

Космічні дослідження Місяця: задачі, можливості і перспективи української науки і техніки

В. С. Кислюк¹, Ю. Г. Шкуратов², Я. С. Яцків¹

¹ Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ

² Астрономічна обсерваторія Харківського університету, Харків

Надійшла до редакції 29.04.96

Дається аналіз стану астрометричних, селенодезичних, фотометричних та астрофізичних досліджень Місяця, які проводяться в наукових установах України. Обговорюються проекти космічних досліджень Місяця, що розробляються різними космічними агентствами світу, та питання можливої участі в них України.

ВСТУП

США, Японія та ряд європейських країн, а також Росія мають більш-менш визначені плани (і навіть проекти, що фінансуються) дослідження Місяця космічними засобами. На першому етапі передбачаються дослідження за допомогою автоматичних станцій, а в перспективі — і створення населених місячних баз. Чим викликана ця нова хвиля інтересу (хоча і обережного) до проблеми освоєння Місяця? Чи потрібно Україні, не дивлячись на важке економічне становище, приєднуватись в тій чи іншій формі до майбутніх космічних проектів досліджень Місяця або навіть розробляти власні?

В статті автори — представники двох українських шкіл дослідження Місяця — київської та харківської — намагаються дати відповідь на ці запитання.

Розпочнемо з порівняно недавньої історії. 13 вересня 1959 р. АМС «Луна-2» вперше досягнула Місяця. І хоча жорстка посадка була здійснена в Гнилом Болоті (застаріла назва області між кратерами Архімед і Автолік), Радянський Союз більше ніж на два роки випередив США в цій галузі науки. Наша іронія про місце посадки тут більш ніж доречна: космічні дослідження Місяця на той

час були значною мірою політичним шоу, а не науковим експериментом. Політика і ідеологія при виборі об'єктів космічних досліджень мали пріоритетне значення і в наступні роки, включаючи і період підготовки до висадки людини на Місяць. Зараз уже добре відомо, що Радянський Союз мав свою програму пілотованого польоту на Місяць. Планувалося раніше американців облетіти Місяць з поверненням космонавта на Землю. Для цього були розроблені важкі станції серії «Зонд».

14 листопада 1968 р. станція «Зонд-6», випереджаючи більш ніж на місяць американський екіпаж «Аполлон-8», облетіла Місяць і повернулась на Землю. Правда, під час посадки на Землю станція була сильно пошкоджена. На щастя, «космонавтом» на борту «Зонд-6» була всього лише черепаха.

Після того як політичне керівництво СРСР зрозуміло, що радянській людині не бути першій на Місяці, радянська програма освоєння Місяця була значною мірою переглянута. Були скорочені роботи по підготовці запуску на Місяць людини. Величезні наукові і технічні напрацювання в цій галузі виявилися значною мірою незатребуваними, хоча ще дві автоматичні станції серії «Зонд» літали до Місяця. Ідеологічна пропаганда зробила вигляд (при існуючому тоді режимі секретності це було

неважко), що в СРСР не було жодних планів польоту людини на Місяць, і що з самого початку радянським вченим (на відміну від «недалеких» західних колег) були очевидні переваги дослідженій Місяця за допомогою автоматичних апаратів.

13 липня 1969 р. (на 3 дні раніше «Аполлона-11») була запущена станція «Луна-15», в завдання якої входив забір ґрунту Місяця і його доставка на Землю. АМС «Луна-15» повинна була пом'якшити «ідеологічний удар» від експедиції «Аполлон-11», в ході якої людина вперше висадилася на інше небесне тіло. Космічна наука, проте, рішуче не вписувалась в ідеологічні рекомендації: АМС «Луна-15» розбилася в Морі Криз, а експедиція «Аполлон-11» близьку вдалася — астронавти виконали великий обсяг наукових досліджень та зібрали близько 22 кг зразків місячних порід.

Заради справедливості варто відзначити, що в СРСР були і досить вдалі запуски до Місяця. Це і отримання телевізійних панорам з місця посадки КА «Луна-9» і забір ґрунту АМС «Луна-16, -20 і -24», а також дослідження, проведені за допомогою КА «Луноход-1 і -2». Проте за обсягом отриманої наукової продукції ці успіхи важко співставляти з тим, що було зроблено в рамках програми «Аполлон». Справа тут не лише в тому, що американська космічна програма була масштабнішою, а також в принципах організації аналізу отриманих результатів: в США не існувало розподілу на «столичну» і «провінціальну» науки. В СРСР обробкою даних, що надходили з наймалася незначна кількість наукових колективів в Москві, виконуючи, звичайно, менший обсяг робіт, ніж це могло бути при правильнішому використанні наукового потенціалу всієї країни.

Відмітимо також, що такий монополізм ідеально відповідав патологічному режиму секретності всіх робіт по космосу, а можливо і породжувався цим режимом. В результаті деякі дані, отримані в ході радянських космічних місій до Місяця, опинились поза контролем широкої наукової громадськості, просто виявилися втраченими. Наприклад, на початку 1980-х р. одному з авторів цієї статті знадобились для фотометричних робіт зображення Місяця, отримані АМС «Луна-22». Звернувшись в одну поважну космічну фірму в Москві (що само по собі було досить нелегко) вдалося вияснити, що ці зображення є лише у вигляді копій на фотоплівках, тоді як оригінальні магнітні записи уже витерти (фірмі не вистачало для подальшої роботи магнітних стрічок!).

18 серпня 1976 р. радянська АМС «Луна-24» востаннє доставила ґрунт з Місяця. На той час програма «Аполлон» була згорнута, оскільки змага-

тися в галузі освоєння Місяця американцям уже було ні з ким. Уже немає багатьох людей, які приймали відповідальні рішення: летіти на Місяць чи не летіти. Уже немає однієї з держав, яка була готова послати свого громадянина навіть на Місяць, аби довести переваги власного соціального устрою. Прийшов час замислитись над тим, що ж залишилось від тієї першої місячної епопеї? Що було набуто ціною велетенських зусиль та витратою таких великих коштів?

Перш за все, космічні програми дали поштових новим технологіям і виробництвам, що підвищило економічний потенціал країн, які проводили ці програми. Набуто величезний обсяг знань про Місяць і космічний простір; на Землю доставлено понад 400 кг місячного ґрунту, значна частина якого законсервована для майбутніх досліджень. В цьому відношенні можна говорити про те, що змагання двох соціальних систем виграли вчені. Мабуть, це одна з найефектніших їх перемог в історії науки.

Чим зумовлене повернення до досліджень Місяця в останні роки? Як і раніше, ця справа дорого коштує. Якщо нею все-таки займатися, то варто подумати про політичні і економічні дивіденди. Перший фактор, мабуть, ще довго буде відігравати значну роль на нашій планеті. Країни Західної Європи, США, Японія і почасти Росія мають програми дослідження Місяця, які перетинаються. Видіється економічно (але не політично) вигідним домовитись про спільну програму та про обмін даними, що дало б змогу максимально використати свій потенціал. Елементи такого підходу звичайно є, бо домінуючим є економічний прагматизм: тепер всі розуміють, що добре живе той, хто більше знає і першим дізнається, в тому числі і про оточуючий світ. На відміну від ситуації кінця 1960-х — початку 1970-х рр., зараз людство дійсно дозріло для освоєння Місяця значною мірою поза політичним контекстом, маючи на увазі той факт, що місячна космічна програма — це:

- розвиток високих технологій і виробництв. Спочатку цей розвиток необхідний для потреб самої програми, але згодом дає обов'язковий вихід в суміжні галузі. Так було при реалізації програми «Аполлон»;
- освоєння нових сировинних і енергетичних ресурсів. Наприклад, за деякими прогнозами використання гелію-3, який мільярди років накопичувався в місячному ґрунті, в ядерних енергетичних установках може виявитись рентабельним уже найближчим часом, не дивлячись на проблеми, пов'язані з необхідністю передачі енергії на Землю;

- забезпечення обороноздатності і безпеки. Кожна економічно стабільна країна, проявляючи турботу про свій подальший розвиток, повинна приймати до уваги військовий аспект. Так, якщо одна держава розпочне випробування та складування нової зброї на зворотному боці Місяця — недоступному для спостережень з Землі, — а інші країни не матимуть можливості хоча б контролювати цей процес, то наслідки такої ситуації можуть бути вельми негативними;
- розвиток науки. Можливості, які тут відкриваються, величезні. Навіть поверховий їх огляд істотно виходить за рамки цієї статті. Накреслимо лише найзагальніші напрямки: дослідження походження і еволюції Місяця та Сонячної системи; фізика космічної плазми і фізика високих енергій; можливість проведення унікальних астрофізичних і радіоастрономічних досліджень Всесвіту; сонячний моніторинг; вивчення глобальних кліматичних процесів на Землі; експерименти, які потребують особливої ізоляції від техногенних впливів, зокрема високої стерильності. Більш детальні відомості про науково-прикладні аспекти освоєння Місяця можна знайти в деяких оглядах (Шевченко, 1986; Шевченко, Чикмачев, 1989; Foing, 1995).

Україна — молода космічна держава, яка з ряду причин переживає великі економічні труднощі, але теоретично має інтелектуальний і виробничий потенціал, достатній навіть для виконання власної місячної космічної програми. Адже йдеться про престиж країни і розвиток її економіки на 10—20 років наперед. Ця стаття — перша спроба розгляду цього питання та його обговорення в науковому середовищі.

КОРОТКИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ МІСЯЦЯ В УКРАЇНІ

Дослідження Місяця за допомогою телескопів проводились в українських обсерваторіях протягом багатьох років. Склалось так, що роботи в галузі астрометрії і динаміки Місяця велись переважно в Головній астрономічній обсерваторії НАН України (ГАО), а фотометричні та астрофізичні — в Астрономічній обсерваторії Харківського державного університету (АО ХДУ). Співробітники Інституту металофізики НАН України приймали участь в лабораторних геохімічних дослідженнях місячного ґрунту.

Астрометричні та селенодезичні дослідження. Астрометричні дослідження Місяця в Україні роз-

почато в повоєнні роки з ініціативи визначного астрометриста члена-кореспондента АН УРСР А. О. Яковкіна (в 1945—1951 рр. він працював в Астрономічній обсерваторії Київського університету, а з 1951 по 1967 рр. — в ГАО). Особливу увагу астрометристів, що займалися дослідженнями Місяця на той час, привертало вивчення особливостей обертового руху Місяця (знаходження параметрів фізичної лібрації) та фігури його крайової зони. Ще в 1930-ті роки А. О. Яковкін (він працював тоді в Казанській астрономічній обсерваторії ім. В. П. Енгельгардта), опрацьовуючи тривалі ряди геліометричних спостережень, в тому числі і свої власні (він був першокласним астрономом-спостерігачем), виявив дуже цікаву особливість фігури Місяця — лібраційний ефект в його радіусі, або, іншими словами, істотну асиметрію фігури крайової зони (Яковкін, 1934). Пізніше це явище отримало назву «ефект Яковкіна». Згодом експерименти, проведенні за допомогою космічних засобів, підтвердили висновки А. О. Яковкіна. Більше того, була виявлена значна асиметрія також і глобальної фігури Місяця.

Зрозуміло, що перші астрометричні дослідження Місяця в Україні проводились під впливом ідей А. О. Яковкіна. Великий цикл робіт по визначеню параметрів фізичної лібрації, лібраційних ефектів та фігури крайової зони Місяця виконали його учні I. В. Гаврилов, А. А. Гориня, І. М. Деменко, В. К. Дрофа, Д. П. Дума, Л. М. Мізь. Огляд таких досліджень можна знайти в монографіях Гаврилова (1969), Горині (1969). В подальшому ці дослідження видозмінювались в міру зростання практичних вимог космічних досліджень та використання нових спостережних даних, отриманих за допомогою космічних апаратів, що привело до появи нової астрономічної науки — селенодезії. Дослідження в галузі селенодезії та вивчення динаміки Місяця стали одним з основних наукових напрямків ГАО.

Інтенсивність селенодезичних досліджень різко зросла з початком космічної ери, коли, з одного боку, для здійснення програм вивчення Місяця за допомогою космічних засобів знадобилася достатньо густа і надійна селенодезична опорна мережа (СОМ) а, з іншого боку, коли для покращення існуючих СОМ та розповсюдження їх на зворотній бік Місяця з'явилась можливість використовувати принципово новий матеріал, одержаний в рамках виконання космічних програм. Як відомо, СОМ використовується для забезпечення космічної навігації при здійсненні космічних експериментів, а також складає математичну основу для картографування місячної поверхні, вивчення глобальної

фігури Місяця та розв'язання інших задач селенодезії і місячної динаміки.

Дослідження в цьому напрямку, виконані в ГАО під керівництвом І. В. Гаврилова, були пionерськими в колишньому СРСР. В 1965 р. тут був складений перший радянський селенодезичний каталог просторових координат 160 базисних точок місячної поверхні (Гаврилов и др., 1965), для створення якого були використані наземні фотографічні спостереження Місяця та зарубіжні селенодезичні дані. Ще до виходу в світ цей каталог був використаний при проведенні космічних місій серій «Луна» і «Зонд», а також при складанні перших карт місячної поверхні. Згодом, в міру розширення бази селенодезичних даних проводилось уточнення координат опорних точок та згущення СОМ, в результаті чого з'являлись нові селенодезичні каталоги (Гаврилов и др., 1967; Гаврилов, Кислюк, 1970; Кислюк, 1971; Гаврилов и др., 1977), а також каталог абсолютних висот крайової зони Місяця (Дума, 1973).

Паралельно в ГАО під керівництвом І. К. Коваля велась робота з вивчення рельєфу місячної поверхні фотометричним методом (Лисина, 1966), результати якої оперативно використовувались при плануванні та проведенні чергових космічних експериментів. Цей метод був успішно застосований також для визначення нахилів валів кратерів та їх висот на знімках, отриманих КА «Зонд-6» (Коваль и др., 1968).

На кінець 1960-х рр. в різних країнах було створено близько 20 селенодезичних каталогів, характеристика яких приведена в монографії Кислюка (1988), який виконав порівняльний аналіз каталогів та дослідження їх систематичних і випадкових розбіжностей. Були вивчені також деформації різних СОМ (Habibullin et al., 1972). Результати цих досліджень дали змогу створити зведену систему селенодезичних координат 2580 точок місячної поверхні (Київ-2580), в якій використані дані 11 каталогів (Гаврилов, Кислюк, 1970). Для створення зведеного каталогу зачлені також дані КА «Рейндже», результати радарних вимірювань Місяця та вимірювань, проведених за допомогою КА серії «Луна», «Зонд», «Лунар Орбітер», а також альтиметричні профілі Місяця, отримані з КК «Аполлон-15, -16, -17». Ці дані дозволили віднести систему зведеного каталога до центру мас Місяця. Каталог «Київ-2580» відразу ж почав використовуватись як селенодезична опорна система при обробці знімків, отриманих КА «Зонд-6» і «Зонд-8».

Згодом каталог «Київ-2580» був істотно розширенний з використанням нових даних, зокрема абсолютних висот крайової зони (Дума, 1973), в ре-

зультаті чого була створена фактично нова зведені система «Київ-4900», що містить положення 4900 точок видимої поверхні Місяця (Гаврилов и др., 1977).

Пізніше, в 1980-ті рр., в ГАО була проведена серія фотографічних спостережень Місяця на фоні зірок, за якими виконане абсолютне орієнтування СОМ відносно головних осей інерції Місяця (Кислюк и др., 1983; Кислюк, Семеренко, 1990), а також побудований незалежний опорний каталог, віднесений до динамічної системи координат (Семеренко, 1987).

Селенодезичні дослідження в комплексі з іншими роботами ГАО, пов'язаними з розробкою теорії і практичною побудовою координатних систем для геодинамічних, селенодезичних і космічних досліджень були в 1983 р. відзначенні Державною премією України (І. В. Гаврилов, Д. П. Дума, В. С. Кислюк, А. О. Корсунь, А. М. Кур'янова, Є. П. Федоров, Я. С. Яцків).

Важливе місце в селенодезичних дослідженнях, які проводяться в Україні, займає вивчення геометричної фігури Місяця. Великий цикл досліджень в цьому напрямку, включаючи вивчення фігури крайової зони Місяця, його видимої півкулі, а також частково глобальної фігури Місяця, виконано під керівництвом І. В. Гаврилова (Гаврилов, 1969; Гаврилов, Яновицкая, 1972а, б). Особливо варто виділити складену в ГАО спільно з кафедрою геодезії і картографії Київського університету гіпсометричну карту видимої півкулі Місяця (Гаврилов и др., 1981). Для її складання використані практично всі відомі (на той час) селенодезичні дані, віднесені до системи зведеного каталога «Київ-4900».

Узагальнення всіх даних про абсолютні висоти на Місяці, включаючи його зворотний бік, була виконана В. С. Кислюком (Кислюк, 1988). В результаті була створена узагальнена система висот, яка включає такі дані: зведений каталог «Київ-4900»; абсолютні висоти крайової зони; фотограмметричні опорні мережі та результати альтиметричних вимірювань, отримані КК «Аполлон-15, -16, -17»; результати радіопрофілювання («Луна-22»); опорні мережі, побудовані за даними зйомки з КА «Зонд-6, -8». Залучені також, як реперні, абсолютні висоти точок падінь КА «Рейндже», місць установки лазерних відбивачів на Місяці і комплектів ALSEP, за допомогою яких здійснювалась лазерна локація і довгобазисна радіоінтерферометрія та деякі інші дані.

Нарешті, для побудови узагальненої системи висот були зачлені результати ще трьох робіт, виконаних в ГАО, а саме: отримані з обробки

знімків КА «Зонд-8» уточнені сelenоцентричні координати точок західного сектора видимої півкулі Місяця і гіпсометричний профіль Місяця (Кислюк, 1975а, б), а також гіпсометричний профіль Місяця, отриманий з обробки знімків з КК «Аполлон-11» (Дума, Кислюк, 1985). Використання цих даних виявилося досить бажаним, бо вони істотно розширили склад гіпсометричної інформації щодо зворотного боку Місяця.

За даними узагальненої системи абсолютних висот місячної поверхні В. С. Кислюком разом з П. М. Зазуляком і В. Ю. Зінгером (кафедра теорії математичної обробки геодезичних вимірювань університету «Львівська політехніка») виконано розклад місячного рельєфу в ряд за сферичними функціями до 16-го порядку та степеня (Зазуляк и др., 1988). Для заповнення «пустих» місць на Місяці (головним чином на його зворотному боці) проводився прогноз висот методом середньої квадратичної колокації. Отримана модель фігури фізичної поверхні Місяця зараз є найповнішою. За її даними побудована гіпсометрична карта видимої та зворотної півкуль Місяця, яка включена в виданий в 1992 р. «Атлас планет земної группи и их спутников» (Большаков, 1992).

Значення висот узагальненої системи були також безпосередньо апроксимовані тривісним еліпсоїдом, який найкращим чином відображає фігуру фізичної поверхні Місяця, а також вивчені особливості цієї фігури (Kislyuk, 1987; Кислюк, 1988). Показано, що геометрична фігура Місяця впевнено апроксимується тривісним еліпсоїдом, осі якого орієнтовані таким чином: найбільша — в напрямку до південно-східного гірського району (гори Алтай), найменша — до Моря Холоду. Центр мас Місяця зміщений відносно центра його глобальної геометричної фігури на 2.11 км в напрямку до точки на видимому боці Місяця з координатами $\lambda = 13^\circ$ E, $\beta = 24^\circ$ N поблизу кратера Хорнсбі (Море Яскравості). Вивчені особливості фігури Місяця щодо його глобальної асиметрії.

П. М. Зазуляком і В. С. Кислюком (Зазуляк, Кислюк, 1990) проведено порівняння різних моделей, що характеризують гравітаційне поле і геометричну фігуру Місяця, вивчена кореляція гравітаційного поля і місячної топографії. Результати цих досліджень свідчать про відсутність тісної кореляції гравітаційного поля і топографії Місяця, а також про те, що дисперсії висот рельєфу, знайдених за даними про гравітаційне поле, значно менші від дисперсії висот, отриманих з астрометричних вимірювань. Ця обставина пояснюється, мабуть, суттєвою неоднорідністю місячних надр. Значну асиметрію гравітаційного поля і геометричної фі-

гури Місяця не можна пояснити лише наявністю масконів, вклад яких в формування гравітаційного поля Місяця виявився неістотним.

Дослідження Місяця за допомогою космічних апаратів дозволили виявити важливу особливість динамічної фігури Місяця, а саме наявність великих неперіодичних членів в розкладі фізичної лібрації Місяця, що принципово змінило наші уявлення про орієнтацію місячного еліпсоїда інерції. Урахування гармонік вище другого порядку в розкладі сelenопотенціала призводить до зміщення найбільшої осі інерції Місяця відносно так званого середнього напрямку на Землю (згідно з класичними теоріями обертання Місяця) на декілька сelenоцентричних мінут в довготному та широтному напрямках. Все це необхідно приймати до уваги при виборі сelenодезичної референц-системи.

Питання узгодження різних сelenоцентричних координатних систем детально розглянуте В. С. Кислюком (Кислюк, 1988). Він також провів узгодження гармонік третього порядку, які визначають орієнтацію місячного еліпсоїда інерції за даними різних моделей гравітаційного поля Місяця, в результаті чого отримана узагальнена система динамічних параметрів Місяця (Кислюк, 1985; 1988; Kislyuk, 1987; 1990).

Великий цикл досліджень по вивченню фігури і динаміки Місяця проведено на кафедрі теорії математичної обробки геодезичної інформації університету «Львівська політехніка» під керівництвом Г. О. Мещерякова. Зокрема, виконані дослідження по узгодженню геометричних і динамічних параметрів Місяця (Мещеряков и др., 1976; 1980; Зазуляк, 1977; Зазуляк и др., 1983), побудована модель гравітаційного поля Місяця (Мещеряков и др., 1983). Про деякі роботи, виконані спільно з ГАО, згадувалось вище.

Подальші дослідження в області сelenодезії та динаміки Місяця, які, зважаючи на набутий досвід, можуть успішно розвиватись в Україні, пов'язані, зокрема, з розробкою інформаційної системи астро-забезпечення майбутніх наукових і науково-виробничих місячних баз. Доречно згадати піонерську в цьому напрямку роботу А. О. Яковкіна, виконану ним на зорі космічної ери вивчення Місяця. На 15-й Астрометричній конференції СРСР (Пулково, 1960 р.) він виклав своє бачення програми астрометричних спостережень на стаціонарній місячній обсерваторії, розглянувши детально переваги такої станції (Яковкін, 1963). Згодом він разом зі своїми колегами опублікував формули та ефемериди для польових спостережень на Місяці — перший місячний астрономічний щорічник (Яковкін и др., 1964), де також запропонована конструкція авто-

матичного теодоліта для проведення спостережень з поверхні Місяця.

Вивчення геометрії і динаміки Місяця, а точніше динаміки системи Земля—Місяць, являє собою комплексну проблему, яка включає вивчення гравітаційного поля Місяця, особливостей його обертального руху та фігури і розв'язувати її необхідно комплексно методами наземної і космічної астрометрії. Деякі аспекти цієї проблеми містяться в статті Кислюка (1993).

Астрофізичні дослідження. Піонером астрофізичних досліджень Місяця в АО ХДУ був академік М. П. Барабашов. Він заклав основи кількох наукових напрямків, які продовжують розвиватися до нині. Їх метою, висловлюючись сучасною мовою, є прогноз мінералого-геохімічних і структурних характеристик місячної поверхні за даними оптичних вимірювань. Такі дослідження не лише являють собою самостійний фундаментальний розділ науки про дистанційне зондування речовини, але й є джерелом інформації для розв'язання задач прикладного характеру.

Умовно можна виділити три етапи оптичних астрофізичних досліджень Місяця в АО ХДУ. Перший пов'язаний в основному з іменем самого М. П. Барабашова, другий — з іменами його учнів (В. О. Федорець, В. Й. Єзерський, Л. О. Акимов, М. М. Євсюков), а третій — з більш молодим поколінням (Ю. Г. Шкуратов, М. В. Опанасенко, В. В. Корохін та ін.). Кожен з етапів вирізняється своєю методологією і увінчується конкретними результатами, які коротко розглянуті нижче.

I етап (перші кількісні дослідження фотометричних властивостей Місяця і лабораторних аналогів його ґрунту).

1. Ще на початку 20-х років нашого століття М. П. Барабашовим спільно з О. В. Марковим, використовуючи метод фотографічної фотометрії, був відкритий ефект сильного розсіяння світла місячною поверхнею поблизу опозиції (Barabashev, 1922). Тепер це явище називається опозиційним ефектом. Пізніше з'ясувалось, що опозиційний сплеск яскравості виявляють всі безатмосферні небесні тіла і що спричинений він тіньовим ефектом, проте більшою мірою — інтерференцією багаторазово розсіяних променів, що йдуть прямыми та оберненими в часі траекторіями. Аналогічні явища тепер широко відомі в фізиці (це називається слабкою локалізацією квазічастинок, зокрема фотонів). Цьому питанню присвячені сотні статей. Великий огляд праць з вивчення проблем зворотного розсіяння світла поверхнями безатмосферних

небесних тіл опублікований в роботах Шкуратова (1994а, б).

2. М. П. Барабашовим були виконані перші досить точні електрофотометричні лабораторні вимірювання можливих аналогів місячного ґрунту (Барабашов, Чекирда, 1945). Найкращим фотометричним імітатором виявився темний подрібнений базальт. З'ясувалось, що деякі зразки базальтових порошків виявляють навіть більше зворотне розсіяння, ніж Місяць, що в той час здавалось незвичайним. Згодом висновок М. П. Барабашова про базальтовий склад місячних морів блискуче підтверджився завдяки космічним експериментам. Підтвердилося також і те, що місячна поверхня має порівняно високу несучу здатність: космічні апарати не тонули в багатометровому шарі пилу, як це провіщав відомий американський планетолог Т. Голд.

II етап (накопичення даних, підвищення точності фотометрії).

1. В 1952 р. В. О. Федорець створила фотометричний каталог приблизно 150 площинок місячної поверхні (Федорець, 1952). Для свого часу це був дуже точний каталог, який застосовувався для виконання світлотехнічних розрахунків, які забезпечували проведення як радянських, так і перших американських космічних експериментів поблизу Місяця. Дані цього каталога широко використовувались також для перевірки перших теоретичних моделей розсіяння світла місячною поверхнею. Пізніше робота по створенню високоточних фотометричних і поляриметричних каталогів була продовжена в АО ХДУ Л. О. Акимовим та ін. (1986) і М. В. Опанасенком (Shkuratov, Opanasenko, 1992).

2. В 1973 р. в АО ХДУ при підтримці Інституту космічних досліджень АН СРСР були створені карти альбедо (0.63 мкм) і показника кольору (0.63/0.38 мкм) видимої півкулі Місяця (Євсюков, 1973а, б). Карти будувались методом фотографічної еквіденситометрії без необхідної фотометричної корекції зображень і тому містять ряд неточностей. Проте це були фактично перші оглядові оптичні карти Місяця. Вони в сукупності з даними про склад ґрунту в місцях посадок космічних апаратів вперше дали змогу поставити задачу кількісного прогнозування хімічного складу місячної поверхні за реперними кореляціями вмісту хромофорних елементів (Fe, Ti) з оптичними характеристиками (Євсюков, 1974). Тепер в АО ХДУ роботи, пов'язані з картографуванням оптичних характеристик Місяця з використанням як даних наземних, так і космічних зйомок (КА «Галілео» і «Клементина»)

активно продовжуються. В перспективі передбачається побудувати карти поширеності основних хромофорних елементів на місячній поверхні.

3. В 1970-ті роки Л. О. Акимовим були розпочаті важливі роботи в галузі опису фотометричних властивостей так званих гранично широких поверхонь (Акимов, 1975). Зокрема, отримано новий закон розподілу яскравості по диску Місяця, який значно краще описує експериментальні дані, ніж інші моделі. Недавно з'ясувалось, що цей підхід може бути істотно розвинутий і що фактично роботою Л. О. Акимова закладено основи нового наукового напрямку — оптики фізичних фракталів (Шкуратов, 1995).

ІІІ етап (розгортання робіт з поляриметрії, цифрова обробка зображень, нові ідеї в інтерпретації).

1. В 1979 р. вперше був отриманий розподіл по місячній поверхні параметра поляриметричних аномалій (Шкуратов та ін., 1980). Цей параметр описує відхилення від закону Умова — тісної зворотної кореляції максимального степеня поляризації і альбедо світlorозсіючого шару. Він пропорційний другому параметру Стокса розсіянного випромінювання. Виявляється, що параметр поляриметричних аномалій тісно корелює з розмірами частинок реголіту (Шкуратов та ін., 1980; Shkuratov et al., 1992). Це відкрило можливість кількісного дослідження важливих структурних характеристик місячної поверхні. Analogічні роботи на 5 років пізніше були розпочаті в Медонській обсерваторії О. Дольфюсом.

2. На початку 1980-х рр. в АО ХДУ спільно з Інститутом радіофізики і електроніки НАН України були розпочаті роботи, пов'язані з цифровою обробкою зображень Місяця (Корнієнко та ін., 1982). Ці дослідження в комплексі з іншими роботами, присвяченими аналоговій і цифровій обробці астрономічних зображень були в 1986 р. відзначені Державною премією України (А. А. Бабічев, В. М. Дудінов, Ю. В. Корнієнко, В. Г. Парусимов, Д. Г. Станкевич, В. С. Цветкова, Ю. Г. Шкуратов). В розвиток цього напрямку в АО ХДУ виконані роботи, пов'язані з побудовою зображень Місяця цілком нового типу. Ці зображення передають розподіл параметрів опозиційного ефекту і від'ємної поляризації (Опанасенко и др., 1994; Shkuratov et al., 1994).

3. В останні роки в АО ХДУ активно проводяться лабораторні оптичні дослідження структурних імітаторів місячного реголіту. Зокрема, були розпочаті фотометричні вимірювання опозиційного

ефекту яскравості в діапазоні фазових кутів 0.2 — 3.5°. Як відомо, Місяць при фазових кутах менше 1° не спостерігається з Землі поза затемненням, тому про опозиційний ефект його поверхні можна судити лише на основі лабораторних вимірювань і/або даних космічних досліджень. На підставі високоточної дискретної поляриметрії і фотометрії Місяця та лабораторних оптичних досліджень великої кількості модельних поверхонь з контролюваними структурними характеристиками доведена спільність походження опозиційного ефекту яскравості і від'ємної поляризації світла (Шкуратов, 1985). Для інтерпретації обох ефектів в АО ХДУ і ГАО НАНУ запропоновано використати механізм когерентного підсилення зворотного розсіяння (Шкуратов, 1985; Mishchenko, 1991).

На завершення огляду астрофізичних досліджень Місяця відзначимо роботу Кримської астрофізичної обсерваторії, де був створений астрофотометр для вимірювання яскравості неба Місяця (Severny et al., 1975), встановлений на КА «Луноход-2». Вимірювання проводились у видимій та УФ-ділянках спектра протягом місячних дня і ночі. Поблизу горизонту виявлено надлишкове випромінювання, спричинене розсіянням світла хмарою пилових частинок, що виникають в області місячного термінатора за рахунок електростатичних ефектів. Цей важливий результат підтверджив аналогічні дані, отримані КА «Сервейор-7» та екіпажами деяких КК «Аполлон».

Лабораторні дослідження місячного ґрунту. Тут варто відмітити роботи з дослідження як геохімічних, так і оптичних властивостей місячного реголіту. Відразу ж після доставки місячного ґрунту на Землю експедиціями «Аполлон» і АМС серії «Луна», розпочалось його всебічне вивчення лабораторними методами. Зокрема, у верхніх зонах реголітових частинок були виявлені колоїдні виділення ультрадисперсного поновленого заліза, яке могло утворитися в результаті впливу декількох факторів, серед яких провідними, очевидно, є два. Перший — це імплантация частинок сонячного вітру (в основному протонів), які, зв'язуючи кисень силікатів, приводять до поновлення металів. Другий фактор — це можливі конденсатні відкладення, матеріал яких утворюється в імпактних процесах різних масштабів — цей матеріал повинен також бути збагаченим формами поновлених металів.

У велику групу вчених, які займались вивченням ультрадисперсних відновлених фаз, входили співробітники Інституту металофізики НАН України — В. В. Немошканенко і В. Г. Альошин. Один з результатів їх роботи, виконаної спільно із спів-

робітниками Інституту геохімії і аналітичної хімії ім. В. І. Вернадського РАН і деяких інших установ, був зареєстрований як відкриття в СРСР (диплом Т 219) (Азаров, 1988). В. В. Немошканенко і В. Г. Альошин були відзначенні премією НАН України ім. М. П. Барабашова. Була експериментально встановлена властивість неокислюваності ультрадисперсних форм простих речовин (зокрема заліза, титану та кремнію), що знаходяться на поверхні космічних тіл, наприклад, місячного реголіту, який проявляється в хімічній пасивності по відношенню до газоподібного кисню (Диков та ін., 1977; Немошканенко, 1982).

До іншого напрямку лабораторних досліджень місячного ґрунту відносяться оптичні вимірювання. Вони велись в ГЕОХІ РАН співробітниками АО ХДУ Л. О. Акимовим і Ю. Г. Шкуратовим за допомогою спеціально створеного фотометра-польариметра. Виконані фотометричні вимірювання місячного ґрунту (Акимов и др., 1980; Акимов, Шкуратов, 1983) дали змогу дослідити аномальний опозиційний ефект кольору, який проявляється в наявності мінімуму на фазовій залежності показника кольору в зоні кутів 5–15°. Як тепер стало ясно, дослідження цього ефекту перспективне з точки зору опрацювання методики дистанційного визначення розмірів частинок світlorозсіюючої поверхні (Шкуратов и др., 1996а).

ПЕРСПЕКТИВНІ КОСМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІСЯЦЯ

З представленного вище огляду видно, що в Україні є значний науковий потенціал в дослідженнях Місяця. На жаль, ефективне використання цього потенціалу в сучасних умовах економічної кризи навряд чи можливе. Проте відсутність зараз таких можливостей проведення власних космічних досліджень Місяця не означає, що Україна не буде проводити їх в майбутньому. З цієї точки зору, завданням нинішнього етапу повинно бути, з одного боку збереження в Україні наукової «культури» досліджень Місяця і підтримка відповідних наукових колективів, а з другого — участь в космічних проектах дослідження Місяця, ініційованих іншими країнами.

Умовно можна виділити дві форми участі в космічних проектах інших країн. Перша (мабуть, найпрестижніша) — проведення автономного експерименту. В цьому випадку необхідно, беручи до уваги умови функціонування космічного апарату, забезпечити: наукову ідеологію експерименту; конструктування, виготовлення і своєчасну поставку відповідного приладу; гарантію його узгодженості

роботи з іншими науковими приладами і блоками космічного апарату; подальшу обробку і аналіз поступаючої інформації. Друга форма участі більш скромна. Вона передбачає декілька можливостей, наприклад:

- ініціативу проведення того чи іншого експерименту з можливою детальною розробкою його концепції спільно з іншими учасниками експерименту;

- спільну обробку і аналіз даних експериментів, проведених іншими країнами.

Розглянемо деякі з розроблюваних космічних проектів, орієнтованих на дослідження Місяця, з точки зору можливої участі України.

Солучені Штати Америки. 20 липня 1989 р. — в день 20-річчя здійснення першої посадки на Місяць КА програми «Аполлон» з екіпажем на борту — президент США Джордж Буш оголосив програму SEI (Space Exploration Initiative), покликану прискорити пілотовані дослідження Сонячної системи, починаючи з освоєння Місяця.

Нині в США схвалено лише один проект НАСА, пов’язаний з дослідженнями Місяця — «Лунар Проспектор». Космічний апарат передбачається вивести на навколоісіянчу полярну орбіту висотою 100 км для проведення широкого комплексу робіт з геохімічного картографування місячної поверхні. Запуск планується здійснити в 1997 р. Робота космічного апарату розрахована приблизно на рік. Інший проект (Lunar Rover Initiative) ще не фінансується, проте розглядається як дуже перспективний. Він орієнтований на дослідження місячної поверхні за допомогою самохідних апаратів. Запуск планується здійснити в 1999 р.

Лише один схвалений проект НАСА не означає, проте, що в США найближчим часом не відбудеться який-небудь інший запуск до Місяця. До статньо згадати несподівану для наукової громадськості появу «Клементини» — космічного апарату, розробленого організаціями Міністерства Оборони США в рамках проекту «зоряних воєн» (Nozette et al., 1994). «Клементина» — дитя конверсії оборонного комплексу США. Не виключена поява інших проектів такого роду. Зокрема, ще зовсім недавно вивчалось питання про запуск КА «Клементина-2».

КА «Клементина» був запущений 25 січня 1994 р. для вивчення астероїдів при зближенні з деякими з них. КА споряджено камерами для знімання в видимому, УФ-, ІЧ- та далекому ІЧ-діапазонах, а також лазерним алтиметром, що дало змогу під час польоту КА біля Місяця виконати його геологічне та топографічне картографування з високою роздільністю здатністю.

За теперішнього часу здається малоймовірною

засіканість з американського боку будь-яким науковим експериментом, проведеним за допомогою іноземного приладу, встановленого на борту КА США (в США зараз чимало конкуруючих наукових груп і фірм, здатних повною мірою забезпечити потребу майбутніх місячних космічних місій в науковій ідеології і відповідній апаратурі). Проте співробітництво тут можливе на стадії обробки і аналізу космічної інформації. Дійсно, нині обсяг даних, які отримуються в ході деяких експериментів, наприклад телевізійної зйомки з високою роздільною здатністю, значно перевищує можливості американських вчених самостійно провести детальний аналіз цих даних; вчені США тепер охоче йдуть на співпрацю і діляться отриманою інформацією. Наприклад, такий стан справ має місце з даними спектrozональної зйомки Місяця, проведеної згаданим вище КА «Клементина». В принципі ці дані доступні у вигляді бібліотеки лазерних дисків для широкого використання. Зокрема, робота з зображеннями місячної поверхні, отриманими КА «Клементина», розпочата в АО ХДУ спільно з співробітниками Університету Брауна (США).

Японія. Зараз Японія укладає великі кошти в розвиток власних космічних проектів, зокрема, пов'язаних з дослідженнями Місяця. Довгострокова японська програма вивчення Місяця розпадається за часом на два етапи. Початок першого з них буде покладено запуском в 1997 р. супутника Місяця (місія «Лунар А»), який скине на місячну поверхню три пенетратори і проведе знімання окремих її районів з високою роздільною здатністю при змінному сонячному освітленні. За допомогою пенетраторів передбачається проводити вимірювання теплового потоку, який йде з надр Місяця. Пенетратори будуть також споряджені сейсмометрами, на порядок чутливішими ніж ті, які використовувались в експедиціях «Аполлон». Два пенетратори будуть скинуті на видимому боці Місяця, а один — на зворотному. Тобто, буде створена унікальна сейсмічна мережа, яка, можливо, дасть змогу відповісти на питання про те, чи має Місяць ядро. «Опитування» приладів пенетраторів буде здійснюватись за допомогою орбітального модуля, з якого потім інформація пересилатиметься на Землю.

Передбачається участь України у виконанні робіт з радіоінтерферометричних вимірювань трьох радіопередавачів, які будуть встановлені на Місяці, за допомогою радіотелескопа РТ-22 (Крим, Євпаторія).

В 2002 р. в Японії планується запуск місячного полярного супутника для проведення глобальної

зйомки місячної поверхні. Цей проект знаходиться ще в стадії розробки, і склад його наукової апаратури поки що остаточно не затверджений. Ще менш визначеними є проекти, що використовують самохідні апарати. Вони орієнтовані на задачі колекційного збирання зразків місячного ґрунту і його доставки на Землю. В Японії, як і в США, є багато фірм, здатних створювати необхідну наукову апаратуру, які борються за отримання престижних та вигідних замовлень. Знову-таки можливість розміщення на цьому супутнику «сторонніх» приладів здається малоімовірною. Проте участь в обробці і аналізі наукової інформації, мабуть, możliва.

Країни Західної Європи. Недавно «Керівна група з досліджень Місяця» європейського космічного агентства (ЕКА), відмічаючи унікальність наукового і стратегічного значення Місяця для земної цивілізації, розробила концепцію його подальших досліджень за допомогою автоматичних станцій (Bank, Kassing, 1993). Виділяється три можливих види наукової діяльності у виконанні програми за назвою «Місія до Місяця»: «Science of the Moon», «Science on the Moon» і «Science from the Moon». Керівництво ЕКА вважає, що тут доцільна і можлива широка міжнародна кооперація.

На теперішній час в ЕКА серйозна робота проводиться над двома місячними проектами (щоправда, до цього часу ще не затвердженими). Перший з них — проект LEDA (Lunar European Demonstration Approach), включає доставку самохідного апарату в район північного полюса Місяця. Запуск планується здійснити в 2002 р. Завданням місії є, зокрема, панорамна зйомка місячної поверхні по трасі руху апарату та довготривалий моніторинг навколо місячного простору. Автори проекту збираються вивчати за допомогою цього апарату ділянки місячної поверхні, які ніколи не освітлюються Сонцем з метою пошуку льоду. Деякі дослідження передбачається виконати і з орбітального модуля. Проте, вони будуть орієнтовані, головним чином, на забезпечення основної частини місії: вибір місця для посадки, вибір траси руху ровера та ін.

Проект MORO (Moon ORbiting Observanory) передбачає запуск полярного супутника Місяця в 2003 р. Цей проект розглядається в двох можливих варіантах відповідно до різної ваги і складу наукової апаратури. Проте в обох випадках передбачений субсателіт вагою близько 10 кг, який в парі з основним модулем складає орбітальний градієнтометр. Це дасть змогу проводити унікальні дослідження структури гравітаційного поля Місяця. Мінімальний варіант включає в себе стереокамеру на основі ПЗЗ-лінійок, яка працюватиме в дев'яти

спектральних каналах. Вона забезпечить просторову роздільну здатність в декілька десятків метрів на піксель, що на порядок перевищує роздільну здатність даних спектрозональної зйомки, проведеної КА «Клементина». Крім цього, на апараті MORO буде встановлений картуючий ІЧ-спектрометр, який працює в діапазоні 0.8—2.5 мкм, та мікрохвильовий радарний альтиметр і радіометр. Розширеній варіант передбачає також установку рентгенівського і гамма-спектрометра для геохімічної зйомки. Можливо, будуть установлені і інші прилади, такі як магнітометр, електронний рефлексометр і мас-спектрометр для вивчення місячної екзосфери. Вибір варіантів і установлення додаткових приладів ставиться авторами проекту в залежність від результатів роботи американського КА «Лунар Проспектор».

Хоча проекти LEDA і MORO є міжнародними, ні Росія, ні Україна в них участі не приймають. На нинішньому етапі «прорватись» на борт цих апаратів, навіть маючи оригінальну ідею космічного експерименту та готовий прилад, навряд чи можливо. Проте, як і в попередніх випадках, варто докладати зусиль щодо включення українських спеціалістів в робочі групи для спільної обробки та аналізу наукових даних.

Росія. Як уже відмічалось, останній запуск до Місяця в СРСР був здійснений в 1976 р. Після цього епізодично розглядались різні проекти досліджень Місяця за допомогою автоматичних станцій, проте жоден з них не був доведений до стадії рішення держкомісії з військово-промислових питань, з якого в той час розпочиналась будь-яка реальна робота за тим чи іншим космічним проектом. Зокрема, на початку 1980-х рр. був дуже близьким до затвердження проект місячного полярного супутника (проект 1Л), який планувалось запустити в 1988 р. Цей супутник дозволив би розв'язати багато цікавих наукових задач, частина з яких була лише недавно розв'язана КА «Клементина», а частина, можливо, буде розв'язана лише за допомогою супутника «Лунар Проспектор». Базовим модулем мав служити запасний апарат з серії «Фобос», створений в НПО ім. С. А. Лавочкина. Цей апарат передбачалось оснастити приладами, орієнтованими на дослідження Місяця. На жаль, запуск місячного полярного супутника так і не відбувся.

На теперішній час в Росії дослідження Місяця не віднесені до числа пріоритетних. Проте обговорюється питання про можливий запуск приблизно в 2003 р. космічного апарату з пенетраторами типу тих, які будуть використані при дослідженнях Марса в межах проекту «Марс-96». Варто також

мати на увазі, що політ до Місяця — справа порівняно проста і достатньо відпрацьована з технічної точки зору. У випадку покращення економічної ситуації та виникнення підходящої кон'юнктури, космічні фірми Росії, маючи великий досвід минулих наукових і інженерно-конструкторських робіт, здатні протягом короткого часу створити космічні апарати, призначенні для дослідження місячної поверхні як з навколомісячної орбіти, так і *on situ*.

Співробітництво багатьох наукових і інженерних колективів України і Росії є традиційним. Тому у випадку відновлення інтересу до космічних досліджень Місяця в Росії відповідні наукові дослідження могли б бути виконані в рамках міждержавної космічної програми. Зокрема, понад 10 років тому GEOXI РАН, АО ХДУ і ІРЕ НАН України в рамках згаданого вище проекту 1Л розпочали на ініціативі основі розробку бортового оптичного приладу для створення калібрівочної фотометричної мережі даних (експеримент «Янус»), які, зокрема, передбачалось використати для оглядового картографування структурних і мінералого-геохімічних характеристик місячної поверхні. Ідея цього експерименту до цього часу актуальна (Шкуратов и др., 1996б) і може бути використана в майбутньому.

ВИСНОВОК

Місяць — наш найближчий природний супутник і тому є зrozумілим особливий інтерес землян до цього небесного тіла. З одного боку, вивчення походження, будови і еволюції Місяця, взаємодії Місяць—Земля — актуальна наукова проблема. З іншого боку, Місяць є сховищем альтернативних джерел сировини та енергії, які при розумному використанні можуть служити людству протягом багатьох тисячоліть. Нарешті, Місяць може розглядатись як економічно вигідна платформа для дослідження далекого Всесвіту і здійснення пілотованих польотів на Марс та інші тіла Сонячної системи.

Азаров А. М. Открытия ученых СССР: справочник / Под ред. В. Е. Тонкаля. — Киев: Наук. думка, 1988.—320 с.

Акимов Л. А. О влиянии мезорельефа на распределение яркости по диску планеты // Астрон. журн.—1975.—52, вып. 3.— С. 635—641.

Акимов Л. А., Антипова-Каратая И. И., Езерский В. И., Шкуратов Ю. Г. Некоторые результаты изучения оптических свойств проб реголита «Луны-24» // Лунный грунт из Моря Кризисов. — М., 1980.—С. 333—341.

Акимов Л. А., Латынина И. И., Олифер Н. С. Опорный каталог оптических характеристик избранных участков лунной по-

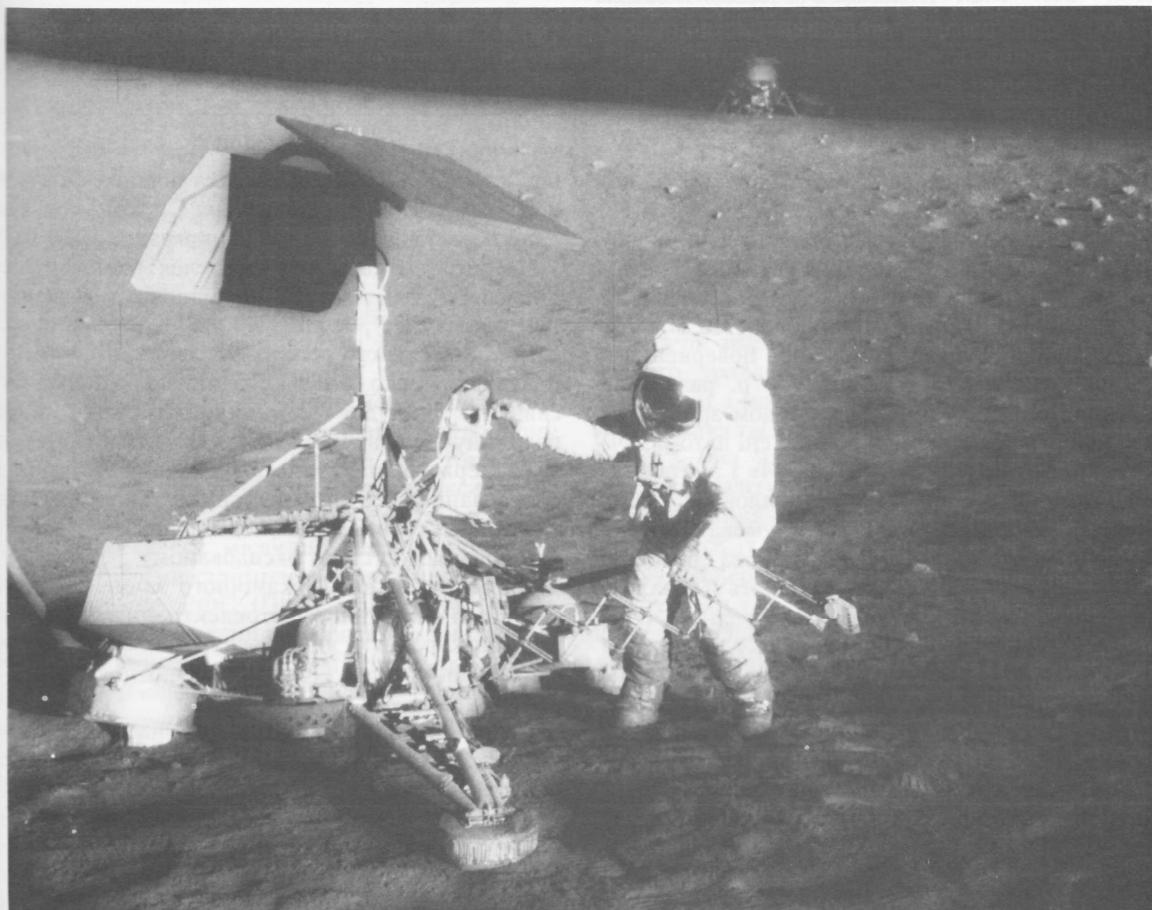
- верхности. — Харьков, 1986.—31 с.—(Деп. в УкрНИИНТИ 18.11.86; № 2689).
- Акимов Л. А., Шкуратов Ю. Г. Оптические исследования образцов лунного грунта различной степени зрелости // Астрон. вестник.—1983.—17, № 4.—С. 202—209.
- Барабашов Н. П., Чекирда А. Т. Об отражении света от поверхности Луны и Марса // Астрон. журн.—1945.—22.— С. 11—22.
- Большаков В. Д. (ред.) Атлас планет земной группы и их спутников. — М.: Изд-во МИИГАИК, 1992.—208 с.
- Гаврилов И. В. Фигура и размеры Луны по астрономическим наблюдениям. — Киев: Наук. думка, 1969.—150 с.
- Гаврилов И. В., Дума А. С., Кислюк В. С. Каталог сelenоцентрических положений 500 базисных точек на Луне // Фигура и движение Луны. — Киев: Наук. думка, 1967.— Вып. 2.—С. 7—55.
- Гаврилов И. В., Дума А. С., Кислюк В. С., Курьянова А. Н. Сelenоцентрические координаты 160 базисных точек на поверхности Луны // Фигура и движение Луны. — Киев: Наук. думка, 1965.—С. 40—60.
- Гаврилов И. В., Кислюк В. С. Сводный каталог сelenоцентрических положений 2580 базисных точек на Луне. — Киев: Наук. думка, 1970.—124 с.
- Гаврилов И. В., Кислюк В. С., Дума А. С. Сводная система сelenоцентрических координат 4900 точек лунной поверхности. — Киев: Наук. думка, 1977.—172 с.
- Гаврилов И. В., Кислюк В. С., Карапасев Л. А. Мегарельеф видимой стороны Луны // Астрон. вестник.—1981.—15, № 4.—С. 211—215.
- Гаврилов И. В., Яновицкая Г. Т. Сопоставление абсолютных высот уровенной и физической поверхности Луны // Тр. 18-й Астрометр. конф. СССР (2—5 июня 1969 г., Пулково). — Л.: Наука, 1972а.—С. 292—297.
- Гаврилов И. В., Яновицкая Г. Т. Аппроксимация геометрической фигуры Луны с помощью сферических функций // Астрометрия и астрофизика.—1972.—Вып. 16.—С. 46—52.
- Горянина А. А. Постоянные физической librations Луны. — Киев: Наук. думка, 1969.—276 с.
- Диков Ю. П., Богатиков О. А., Немошталенко В. А. и др. Особенности состояния породообразующих элементов в поверхностных слоях реголитовых частиц «Луны-24» // Геохимия.—1977.—№ 10.—С. 1524—1532.
- Дума А. С. Абсолютные высоты краевой зоны Луны в системе сelenоцентрических опорных точек // Астрометрия и астрофизика.—1973.—Вып. 20.—С. 55—68.
- Дума А. С., Кислюк В. С. Профиль Луны по фотографиям, полученным с помощью КК «Аполлон-11» // Кинематика и физика небес. тел.—1985.—1, № 1.—С. 49—54.
- Зазуляк П. М. Исследование параметров внешнего гравитационного поля и фигуры Луны: Автoref. дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Киев, 1977.—19 с.
- Зазуляк П. М., Зингер В. Е., Кислюк В. С. Представление лунной топографии рядом сферических функций до 16-го порядка // Кинематика и физика небес. тел.—1988.—4, № 3.—С. 68—75.
- Зазуляк П. М., Киричук В. В., Мещеряков Г. А. Исследования обобщенной фигуры Луны // Proc. Intern. symp. figure of the Earth, the Moon and other planets. — Prague: Research Inst. of Geod., Topogr. and Cartogr., 1983.—Р. 465—475.
- Зазуляк П. М., Кислюк В. С. Планетарные особенности фигуры и гравитационного поля Луны // Селенодезия и динамика Луны. — Киев: Наук. думка, 1990.—С. 74—79.
- Евсюков Н. Н. Карта альбено видимого полушария Луны. — Киев: Наук. думка, 1973а.
- Евсюков Н. Н. Карта цвета видимого полушария Луны. — Киев: Наук. думка, 1973б.
- Евсюков Н. Н. Связь оптических характеристик с химико-минералогическим составом лунных пород // Астрон. журн.—1974.—51.—С. 1316—1325.
- Кислюк В. С. Опыт построения независимой селенодезической системы координат // Астрометрия и астрофизика.—1971.—Вып. 13.—С. 30—43.
- Кислюк В. С. Об уточнении координаты дзета кратеров видимого полушария Луны по данным съемки КА «Зонд-8» // Космич. исследования.—1975а.—13.—С. 415—422.
- Кислюк В. С. Профиль обратной стороны Луны по данным съемки КА «Зонд-8» // Астрометрия и астрофизика.—1975б.—Вып. 27.—С. 31—36.
- Кислюк В. С. Эллипсоид инерции Луны // Кинематика и физика небес. тел.—1985.—1, № 1.—С. 41—48.
- Кислюк В. С. Геометрические и динамические характеристики Луны. — Киев: Наук. думка, 1988.—184 с.
- Кислюк В. С. Комплексное изучение динамики системы Земля—Луна с помощью наземной и космической астрометрии // Астрономические аспекты освоения Луны и поиск внеземных ресурсов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993.—С. 136—144.
- Кислюк В. С., Василенко Н. А., Семеренко Р. Л., Коллюх В. Б. Определение углов ориентировки селенодезической координатной системы по данным фотографических позиционных наблюдений Луны // Астрометрия и астрофизика.—1983.—Вып. 48.—С. 78—84.
- Кислюк В. С., Семеренко Р. Л. Определение ориентировки Луны по наземным фотографическим наблюдениям // Селенодезия и динамика Луны. — Киев: Наук. думка, 1990.—С. 99—103.
- Коваль И. К., Лисина Л. Р., Миронова М. Н. Топографические особенности избранных объектов восточного сектора обратной стороны Луны // Атлас обратной стороны Луны. — М.: Наука, 1967.—Ч. 2.—С. 172—178.
- Корниенко Ю. В., Шкуратов Ю. Г. Бычинский В. И., Станкевич Д. Г. Взаимосвязь альбедо и поляризационных характеристик Луны. Применение цифровой обработки изображений // Астрон. журн.—1982.—59, вып. 3.—С. 571—577.
- Лисина Л. Р. Исследование рельефа лунной поверхности в районе кратера Кеплер фотометрическим методом // Физика Луны и планет. — Киев: Наук. думка, 1966.—С. 95—109.
- Мещеряков Г. А., Зазуляк П. М., Зингер В. Е., Киричук В. В. Модель гравитационного поля Луны, полученная с использованием данных о лучевых ускорениях. — Львов, 1983.—13 с.—(Деп. в УкрНИИНТИ 15.06.83, № 498 Ук.).
- Мещеряков Г. А., Зазуляк П. М., Киричук В. В. О вычислении моментов инерции Луны // Астрон. журн.—1976.—53, вып. 3.—С. 620—625.
- Мещеряков Г. А., Киричук В. В., Зазуляк П. М. О сравнительной оценке моделей гравитационного поля Луны // Геодезия, картография и аэрофотосъемка.—1980.—Вып. 32.—С. 101—106.
- Немошталенко В. В. Неокислювальні метали // Знання та праця.—1982.—№ 7.—С. 6—8.
- Опанасенко Н. В., Долуханян А. А., Шкуратов Ю. Г. и др. Изображение степени поляризации Луны вблизи минимума отрицательной ветви // Астрон. вестник.—1994.—28, № 2.—С. 27—36.
- Семеренко Р. Л. Построение динамической сelenоцентрической координатной системы по фотографическим наблюдениям Луны. — Киев, 1987.—20 с.—(Препринт / АН УССР. Ин-т теор. физики; ИТФ-87-118Р).
- Федорец В. А. Фотографическая фотометрия лунной поверхности // Ученые записки Харьков. ун-та.—1952.—42.—С. 49—172.
- Шевченко В. В. Проект обитаемой базы на Луне // Вестн. АН СССР.—1986.—№ 10.—С. 85—98.

- Шевченко В. В., Чикмачев В. И. Лунная база — проект ХХI века // Итоги науки и техники / ВИНИТИ. Косм. исследования.—1989.—116 с.
- Шкуратов Ю. Г. О природе оппозиционного эффекта яркости и отрицательной поляризации света твердых космических поверхностей // Астрон. циркуляр.—1985.—№ 1400.—С. 3—6.
- Шкуратов Ю. Г. Обзор исследований обратного рассеяния света твердыми поверхностями небесных тел: теоретические модели оппозиционного эффекта // Астрон. вестник.—1994а.—28, № 4—5.—С. 155—171.
- Шкуратов Ю. Г. Обзор исследований обратного рассеяния света твердыми поверхностями небесных тел: оппозиционный эффект яркости по экспериментальным данным // Астрон. вестник.—1994б.—28, № 2.—С. 3—18.
- Шкуратов Ю. Г. Фрактоиды и фотометрия твердых поверхностей небесных тел // Астрон. вестник.—1995.—29, № 6.—С. 483—496.
- Шкуратов Ю. Г., Мелкумова Л. Я., Опанасенко Н. В., Станкевич Д. Г. О фазовой зависимости цвета безатмосферных небесных тел // Астрон. вестник.—1996а.—3, № 1.—С. 82—91.
- Шкуратов Ю. Г., Редькин С. П., Битанова Н. В., Ильинский А. В. Взаимосвязь альбедо и поляризационных свойств Луны. III. Новый оптический параметр // Астрон. циркуляр.—1980.—№ 1112.—С. 3—6.
- Шкуратов Ю. Г., Станкевич Д. Г., Корниенко Ю. В. и др. Эксперимент «Янус» на лунном полярном спутнике // Космічна наука і технологія.—1996б.—2, № 1—2.—С. 24—30.
- Яковкин А. А. Радиус и форма Луны // Бюл. Астрон. обсерватории им. В. П. Энгельгардта.—1934.—№ 4.—С. 3—15.
- Яковкин А. А. Астрометрия на Луне (программа астрометрических наблюдений на стационарной лунной обсерватории) // Тр. 15-й Астрометр. конф. СССР (13—17 декабря 1960 г., Пулково). — Л.: Наука, 1963.—С. 412—416.
- Яковкин А. А., Деменко И. М., Миць Л. Н. Формулы и эфемериды для полевых наблюдений на Луне. — Киев: Наук. думка, 1964.—149 с.
- Bank C., Kassing D. Technologies for automatic lunar exploration missions // ESA bulletin.—1993.—N 74.—P. 29—35.
- Barabashev N. P. Bestimmung der Erdalbedo und des Reflexionsgesetzes fur die Oberflache der Mondmeere. Theorie der Rillen // Astron. Nachr.—1922.—217.—P. 445—452.
- Foing B. H. Astronomy and space science from station Moon // J. Brit. Interplanetary Soc.—1995.—48.—P. 67—70.
- Habibullin Sh. T., Chikanov Yu. A., and Kislyuk V. S. Relative deformations of selenodetic nets of coordinates // Moon.—1972.—3, N 4.—P. 21—30.
- Kislyuk V. S. System of generalized selenodetic parameters // Proc. Int. Symp. Figure of the Earth, Moon and Planets. — Prague: Research Inst. Geodes., topogr. and cartogr., 1987.—P. 167—177.
- Kislyuk V. S. Orientation of the Moon's ellipsoid of inertia // Manuscr. geod.—1990.—15.—P. 179—186.
- Mishchenko M. I. Polarization effects in weak localization of light: calculation of the copolarized and depolarized backscattering enhancement factors // Phys. Rev. B.—1991.—44, N 22.—P. 12597—12600.
- Nozette S., Pleasance L. P., Horan D. M., et al. The Clementine mission to the Moon: science overview // Science.—1994.—266.—P. 1835—1839.
- Severny A. B., Terez E. I., and Zvereva A. M. The measurements of sky brightness on lunokhod-2 // Moon.—1975.—14, N 1.—P. 123—128.
- Shkuratov Yu. G., Opanasenko N. V. Polarimetric and photometric properties of the Moon: Telescope observation and laboratory simulation. 2. The positive polarization // Icarus.—1992.—99.—P. 468—484.
- Shkuratov Yu. G., Opanasenko N. V., and Kreslavsky M. A. Polarimetric and photometric properties of the Moon: Telescope observation and laboratory simulation. 1. The negative polarization // Icarus.—1992.—95.—P. 283—299.
- Shkuratov Yu. G., Starukhina L. V., Kreslavsky M. A., et al. Principle of undulatory invariance in photometry of atmosphereless celestial bodies // Icarus.—1994.—109.—P. 168—190.

EXPLORATION OF THE MOON FROM SPACE: TASKS, POTENTIALITIES, AND PROSPECTS OF THE UKRAINIAN SCIENCE AND ENGINEERING

V. S. Kyslyuk, Yu. G. Shkuratov, and Ya. S. Yatskiv

The current status of astrometric, selenodetic, photometric, and astrophysical investigations of the Moon in Ukraine is analyzed. Space projects of different space agencies concerning the further exploration of the Moon are discussed together with a possible participation of Ukraine in some of the projects.



Мозаїка фотознімків поверхні Місяця поблизу кратера Тіхо, отриманих КА «Сервейор-7» в січні 1968 р. (верхній знімок) та астронавт
космічного корабля «Аполлон-12» Алан Бін (листопад 1969 р.) оглядає КА «Сервейор-3», який здійснив посадку на Місяці (Океан
Бур) в квітні 1967 р. (нижній знімок)

Фото лабораторії реактивного руху (Пасадена, Каліфорнія), НАСА