Planetary Science Conference (March 7 – 11, 2011). — Houston, Texas. — Режим доступу: <http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2011/pdf/1036.pdf>
36. *Sasaki S., Hanada H., Noda H., et al.* Lunar Gravity and Rotation Measurements by Japanese Lunar Landing Missions. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://archive.ists.or.jp/upload_pdf/2011-k-10.pdf
37. *SELENE (Selenological and Engineering Explorer)/Kaguya.* — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/selene>
38. *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.
39. *Sibing He.* CNSA Views of the Moon // Lunar Enterprise «Weekend Edition». — 2002. — **2**, N 101. — Режим доступу: <http://www.spaceagepub.com/cnsa.html>
40. *Smith D. E., Zuber M. T., Neumann G. A.* Initial observations from the Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA) // Geophys. Res. Lett. — 2010. — **37**. — P. L18204. — Режим доступу: www.planetary.brown.edu/pdfs/3950.pdf
41. *Summary of Space Exploration Initiative // Steve Dick, NASA Chief Historian.* — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://history.nasa.gov/seisummary.htm>

42. Sun H., Dai S., Yang J., et al. Scientific objectives and payloads of Chang'E-1 lunar satellite. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.ias.ac.in/jess/dec2005/ilc-25.pdf
43. Uesugi K. Results of the MUSES-A «Hiten» mission // Adv. Space Res. — 1996. — **18**, N 11. — P. 69–72.
44. Tanaka S., Mitani T., Iijima Y., et al. Overview of candidate instruments on board the Lunar Lander Project SELENE-2 // 43rd Lunar and Planet. Sci. Conf., March 19–23, 2012. Texas, USA. — Режим доступа: <http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2012/pdf/1651.pdf>
45. Zelenyi L. M., Khartov V. V., Mitrofanov I. G., Skalsky A. A. «Luna Glob» and «Luna Resource» Missions // The First Moscow Solar Syst. Symp. — 2010, Oct. 11–15. — Режим доступа: ms2010.cosmos.ru/pres/3/zelenyi_luna.ppt
46. Zuber M. T., Smith D. E., Asmar S. W., et al. Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) Mission: Status at the Initiation of the Science Mapping Phase // 43rd Lunar and Planet. Sci. Conf., March 19 — 23, 2012. Texas, USA. — Режим доступа: <http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2012/pdf/1489.pdf>

Стаття надійшла до редакції 24.02.13

В. С. Кислюк

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛУНЫ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ (ОБЗОР)

Представлен обзор основных результатов космических миссий к Луне на протяжении периода «Возвращения к Луне» (конец XX ст. — настоящее время). Проведен анализ реализованных лунных проектов и рассмотрены планы исследований Луны с помощью космических аппаратов на ближайшую перспективу.

V. S. Kislyuk

SPACE EXPLORATION OF THE MOON: CURRENT STATUS AND PROSPECTS (A REVIEW)

A review of basic results on lunar space missions carried out during the «Return to the Moon» period (from the end of the 20th century up to now) is presented. An analysis of completed lunar projects is performed. Some long-term plans of the Moon exploration in the immediate future by means of spacecrafts are considered.

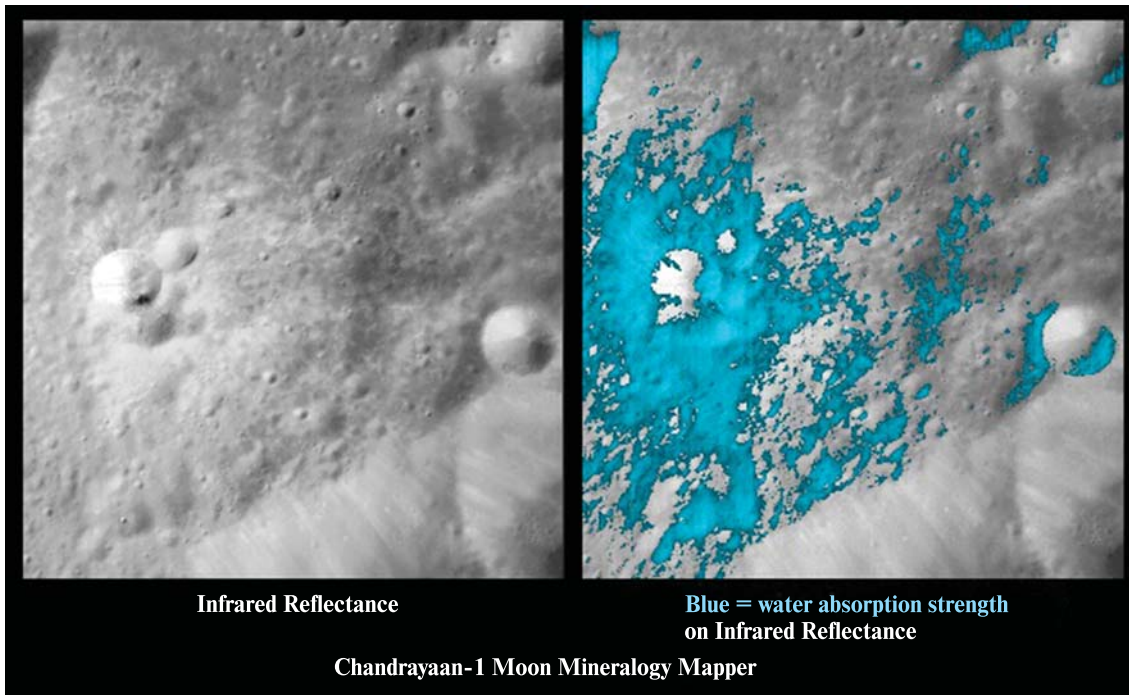


Рис. I. Зображення молодого кратера на зворотному боці Місяця, яким його «побачив» з КА «Чандраян-1» прилад НАСА МЗ (*Moon Mineralogy Mapper*) [31]

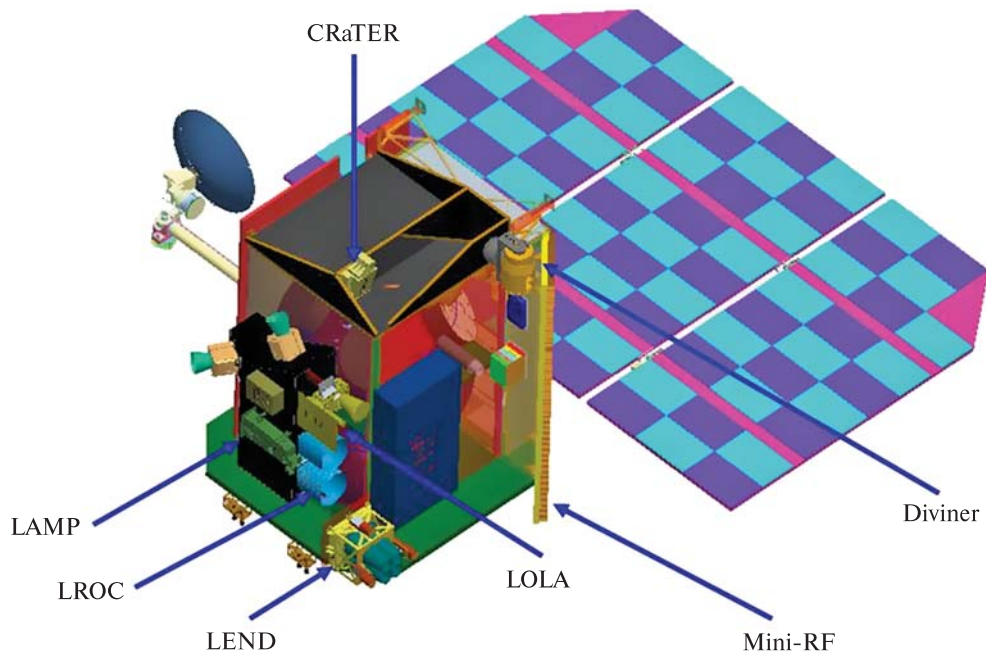


Рис. II. Розташування приладів на зонді LRO [16]