

УДК 523.3

Задачи лунного полярного спутника после КА «Клементина»

Ю. Г. Шкуратов¹, Н. В. Бондаренко², А. С. Качанов³

¹Астрономічна обсерваторія Харківського університету

²Інститут радіофізики та електроніки НАН України, Харків

³Інститут геохімії і аналітичної хімії ім. В. І. Вернадського РАН, Москва

Надійшла до редакції 17.07.97

Аналіз стану місячних космічних досліджень показує, що дуже перспективним завданням місячного полярного спутника могла б бути глобальна багаточастотна зйомка Місяця в радіодіапазоні. Вона дозволить провести картографування характеристик підповерхневих шарів Місяця і, зокрема, оцінити товщину її реголітового чохла. Відмічається, що актуальність цієї задачі збільшилась після виконання КА «Клементина» програми, пов'язаної з дослідженням Місяця (короткий огляд результатів представлено в даній роботі). Для ілюстрації можливостей використання супутникової радіолокації в дослідженнях Місяця представлена карта товщини реголітового шару, побудованої для видимої півкулі на основі спільної обробки радіолокаційних та оптичних даних, одержаних за допомогою наземних вимірювань.

ВВЕДЕНИЕ

В странах СНГ программы исследований планет из-за переживаемого экономического спада финансируются недостаточно. Однако для поддержания статуса космических держав и России, и Украине космические планетные программы необходимы [3]. Это представляется особенно важным после неудачного запуска КА «Марс-96». Одним из возможных вариантов продолжения Россией и другими странами СНГ планетных исследований с помощью космических средств могла бы быть лунная программа. При не слишком больших исследовательских запросах такая программа может оказаться сравнительно простой и дешевой. При этом она способна дать результаты, важные с точки зрения как фундаментальной науки, так и прикладных исследований. Яркий в научном отношении лунный проект оживит интерес западных ученых к научным контактам с коллегами из стран СНГ и позволит сохранить международную кооперацию по созданию научной аппаратуры, возникшую в ходе

работы над проектом «Марс-96».

Следует также отметить, что в области исследования Луны из космоса в странах СНГ накоплен определенный опыт, который сейчас может быть использован в перспективных проектах.

Будущие космические программы изучения Луны должны вобрать в себя идеи новых экспериментов и не повторяют то, что уже было сделано в ходе выполненных миссий. Особый интерес с этой точки зрения представляет собой анализ результатов, полученных в ходе выполнения миссии КА «Клементина». Поэтому в следующем разделе мы кратко рассмотрим эти результаты, следуя данным работы [12].

НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МИССИИ «КЛЕМЕНТИНА»

19 февраля 1994 г. космический зонд «Клементина» был выведен на полярную орбиту с периодом обращения вокруг Луны около 5 часов. Минимальное расстояние до поверхности составляло около

400 км, максимальное — 2900 км. На этой орбите зонд находился до 3 мая того же года. За это время «Клементина» отсняла 38 миллионов квадратных километров площади лунной поверхности с высоким разрешением.

Объем переданной информации — это более миллиона полноценных изображений — заметно превышает то, что было получено в ходе всех предшествующих космических полетов к Луне, включая экспедиции «Аполлон».

Зонд был оснащен четырьмя съемочными камерами. Камера UVVIS позволила провести съемку лунной поверхности в пяти сравнительно узких участках спектра: $\lambda\lambda$ 0.42, 0.75, 0.90, 0.95, 1.00 мкм со средним разрешением 200 м на элемент ПЗС-матрицы. Камера NIR работала в шести спектральных каналах: $\lambda\lambda$ 1.10, 1.25, 1.50, 2.00, 2.60, 2.78 мкм почти с тем же пространственным разрешением, что и камера UVVIS. Этими камерами было получено около миллиона изображений четкостью примерно 300×300 элементов. Еще около 300000 изображений было получено камерой LWIR, которая работала в тепловом диапазоне, в полосе 8.0—9.5 мкм (четкость изображений примерно 100×100 элементов, среднее разрешение на поверхности около 100 м). На зонде имелась камера NIREX для изучения избранных участков лунной поверхности с высоким разрешением (около 20 м на поверхности). Этой камерой было получено около 600000 изображений в четырех участках спектра видимого диапазона. Эта же камера служила питающей оптикой для лазерного альтиметра-дальномера, который работал на длине волны λ 1.06 мкм, обеспечивая пространственное разрешение 20 м и точность измерения дальности 40 м при высоте полета аппарата 500 км над лунной поверхностью.

Топографическая съемка Луны, выполненная с помощью альтиметра, подтвердила существование древнего бассейна, названного «Южный полюс—Эйткен». Это одна из крупнейших ударных структур в Солнечной системе. Ее диаметр около 2500 км, а перепад высот достигает здесь 10 км. До миссии КА «Клементина» эта огромная деталь рельефа Луны была исследована слабо.

Данные о гравитационном поле Луны и ее топографии, полученные КА «Клементина», позволили создать глобальную карту толщины лунной коры с пространственным разрешением около 150 км. Оказалось, что эта толщина варьируется в пределах от 20 до 120 км. Среднее значение толщины для обратной стороны составляет примерно 67 км, а для видимого полушария — 55 км. Кора в зоне бассейнов более тонкая. Найдены вариации

толщины коры, не коррелирующие с поверхностными структурами. Это может быть связано с неоднородностью плавления внешних зон лунной литосферы и с различиями толщины переотложений выбросов, сопутствующих крупным ударным событиям.

Район южного полюса Луны до недавнего времени был исследован сравнительно слабо. Почти точно на южном полюсе располагается старая ударная структура диаметром около 300 км. Ее днище — район вечной тени из-за того, что ось вращения Луны почти перпендикулярна плоскости эклиптики (наклон составляет всего 1.50°). Температура поверхности в этом районе около -233°C , поэтому здесь могли накопиться вода и летучие, выделяющиеся из недр Луны и привносимые кометами и метеоритами. Пролетая над южными полярными районами Луны, аппарат «Клементина» проводил их радарное зондирование; радиосигналы, посланные аппаратом, отразившись от лунной поверхности, принимались антеннами на Земле. Это позволило получить результаты, которые можно рассматривать как указание на наличие небольшого количества льда в лунной поверхности.

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ЛУННОГО СПУТНИКА

В свете результатов, полученных КА «Клементина», сейчас не кажется целесообразным планировать глобальную оптическую съемку лунной поверхности — данных уже так много, что для их анализа потребуются еще годы работы многих научных коллективов.

В 1998 г. началась миссия «Лунар Проспектор», целью которой является геохимическая съемка Луны. В случае успешного осуществления научной программы этой миссии планирование аналогичных экспериментов на будущем спутнике также может оказаться неактуальным.

Существует, однако, много задач, которые при всей их актуальности почти не рассматриваются при обсуждении планов будущих исследований Луны. Примером тому является идея глобальной радиолокационной съемки лунной поверхности с борта лунного полярного спутника в интервале длин волн от дециметров до сотен метров. Дело в том, что на лунной поверхности (быть может, за исключением участков, постоянно находящихся в области тени) нет воды и потому глубина проникновения радиоволн в лунную поверхность довольно высокая (несколько десятков длин волн). Это открывает возможность выполнить картографирование характеристик подповерхностной структуры Луны, в ча-

стности определить мощность лунного реголитового чехла. Такая информация необходима для понимания эволюции лунной поверхности и важна для будущих космических исследований Луны, в частности для выбора места лунной базы. Низкочастотными радиоволнами можно попытаться «прощупать» лунную поверхность на глубину несколько километров.

Сама по себе идея подповерхностного зондирования не нова. Такое зондирование Земли проводится со спутников и самолетов уже достаточно давно. Однако лунная поверхность, значительно более подходящая для измерений такого рода, почти не исследовалась методами низкочастотного зондирования. Известны лишь эксперименты, проведенные *in situ* экипажем КК «Аполлон-17», которые позволили заподозрить существование слоя мегареголита [10]. Отметим также, что в последнее время в Японии началось обсуждение экспериментов по глобальной низкочастотной радиолокации Луны с борта лунного полярного спутника «Селена» [13], который, возможно, будет запущен в 2003 году [9].

Следует особо подчеркнуть, что в рамках реализации программы лунного радиолокационного спутника можно было бы предусмотреть сброс пенетраторов, оснащенных сейсмометрами. Сброс может быть осуществлен в полярных областях Луны. Эти области интересны для размещения сейсмометров по следующей причине. Если в ближайшие годы на поверхности Луны будет установлена японская сеть сейсмометров (проект «Лунар-А» предполагает сброс трех пенетраторов, оснащенных сейсмометрами), то это произойдет в экваториальной области Луны. Совместная работа сейсмометров в экваториальной и полярных областях Луны создаст оптимальную базу для измерений.

Опрос приборов пенетраторов, сброшенных в районе полюсов, может производиться с орбитального радиолокационного модуля. Сейсмическая сеть позволит не только исследовать внутреннее строение Луны, но и дополнить радиолокационные измерения информацией о вертикальной структуре верхнего слоя лунной поверхности. Рассмотрим некоторые известные данные, касающиеся подповерхностной структуры Луны.

СХЕМА ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ ЛУНЫ

Скоростная структура оболочек лунного шара была установлена в результате сейсмических измерений. Она показана на рис. 1. Скорость продольной волны в самом верхнем слое реголита толщиной порядка 10 м равна примерно 100 м/с. Затем

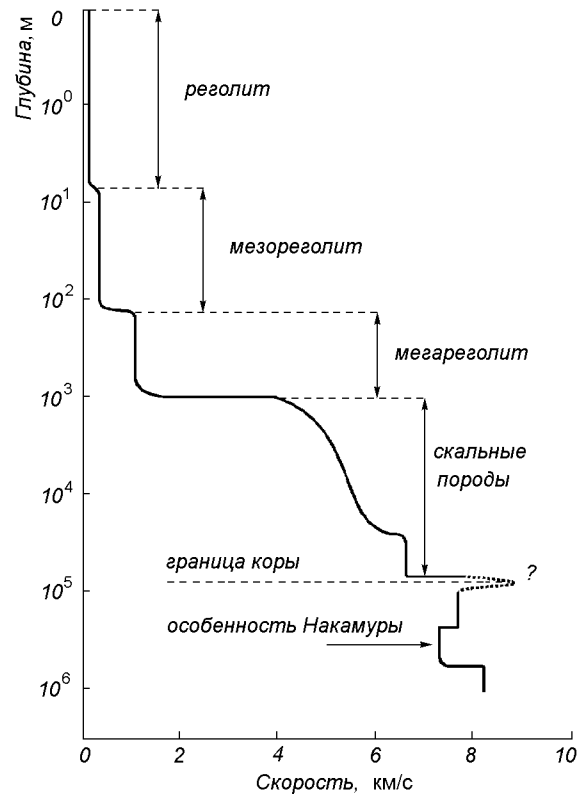


Рис. 1. Глубинный профиль скорости распространения продольных сейсмических волн

выявляется второй слой (слой обломков коренных пород, мезореголит) со средней толщиной около 200 м. Здесь скорость также примерно постоянна и лежит в пределах 250—300 м/с. Слой коренных пород лежит на глубинах ниже 1 км. Здесь скорость постоянно увеличивается от 4 до 6 км/с, что связано с уплотнением пород с увеличением глубины.

Между условной границей коренных пород и нижней границей слоя мезореголита, возможно, находится слой мегареголита. Имеющиеся данные позволили найти сравнительно надежные доказательства его существования только в районе посадки «Аполлона-17». Вероятно, этот слой состоит из больших обломков слабонарушенных коренных пород. На глубине около 25 км наблюдается скачок скорости, связанный с какой-то границей раздела в лунной коре. Часто эта граница интерпретируется как переход от трещиноватых пород к сплошным скальным, хотя Taylor [14] справедливо указывает, что давления 1.2 Кбар на глубине 25 км не достаточно для эффективного закрытия трещин. Воз-

можно здесь происходит резкое изменение химического состава. На границе коры и мантии (глубина около 60 км) обнаружен скачок скорости от 8 до 9 км/с. В верхней мантии до глубины примерно 300 км скорость сейсмических волн примерно постоянна. Ниже, однако, согласно некоторым моделям возможно понижение скорости распространения волн. Скорость снова увеличивается, начиная с отметки 500 км и остается постоянной вплоть до границы литосфера—астеносфера — это, вероятно, связано с изменениями состава мантии.

Представленные на рис. 1 данные являются схематичными и генерализованными. На самом деле подповерхностное строение является более сложным. В частности, границы описанных реголитовых горизонтов видимо размыты; в некоторых случаях может наблюдаться слоистое строение. Чередование слоев сыпучего и скального материала должно наблюдаться в зоне выбросов достаточно крупных кратеров (особенно свежих). В некоторых случаях слоистое строение мезореолита может отражать многостадийность формирования морских районов.

Возможность дистанционного исследования структуры лунного реголитового чехла, в частности, оценка его условной толщины может быть продемонстрирована на примере данных наземных наблюдений Луны.

КАРТА ТОЛЩИНЫ РЕГОЛИТОВОГО СЛОЯ ПО РАДАРНЫМ И ОПТИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Для построения карты мощности реголитового чехла могут быть использованы радарные и оптические данные. Эти данные дают независимую информацию о лунной поверхности, причем при рассеянии электромагнитных волн в оптическом и в радиодиапазонах «работают» слои существенно различной толщины — в оптике мы получаем информацию о слое толщиной примерно в 100 мкм, в то время как, например, для длины волны λ 70 см глубина проникновения около 10 м.

1. Исходные данные. Радиолокационные изображения были получены с помощью радиолокатора, работавшего на частоте 430 МГц [15]. Излучаемый сигнал имел круговую поляризацию. Прием сигнала осуществлялся по обеим составляющим круговой поляризации. Для построения изображений применялся метод, использующий время запаздывания сигнала и доплеровское смещение частоты. Пространственное разрешение изображений составило около 3 км. Характерным для радарного отражения от Луны является наличие радиальной зависимости радиояркости. На радиолокационных изображениях

лунного диска, использованных в данной работе, глобальный ход яркости устранен [15]; мы работали с изображениями, передающими локальные вариации радиояркости. Для совместной обработки с данными радиолокации были взяты карты содержания железа и титана для видимого полушария Луны [7]. В свою очередь, эти карты были получены по распределениям альbedo (0.65 мкм) и показателя цвета (0.65/0.42 мкм) по измерениям [5].

2. О рассеянии радиоволн лунной поверхностью. На Луне средняя толщина слоев морского и материкового реголита составляет около 5 и 10 м соответственно [10]. Таким образом, дециметровые радиоволны способны достигать горизонта мезореолита (условной подложки), многократно рассеиваясь между границами вакуум—реголит и реголит—подложка. Приблизительно считаем, что рассеянное излучение состоит из двух компонентов — «зеркального», отраженного границей раздела вакуум—реголит, и внутреннего, проникшего вглубь поверхности, рассеянного там, а затем вышедшего из поверхности. Для пологого рельефа, в случае падения излучения вблизи средней нормали к поверхности, «зеркальный» компонент доминирует в обратном рассеянии. При этом функция обратного рассеяния в направлениях, близких к средней нормали, определяется функцией распределения наклонных поверхности [1].

При увеличении угла визирования поверхности вклад зеркального компонента в обратное рассеяние резко уменьшается, и начинает преобладать внутренний (многократно рассеянный) компонент. Для расчета его вклада иногда используется классическая схема теории переноса излучения [11], хотя ее применение носит ограниченный характер. В работе [2] было показано, что для некоторых оценок можно использовать значительно более простую схему расчета, представляющую собой модификацию известной модели стопы Стокса—Бодо. Модели такого рода применяются в оптике планетных поверхностей [6]. К недостаткам модели относится то, что она одномерна, не учитывает поляризацию радиоволн и пренебрегает их фазами.

Параметрами модели являются: ε_1 и ε_2 — диэлектрические проницаемости реголита и подложки; $\text{tg}\Delta$ — тангенс угла потерь (характеристика поглощения волн в реголитовом слое); h — толщина реголитового слоя. Напомним, что диэлектрическая проницаемость материкового реголита и скальных пород лежат в пределах 2.3—3.8 и 6.1—7.8 соответственно; те же величины для морского материала составляют 2.5—3.8 и 8.0—8.8 [4]. Расчеты, выполненные с помощью модели, показывают, что основ-

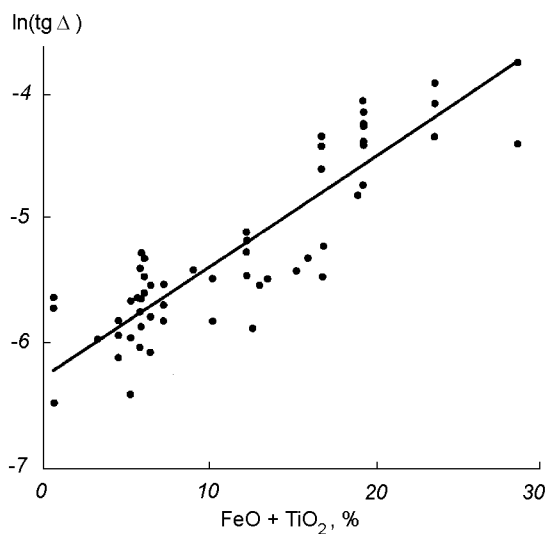


Рис. 2. Калибровочная зависимость тангенса угла потерь реголита от содержания в нем $\text{FeO} + \text{TiO}_2$, полученная по образцам лунного грунта [10]

ную роль в формировании многократно рассеянного компонента вносят параметры $\text{tg}\Delta$ и h [2]. Величина поглощения в реголитовой среде зависит от содержания радиохромофоров — Fe и Ti. Это видно из графика, построенного нами по данным лабораторных измерений образцов лунного реголита различного состава (рис. 2). Эта зависимость может быть использована в качестве калибровочной для определения параметра $\text{tg}\Delta$ по известной величине $\text{FeO} + \text{TiO}_2$. В свою очередь, содержание Fe и Ti может быть оценено по данным оптических измерений [7].

3. Описание карты и ее интерпретация. Фиксируя ε_1 и ε_2 и определяя $\text{tg}\Delta$ по независимым оптическим данным, мы можем оценить h . В таком подходе есть три недостатка.

Во-первых, нам приходится пользоваться оценками содержания Fe и Ti в слое около 100 мкм, тогда как $\text{tg}\Delta$ необходимо знать для всей толщины реголитового слоя.

Во-вторых, из-за недостатка данных приходится пренебрегать региональными вариациями параметров ε_1 и ε_2 , которые в основном зависят от плотности материалов, составляющих рыхлый слой и подложку.

В-третьих, мы пренебрегаем вкладом объемного и поверхностного рассеяния на неоднородностях порядка длины волны зондирующего излучения. Несмотря на эти недостатки, определение параметра h описанным путем дает хорошие результаты.

На рис. 3 представлена карта толщины рего-

литового слоя видимого полушария (светлые тона отвечают большим h). Темные пятна на карте ассоциируются с большими ударными кратерами. Среди них крупнейшие — кратеры Коперник и Тихо. Толщины реголита в пределах этих кратеров малы — менее 1 м. В Море Ясности и в Море Облаков слой реголита сравнительно тонок — около 3 м. Средняя толщина материкового реголита (с исключением областей, занятых ударными кратерами) составляет около 9 м. В зоне выбросов некоторых кратеров наблюдается сравнительно мощный реголит, толщиной до 15–20 м.

Радиохромофоров Fe и Ti в материале морской поверхности заметно больше, чем в материковом. С другой стороны, толщина материкового реголита выше. Эти два фактора «работают» навстречу друг другу, приводя к тому, что на радиолокационных изображениях Луны практически не видна граница море—материк [15]. Толщина реголита должна увеличиваться со временем. Следовательно, можно ожидать корреляцию полученного распределения со стратиграфическими данными [16]. Результаты сопоставления представлены на рис. 4. Тенденция «чем старше, тем мощнее реголит» хорошо прослеживается.

ПЛАНИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Методику, похожую на описанную в предыдущем разделе, можно применить к обработке соответствующих данных, полученных с борта лунного полярного спутника. При этом для оценок содержания радиохромофоров в лунном реголите можно использовать оптические измерения КА «Клементина». Однако этой задачей спутниковое радиозондирование Луны не исчерпывается.

Подобно тому, как это планировалось сделать в рамках проекта 1Л [8], лунный полярный радиолокационный спутник можно вывести на окололунную орбиту, близкую к круговой, с периодом обращения около 2 ч, что соответствует высоте аппарата над лунной поверхностью около 100 км и расстоянию между витками в экваториальной области Луны около 30 км. С помощью такого спутника, оснащенного низкочастотным радиокомплексом, можно выполнить зондирование трех горизонтов Луны (рис. 1): реголита, а также мезо- и мегареголита.

Низкочастотные антенны имеют широкую диаграмму направленности, которая охватит всю подаппаратную поверхность Луны. Отраженный сигнал можно условно разделить на две составляющих,

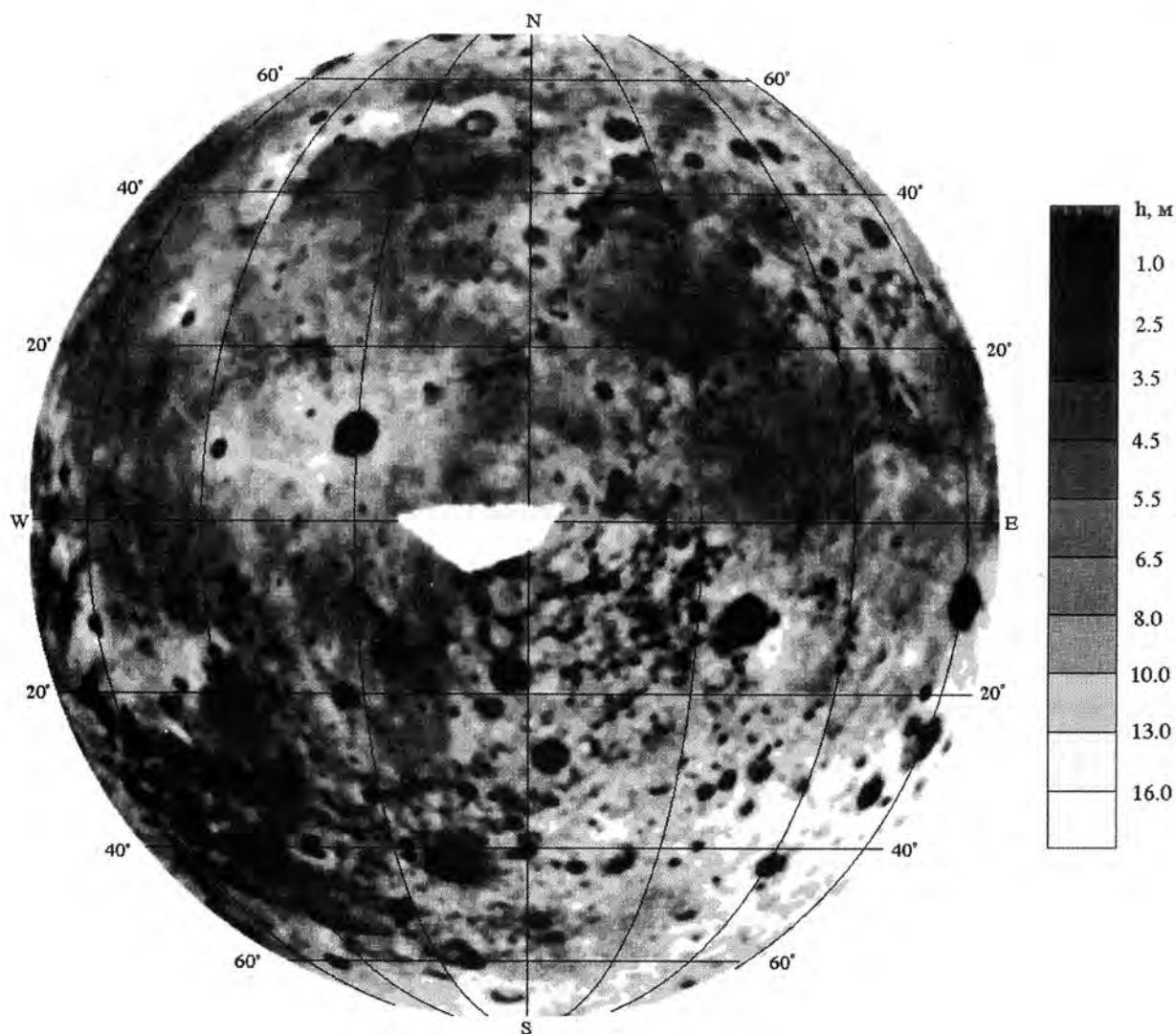


Рис. 3. Карта толщины реголита видимого полушария Луны

разнесенных во времени. Первая из них — «зеркальная», формирующаяся за счет однократного отражения от границы вакуум—реголит, приходит из сравнительно узкой окрестности подаппаратной точки. Нормали площадок в этой окрестности ориентированы приблизительно в сторону летящего спутника. По измерениям первой составляющей можно будет делать оценку диэлектрической проницаемости реголитового материала. Другая составляющая приходит из окрестностей, более удаленных от подаппаратной точки, для которых вклад «зеркальной» составляющей достаточно мал. В этом случае отраженный сигнал формируется в основном за счет объемного многократного рассея-

ния и несет информацию о подповерхностной структуре Луны.

Для достижения границы слоев реголита и мезореголита необходима длина волны зондирующего излучения около 1 м. Следующая предполагаемая граница (мезореголит—мегареголит) может быть прозондирована примерно на порядок более длинноволновым излучением. И наконец, чтобы добраться до подошвы мегареголита, т. е. скального основания, слабо нарушенного в процессе метеоритной переработки, необходима длина волны около 100 м. Из-за большой ширины диаграммы направленности антенны зондирование со 100 км орбиты позволит построить изображения с невысо-

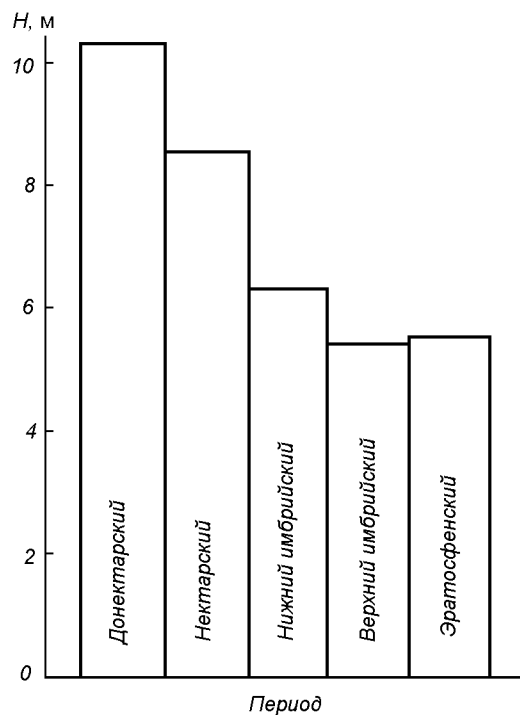


Рис. 4. Зависимость толщины лунного реголита от стратиграфического периода по данным геологической карты (Wilhelms, 1987)

ким пространственным разрешением — около 30 км (достижение такого разрешения потребует сильного перекрытия полос съемки). Однако, учитывая уникальность данных, даже такое разрешение представляется интересным. Здесь уместно напомнить, что примерно с таким же разрешением предполагается провести и геохимическую съемку (в частности, сделать оценки содержания радиохромофоров — железа и титана) с помощью КА «Лунар Проспектор». Эти данные могут быть использованы для совместной обработки с результатами радиолокационных измерений.

Следует отметить возможность использования в качестве источника излучения наземных антенн; это может, в частности, обеспечить проведение бистатической локации поверхности видимого полушария Луны. В рамках предлагаемого эксперимента можно провести также радиопрофилирование лунной поверхности, что позволит уточнить фигуру Луны.

Отметим, что точность низкочастотных измерений Луны с помощью наземных антенн сильно ограничивается влиянием нестабильности земной ионосферы. При зондировании лунной поверхности с окололунной орбиты таких ограничений не будет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ показывает, что в настоящее время очень перспективной задачей лунных космических исследований с помощью лунного полярного спутника могла бы быть глобальная многочастотная съемка Луны в радиодиапазоне. Она позволит изучить подповерхностную структуру Луны, в частности оценить толщину ее реголитового чехла.

Для иллюстрации такой возможности мы построили карту мощности реголитового слоя с использованием данных наземных радиолокационных и оптических измерений видимого полушария Луны. Карта неплохо согласуется с оценками, сделанными *in situ* экипажами КК серии «Аполлон». Сопоставление полученной карты со стратиграфическими данными показало, что толщина реголитового слоя возрастает с увеличением возраста поверхности.

Установка на лунном полярном спутнике радиолокатора, работающего на частотах в интервале 10—100 МГц, позволит провести картографирование характеристик реголитового чехла и, возможно, мезо- и мегареголитового слоев Луны.

Проект запуска полярного радиолокационного спутника Луны можно совместить с проектом установки сети сейсмометров. Сейсмометры, размещенные на пенетраторах, сбрасываемых в полярных областях, могут дать информацию не только о внутреннем строении Луны, но и о структуре ее верхнего слоя толщиной несколько сот метров.

Таким образом, результаты радиолокационных и сейсмических экспериментов будут взаимно дополнять друг друга.

1. Басс Ф. Г., Фукс И. М. Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. — М.: Наука, 1972.—424 с.
2. Бондаренко Н. В., Шкуратов Ю. Г. О связи радиолокационных и оптических характеристик Луны // Астрон. вестн.—1997.—31, № 2.—С. 132—142.
3. Кислюк В. С., Шкуратов Ю. Г., Яцкив Я. С. Космічні дослідження Місяця: задачі, можливості і перспективи української науки і техніки // Косміч. наука і технологія.—1996.—2, № 1-2.—С. 3—16.
4. Крупенио Н. Н. Радиоиследования Луны и планет земной группы // Итоги науки и техники / ВИНТИ. Астрономия.—1980.—16.—180 с.
5. Опанасенко Н. В., Шкуратов Ю. Г., Станкевич Д. Г., Кайдаш В. Г. Колориметрическое картографирование видимого полушария Луны // Астрон. вестн.—1996.—30, № 5.—С. 398—409.
6. Шкуратов Ю. Г. Модель спектрального хода альbedo твердых поверхностей космических тел // Кинематика и физика небес. тел.—1987.—3, № 5.—С. 39—46.
7. Шкуратов Ю. Г., Кайдаш В. Г., Опанасенко Н. В. и др. Прогноз содержания железа и титана в лунном реголите для сопоставления с данными КА «Лунар Проспектор» // Косміч. наука і технологія.—1997.—3, № 3/4.—С. 59—70.

8. Шкуратов Ю. Г., Станкевич Д. Г., Корниенко Ю. В. и др., Предложения по проведению экспериментов «Янус» на лунном полярном спутнике // *Косміч. наука і технологія.*—1996.—2, № 1-2.—С. 24—31.
9. Itagaki H., Takisawa Y., Sasaki S. Japanese lunar exploration project SELENE // *Ann. Geophys. Space & Planet. Sci. EGS.*—1997.—15, Part 3.—P. 790.
10. Heiken G., Vaniman D., French B. Lunar sourcebook. — New York: Cambridge Univ. press, 1991.—736 p.
11. Muhleman D. O., Berge G. L. Mars, Uranus, Neptune, Io, Europa, Ganymede, and Callisto at a wavelength of 2.66 cm // *Icarus.*—1991.—92.—P. 263—272.
12. Nozette S., Pleasance L. P., Horan D. M., et al. The Clementine mission to the Moon: science overview // *Science.*—1994.—266.—P. 1835—1839.
13. Ono T., Oya H. Lunar rader sounder experiment on-board SELENE satellite // *Ann. Geophys. Space & Planet. Sci. EGS.*—1997.—15, Part 3.—P. 791.
14. Taylor S. R. Lunar Science: A Post-Apollo Era. — New York: Acad. press, 1972.—361 p.
15. Thompson T. W. High-resolution lunar radar map at 70-cm wavelength // *Earth Moon and Planets.*—1987.—37.—P. 59—70.
16. Wilhelms D. E. The geological history of the Moon. — Washington, 1987.—302 p.—(U. S. Geological Survey Professional Paper N 1348).

OBJECTIVES FOR A LUNAR POLAR SRACECRAFT AFTER THE «CLEMENTINE» MISSION

Yu. G. Shkuratov, N. V. Bondarenko, and A. S. Kachanov

Analysis of the state of lunar explorations shows that the global multifrequency survey of the Moon at the radio wavelength range is a promising task for a lunar polar spacecraft. The survey will allow mapping the characteristics of the lunar subsurface layers and, in particular, estimation of the thickness of the lunar regolith. Actuality of such a task has grown after the “Clementine” mission (a brief review of the mission findings is presented in the paper). To illustrate the radar spacecraft experiment, the regolith thickness map of the lunar nearside derived from radar and optical Earth-based observations is presented.