

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ЛУНЕ (КРАТКАЯ ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ)

Д.Н. Краснощеков, В.М. Овчинников

Представлен краткий анализ результатов в основном сейсмических исследований и перечень нерешенных задач, которые могут быть рассмотрены в эксперименте «Луна-Глоб».

Введение

Луна является единственным космическим объектом, на котором была развернута сеть геофизических наблюдений, данные от которой были успешно получены и анализируются учеными более трех десятилетий. Начатая в июле 1969 и завершенная в сентябре 1977 гг., программа Аполлон позволила получить измерения с установленных на поверхности Луны магнитометров, температурных зондов, лазерных отражателей и сейсмометров. Сейсмические данные были использованы для изучения строения Луны, в результате которого были определены основные структурные элементы Луны и особенности лунной сейсмичности. В частности, был построен скоростной разрез для видимого полушария Луны и установлены 4 основных типа лунных сейсмических источников. Вместе с тем, технические ограничения, прежде всего по чувствительности сейсмоприемников, и редкая сеть наблюдений не позволили ответить на целый ряд вопросов об истории формирования Луны, динамике и взаимодействии ее внутренних оболочек, их строении и составе, о размере лунного ядра.

В начале 90-х годов прошлого века начали обсуждаться планы проведения наблюдений на Луне с помощью российских автоматических станций [Галимов, 2004]. В настоящее время, по-видимому, эти планы близки к реализации. В 2012 г. предполагается запуск космического аппарата по программе «Луна-Глоб» – первого этапа более обширного лунного эксперимента. В этой связи оценка и измерения сейсмических процессов на Луне с применением современных сейсмических средств наблюдения и обработки результатов может предоставить важную информацию о происхождении и эволюции Луны, а также составе и свойствах ее пород, что внесет существенный вклад в понимание земных процессов и эволюции Солнечной системы.

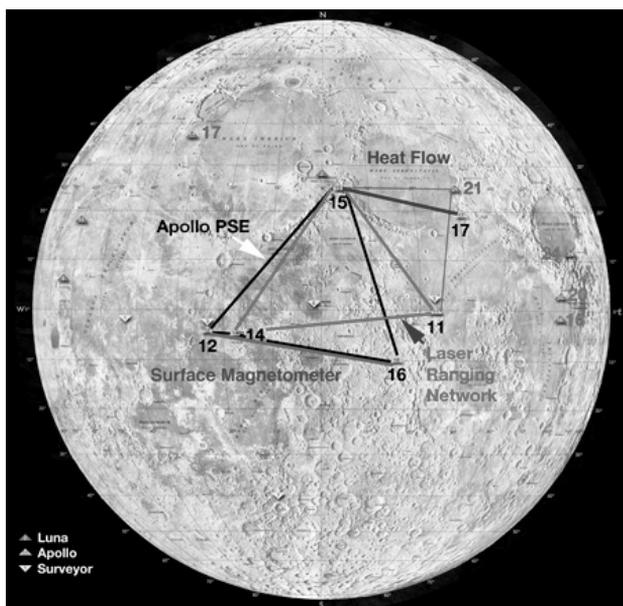
Ниже дается краткий, не претендующий на полноту, обзор результатов, полученных с использованием данных по программе «Аполлон», и освещены нерешенные задачи и возможные перспективы сейсмологических исследований Луны.

Исторические данные

Лунная сейсмическая сеть из четырех пунктов наблюдения, показанная на рис. 1, была установлена в 1969–1972 годах астронавтами программ Аполлон 12, 14, 15 и 16.

В каждом пункте был установлен один короткопериодный вертикальный и трехкомпонентный длиннопериодный сейсмоприемник-акселерометр с частотой опроса 0,02 и 0,15 с, соответственно. Запись данных осуществлялась в цифровом

Рис. 1. Места установки научной аппаратуры программы Аполлон на Луне из [Neal et al., 2010]. В вершинах черного треугольника установлены сейсмоприемники. Цифры – номера экспедиций по программе «Аполлон»



виде на магнитную семидорожечную ленту. Частотный диапазон короткопериодного канала – 1–30 Гц, а длиннопериодного – 2,2–15 с. Чувствительность по смещению, приведенная к частоте 1 Гц, составляла 0,3 нм/отсчет. Сейсмоприемники были установлены на видимой стороне Луны в вершинах приблизительно равнобедренного треугольника с длиной стороны около 1200 км. За весь период наблюдений было обнаружено и внесено в каталог более 12 500 сейсмических событий [Nakamura, 1990], анализ которых показал наличие внутренней структуры и присутствие глубинных неоднородностей Луны [Nakamura, 2003]. Все сейсмические явления на Луне были классифицированы на несколько типов: приливные, термические, тектонические и метеоритные.

Наиболее многочисленными (более 7000) оказались множественные, происходящие недалеко друг от друга, глубокие лунотрясения с глубиной очага от 700 до 1200 км, большая часть из которых расположена в узком диапазоне глубин от 930 до 960 км. Эти слабые (с магнитудой менее 3) события происходят в ограниченных областях, называемых «гнездами» или «кластерами», и по периодичности возникновения ассоциируются с приливами [Lammlein et al., 1974]. На сегодняшний день выделено более трехсот «гнезд» [Nakamura, 2005].

Термические лунотрясения имеют более низкую магнитуду по сравнению с глубокими событиями и регистрируются каждой станцией независимо друг от друга с месячной периодичностью. Максимальная интенсивность таких событий приходится на второй день после рассвета, что и позволяет связать эти события с температурными изменениями на поверхности.

Наиболее сильными лунотрясениями являются 32 неглубоких события, 3 из которых имели магнитуду более 5. Точную глубину этих событий установить не удалось, так как они произошли во внешней области сети наблюдений, однако косвенные данные [Nakamura, 1980] указывают на диапазон глубин 50–200 км. Эти события не коррелируют с приливами и, по-видимому, связаны со взаимодействием различных блоков или «плит» лунной литосферы. Наконец, более 1700 собы-

тий связаны с ударами о поверхность Луны метеоритов массой от 100 г до 100 кг. 26 таких лунотрясений можно отнести к катастрофическим.

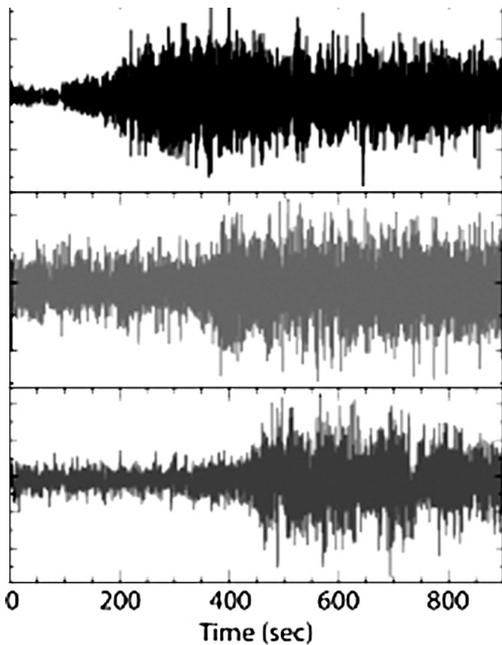


Рис. 2. Пример сейсмограмм глубокофокусного лунотрясения 1975 г.

На рис. 3 приведен результат расчета времен пробега сейсмических волн в неоднородной среде с размером неоднородностей 1–10 км [Lawrence & Johnson, 2008]

Как видно из рисунка, при увеличении количества рассеивающих элементов происходит размывание годографов и при наличии 80% рассеивающих неоднородностей сейсмограмма становится слабо структурированной. В этом случае фактически возможна интерпретация только первых вступлений.

Вследствие этого, для надежного обнаружения вступлений сейсмических фаз на лунных сейсмограммах, необходимо использовать методы обработки, позволяющие улучшить соотношение сигнал/шум, либо использовать группы сейсμοприемников. В настоящее время весь набор данных, включая волновые формы, доступен через IRIS DMC (Data Management Center of Incorporated Research Institutions for Seismology – Центр данных Объединенного консорциума сейсмологических институтов) или NSSDC (National Space Science Data Center – Национальный центр данных космических исследований).

Одна из наиболее удивительных обнаруженных особенностей – концентрация лунотрясений на видимой стороне Луны, – может быть артефактом, связанным с геометрией системы наблюдений и с использованием классических методов определения координат, в которых используются времена вступлений различных сейсмических фаз. Для лунных толчков время вступления измеряется очень неточно и, по-видимому, ошибка составляет около 10 с.

Активная часть сейсмологической программы включала проведение 9 взрывов, которые были зарегистрированы сейсмическими средствами наблюдений и позволили определить приповерхностную структуру Луны до глубины 200–300 м. Лунные сейсмограммы (рис. 2) существенно отличаются от земных.

Сейсмические фазы не имеют четкого вступления (не носят импульсного характера) – сигнал достигает максимальной амплитуды, постепенно раскачивая маятник в течение нескольких минут, после чего колебания очень медленно затухают. Такой «сейсмозвон» существенно затрудняет идентификацию последующих вступлений и обусловлен, по-видимому, слабым затуханием и интенсивным рассеянием (диффузное, либо многократное рассеяние) в приповерхностном слое [Lawrence & Johnson, 2008], характеризующимся присутствием многочисленных трещин, кратеров и других неоднородностей (реголит).

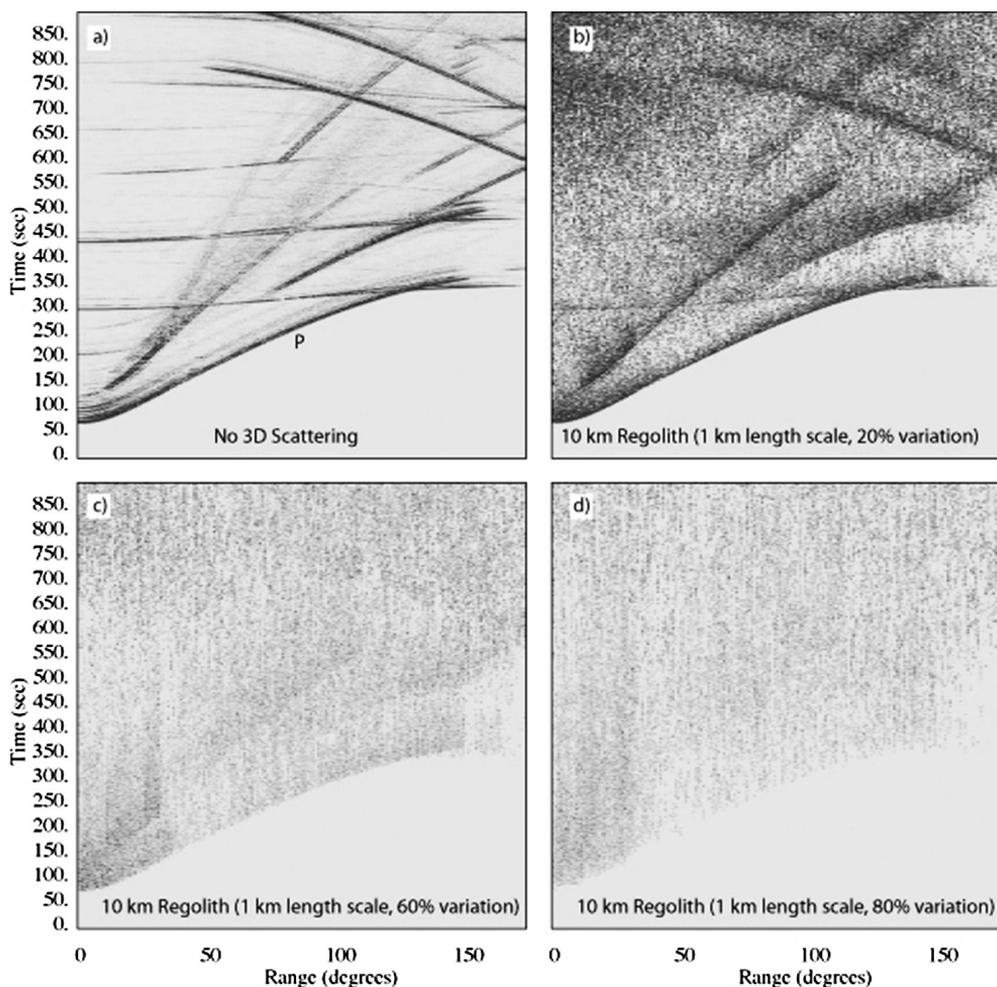


Рис. 3. Синтетические лунные сейсмограммы: а) среда без рассеяния, б) среда с 20% рассеивающих неоднородностей, в) 60% и д) 80% [Lawrence & Johnson, 2010]

Интерпретация

Общая структура Луны по «геофизическим» данным изображена на рис. 4. Средняя мощность коры из углистых пород составляет 50 км, однако подвержена существенным вариациям (по некоторым оценкам от 0 до 100 км) вследствие интенсивных ударов космических тел, оставляющих глубокие воронки (кратеры) [Wiczorek et al., 2006]. Основная сейсмическая активность сосредоточена на глубинах порядка $\frac{1}{2}$ радиуса Луны и коррелирует с приливной силой, обусловленной воздействием Земли. В ряде работ была обнаружена сейсмическая граница раздела на глубине около 500 км.

Анализ данных лазерной дальнометрии дает низкое среднее значение добротности Луны ($Q \sim 60$) и указывает на то, что нижняя мантия (регион под зоной глубоких лунотрясений) может находиться в частично расплавленном состоянии.

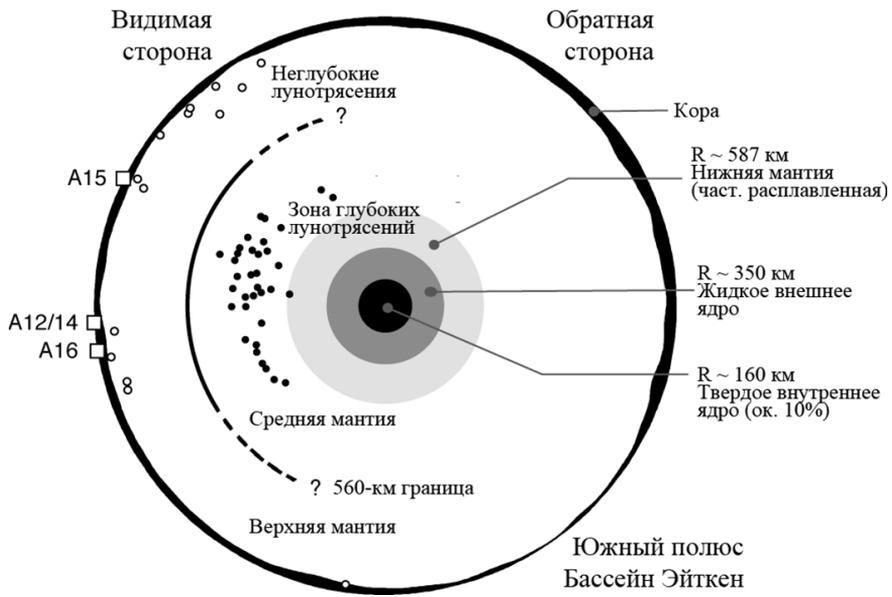


Рис. 4. Современное представление о структуре Луны на основе геофизических данных из [Wieczorek et al., 2006]

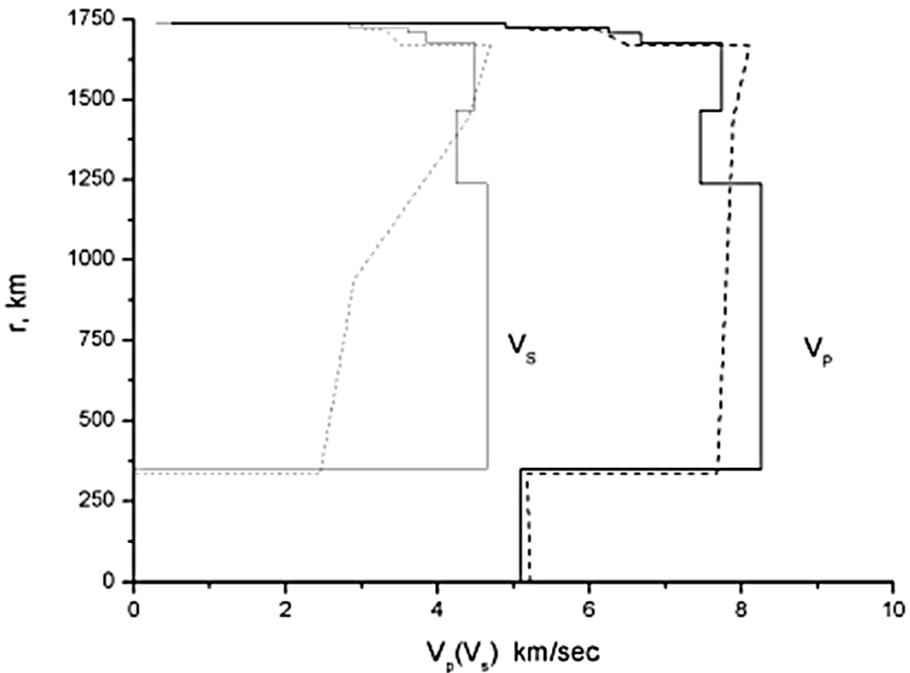


Рис. 5. Скоростной разрез Луны для продольных (жирная линия) и поперечных (тонкая линия) волн. Пунктир – [Bills et al., 1977], сплошная линия – [Nakamura, 1983]

Электромагнитное просвечивание и лазерная дальнометрия также указывают на присутствие расплавленного, электропроводящего ядра. При этом современные модели термической эволюции предполагают, что некоторая часть ядра (около 10%) кристаллизовалась, сформировав твердое внутреннее ядро Луны.

Вместе с тем, на сегодняшний день отсутствуют надежные сейсмологические оценки скоростного строения, основных структурных элементов, размера и вещественного состава ядра Луны. На рис. 5 показан скоростной разрез Луны, полученный на основе сейсмических наблюдений. Он хорошо иллюстрирует имеющиеся несогласованности в оценках, связанных с недостаточностью и качеством экспериментального материала. Из рисунка видно, что согласованные результаты получены только для самой верхней части примерно на глубину до 150 км от поверхности. Глубинное строение Луны остается в значительной мере неопределенным.

Существующие в настоящее время оценки состава и параметров ядра не являются результатом прямых сейсмологических измерений, а основываются на анализе данных о моменте инерции планеты, лазерной дальнометрии, вещественном составе и распространенности элементов на поверхности и внутри лунных кратеров, а также магнитоиндукционных исследованиях [Wieczorek et al., 2006]. Оценки радиуса ядра Луны находятся в диапазоне от 200 до 460 км, а при совместном учете нескольких факторов около 350 км.

Только в 2010 году была представлена предварительная оценка радиуса ядра Луны исключительно по сейсмологическим данным [Weber et al., 2010]. Для надежного обнаружения сейсмических фаз, связанных с ядром, авторы воспользовались методами поляризационного анализа и синфазного суммирования каналов системы группирования, сформированной на базе лунной группы. Накопление энергии, отраженной от границы внутреннего ядра, или повышение соотношения сигнал/шум на суммарной трассе (подавление «сейсмозвона») достигалось за счет суммирования записей лунной группы глубоких лунотрясений с близкорасположенными очагами, то есть лунотрясений одного «гнезда». Однако вследствие недостаточной разрешающей способности группы, обусловленной техническими параметрами регистрирующей аппаратуры и неразвитой конфигурацией сети, полученная предварительная оценка несущественно улучшила имеющиеся данные, составив 320–360 км.

К этому результату надо относиться весьма осторожно. Наш опыт применения подобных методов обработки данных для обнаружения слабых сейсмических сигналов от ядерных взрывов показывает, что эффект от них достигается при выполнении ряда условий. Во-первых, нужно быть уверенным, что чувствительность сейсмоприемников обеспечивает регистрацию полезного сигнала. Во-вторых, при поляризационном анализе требуется хорошее разрешение сигнала по уровню, в частности, на максимальную амплитуду должно приходиться не менее 10 цифровых отсчетов. В-третьих, при групповой обработке необходимо решить вопросы синхронизации отдельных записей лунотрясений. В-четвертых, трехкомпонентные записи были получены для небольшой группы из 250 лунотрясений [Nakamura, 1990].

Пример сейсмограмм, приведенный на рис. 6, показывает, что это достаточно трудная задача. Как видно из рисунка, даже для поперечных волн S, имеющих максимальную амплитуду, не обеспечивается временная корреляция вступлений.

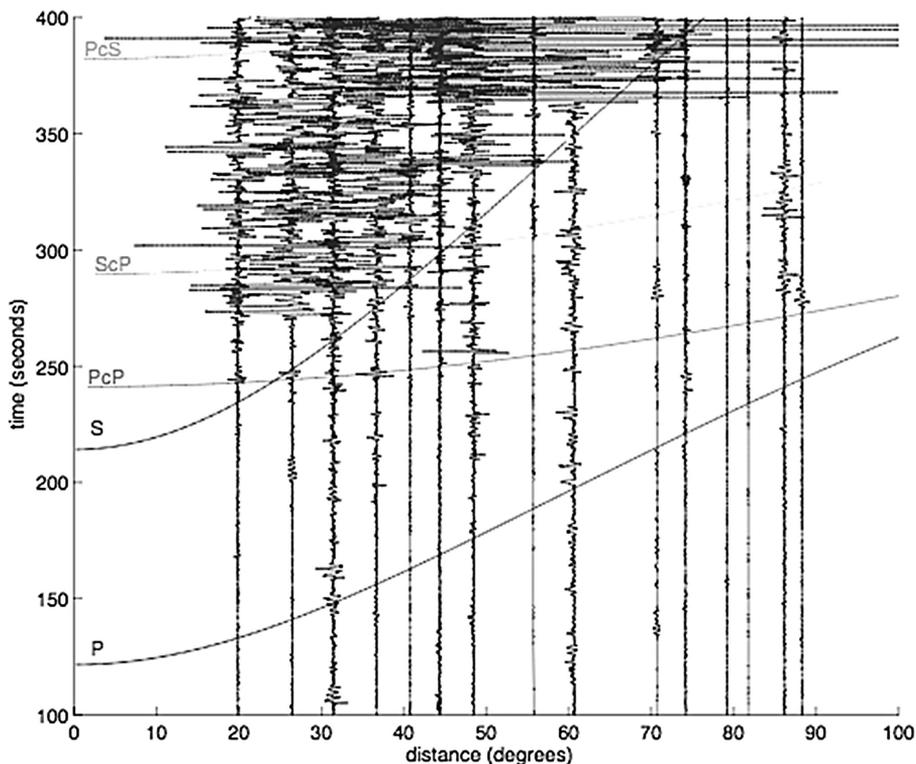


Рис. 6. Монтаж лунных сейсмограмм с теоретическими годографами фаз, отраженных от ядра – PcP, ScP, PcS, а также P и S фаз из работы [Weber et al., 2010]. По оси ординат отложено время пробега в секундах, а по оси абсцисс – эпицентрального расстояния в градусах

Актуальные вопросы

Несмотря на очевидные успехи лунных исследований, на сегодняшний день сохраняются существенные пробелы в описании структуры и состава планеты. Одним из таких недостатков является неопределенность с размером ядра – ключевом параметре моделей формирования и эволюции Луны. Современные модели, к сожалению, не дают четкого ответа на целый ряд вопросов, включая следующие.

Происхождение Луны. В настоящее время обсуждаются две конкурирующие гипотезы. По одной Земля и Луна сформировались одновременно в результате коллапса протопланетного пылевого сгустка [Галимов, 2004]. Если эта гипотеза верна, то Луна должна иметь ядро с радиусом близким к 500 км.

По другой возникновение Луны связано с ударом крупного космического тела о Землю на ее ранней стадии эволюции. Для принятия импактной гипотезы происхождения Луны требуется ядро с размером примерно 250 км.

Каким образом протекала дифференциация Луны? На Луне были обнаружены свидетельства существования океана магмы, разделение которого на фракции привело к образованию Лунных оболочек – коры и мантии [Wood et al., 1970]. Вмес-

те с тем, радиальная структура и объем коры даже в центральной части видимой стороны Луны известны с погрешностью порядка нескольких десятков километров [Lognonne et al., 2003]. Большинство теорий, объясняющих состав коры, содержащей морские базальты, подразумевают интенсивное вертикальное перемешивание, возникшее после завершения разделения фракций океана магмы [Elkins-Tanton et al., 2002]. Однако убедительных геофизических свидетельств такого сценария до сих пор обнаружено не было. В этой связи необходимо уточнить и расширить скоростные сейсмологические модели коры и мантии Луны.

Почему наблюдается существенная асимметрия сейсмичности видимая – обратная сторона Луны? Является ли обратная сторона Луны сейсмически неактивным регионом или это всего лишь артефакт, связанный с особенностями расположения сейсмоприемников на видимой стороне Луны? Обратная сторона Луны гораздо в меньшей степени была подвержена раннему лунному вулканизму [Head & Wilson, 1992] и в большей степени сохранила первоначальный рельеф, определяемый интенсивными соударениями [Solomon et al., 1982]. Считается, что кора на обратной стороне толще и достигает 100 км [Neumann et al., 1996]. Хотя наиболее очевидной причиной является различие в температурном режиме, конкретный механизм и детали «низкотемпературной эволюции» так и не предложены. Малое количество лунотрясений может быть следствием недостаточной чувствительности сейсмической сети, либо слабым уровнем сигналов, связанным с сильным поглощением в частично подплавленной нижней мантии. В связи с этим принципиальное значение имеет предполагаемая по программе «Луна-Глоб» (см. далее) установка трехкомпонентного широкополосного сейсмоприемника вблизи Южного полюса Луны. Это обеспечит примерно равные возможности по обнаружению лунотрясений как на видимой, так и на обратной стороне Луны.

Имело ли место лунное динамо, и если да, то когда? Из чего состоит ядро – железо или расплав силикатов с добавлением титана и других элементов? Орбитальные и поверхностные измерения зафиксировали намагниченность лунной коры, причем величины, измеренные для различных образцов, доставленных с Луны, отличаются на 2 порядка [Hood et al., 2001]. Магнитное поле Луны крайне слабо по сравнению с земным и не носит дипольного характера. Остаточную намагниченность лунной коры обычно ассоциируют либо с существованием магнитного динамо [Cisowski, 1983] в ранний период эволюции Луны, либо с эффектом сильных метеоритных соударений [Lawrence et al., 2008]. В пользу первой теории говорят термохронологические исследования образцов лунного троктолита, согласно которым около 4,2 млрд лет назад на Луне существовало поле порядка 1 мкТ. Стронников метеоритной теории, в частности, поддерживает тот факт, что максимальная намагниченность отмечается в антиподах гигантских кратеров. Таким образом, подтверждение существования ядра Луны и его размеров прямыми сейсмологическими методами, а также оценка его состояния и состава внесет существенный вклад в разрешение одного из ключевых вопросов эволюции Луны.

Какие процессы приводят к возникновению лунотрясений? Изучение механизма очага лунотрясений должно привести к обобщению накопленных физических знаний об источниках сейсмических волн, в частности, о механике разрывов в различных геолого-геофизических условиях. Хотя глубокие лунотрясения устойчиво ассоциируются с приливным воздействием Земли [Nakamura, 2005], роль лунных тектонических сил все еще является предметом дискуссий [Frohlich

& Nakamura, 2009]. При этом модель очага неглубоких лунотрясений, связываемых с откликом прилегающих структурных блоков лунной литосферы на перепад температур [Nakamura, 1977], также требует тщательного описания, в том числе, и в терминах геохимии.

Сейсмические наблюдения по программе «Луна-Глоб»

Мы остановимся только на описании сейсмической части этого проекта. Исследовательское оборудование размещается на ракетах типа «воздух-земля» (пенетраторах), которые запускаются на Луну с космического аппарата. Предполагается разместить на Луне три типа сейсмического оборудования. Первый – с помощью высокоскоростных пенетраторов, которые должны обеспечить надежную механическую связь между пенетратором и лунным грунтом. 10 высокоскоростных пенетраторов будут размещены в виде двух кольцевых подгрупп по 5 штук в каждой в Юго-Восточной области моря Изобилия (Плодородия). Таким образом, будет сформирована группа сейсмоприемников с апертурой порядка 10–15 км, которая позволит использовать современные методы обработки, опирающиеся на внутреннюю структуру сейсмического волнового поля, для улучшения отношения сигнал-шум и оценки азимута на источник и кажущейся скорости распространения сейсмических волн.

Два пенетратора прилунятся в районах посадки космических аппаратов по программам Аполлон 11 и Аполлон 12 (см. рис. 1). Сейсмические наблюдения в этих местах позволят провести сравнительный анализ особенностей сейсмичности и сейсмограмм с данными, полученными по программе «Аполлон».

Наконец, третий тип приборов – широкополосный сейсмоприемник, будет размещен вблизи Южного полюса Луны. Он позволит получить представление о сейсмичности как видимой, так и обратной стороны Луны. В частности, дать ответ на вопрос, действительно ли обратная сторона относительно асейсмична или имеются другие причины, по которым приливные землетрясения на обратной стороне не обнаружены при проведении наблюдений на видимой стороне Луны.

Заключение

Ограниченность существующего набора данных о лунотрясениях и его технические недостатки существенно затрудняют проведение дальнейших исследований Луны. В этой связи планируемое проведение лунных экспериментов с получением новых данных позволит улучшить существующие модели спутника Земли. В частности, установка современной сейсмической группы на поверхности Луны расширит возможности анализа. Применение широкополосных инструментов и заранее просчитанная конфигурация группы, включающая размещение пунктов регистрации и измерительной аппаратуры на обратной стороне Луны, устранил недостатки и технические ограничения, которые присущи историческим данным. При выборе мест установки пунктов регистрации можно использовать информацию о расположении известных гнезд глубоких землетрясений, так, чтобы обеспечить достаточный азимутальный охват этого региона сейсмоприемниками.

Возможные сейсмологические задачи, которые могут быть решены предстоящим экспериментом и необходимы для достижения главной цели – оценить размер ядра Луны:

1. Попытаться дать новую интерпретацию и развить подходы в обработке данных для обнаружения кластеров лунотрясений как на видимой, так и обратной стороне Луны.

2. Если задача 1 окажется разрешимой, можно будет использовать лунотрясения в антиподальной части луны для прямого исследования лунного ядра по первым вступлениям.

3. Развить методы обнаружения и локации лунотрясений по данным двух станций и обнаружения сейсмических фаз (ПКР, РсР, РКР, ScP, SKP, SKKP), связанных с ядром Луны. По-видимому, наиболее перспективным в этом плане будет метод накопления с использованием высокой идентичности записей от лунотрясений, принадлежащих одному кластеру.

В настоящем сообщении не затрагивается еще один аспект сейсмических наблюдений – собственные колебания Луны. Перспективы использования этой информации связаны с обнаружением крутильных колебаний, предварительные оценки которых представлены в работе [Гудкова, Жарков, 2001].

Литература

Галимов Э.М. Состояние и перспективы исследования Луны и Планет // Вест. РАН, Сер. Геоф. 2004. Т. 74. № 12. С. 1059–1081.

Гудкова Т.В., Жарков В.Н. О возбуждении собственных колебаний Луны // Письма в астрономический журнал. 2001. Т. 27, с. 774–787.

Bills B.G., Ferrari A.J. A lunar density model consistent with topographic, gravitational, libration, and seismic data // JGR. 1977, vol. 82, p. 1306–1314.

Cisowski S.M., Collinson D.W., Runcom S.K., Stephenson, A; Fullr M. A review of lunar paleointensity data and implications for the origin of lunar magnetism // Proceedings of 13th Lunar and Planetary Science Conference in JGR. 1983. Vol. 88, Suppl. #2, A691–A704.

Elkins-Tanton L.T., Orman J., Hager B., Grove T. Re-examination of the lunar magma ocean cumulate overturn hypothesis: melting or mixing is required // Earth Planet. Scie. Lett., Vol. 196, p. 239–249, 2002.

Frohlich C., Nakamura Y. The physical mechanisms of deep moonquakes and intermediate depth earthquakes: how similar and how different? // Phys. Earth Planet. Int., Vol. 173, p. 365–374, 2009.

Hempel S., Knameyer M., Oberst J. Investigations of deep quakes on the lunar far side // Proceedings of Lunar and Planetary Science Conference, 2008.

Head J.W., Wilson L. Lunar mare volcanism: stratigraphy, eruption conditions, and the evolution of secondary crusts // Geochimica et Cosmochimica Acta (Journal of The Geochemical Society and The Meteoritical Society), Vol. 56, p. 2155–2175, 1992.

Hood L.L., Zakharian A., Halekas J., Mitchell D.L., Lin R.P., Acuna M.H., Binder A.B. Initial mapping and interpretation of lunar crustal magnetic anomalies using Lunar Prospector magnetometer data // JGR, Vol. 106, № E11, p. 27825–27839, 2001.

Lamlein D.R., Latham G.V., Dorman J., Nakamura Y., Ewing M. Lunar seismicity, structure and tectonics // Rev. Geophys. Space Phys, Vol. 12, p. 1, 1974.

Lawrence K., Johnson C., Tauxe L., Gee J. Lunar paleointensity measurements: implications for lunar magnetic evolution // Phys. Earth Planet. Int., Vol. 168, p. 71–87, 2008.

Lawrence J.F., Johnson C.L. Synthetic seismograms with high-frequency scattering for the Moon // Proceedings of 41st Lunar and Planetary Science Conference, 2010.

Lognonne P., Cagnepain-Beyneix J., Chenet H. A new seismic model of the moon: implications for structure, thermal evolution and formation of the Moon // Earth Planet. Scie. Lett., Vol. 211, p. 27–44, 2003.

Nakamura Y. HFT events: Shallow moonquakes? // *Phys. Earth Planet. Int.*, Vol. 14, p. 227–233, 1977.

Nakamura Y. Shallow moonquakes: How they compare with earthquakes // *Proceedings of 11th Lunar and Planetary Science Conference*, p. 1847–1853, 1980.

Nakamura Y. Seismic velocity structure of the lunar mantle // *J. Geoph. Res.* Vol. 88, p. 677–686, 1983.

Nakamura Y. Catalog of lunar seismic data from Apollo passive seismic experiment on 8-mm video cassette (exabyte) tapes. IRIS DMC, 1990

Nakamura Y. Far deep moonquakes and deep interior of the Moon // *JGR*, Vol. 110, E01001, 2005.

Neal C., Banerdt W., Alkalai L. Lunette: establishing a lunar geophysical network // *Ground-based Geophysics on the Moon. Conference Proceedings. January 21–22, Tempe, USA, 2010.*

Neumann G., Zuber M., Smith D., Lemoine F. The lunar crust: Global structure and signature of major basins // *JGR*, Vol. 101, № E7, p. 16841–16843, 1996.

Solomon S.C., Comer R.P., Head J.W. The evolution of impact basins: viscous relaxation of topographic relief // *JGR*, Vol. 87, № B5, p. 3975–3992, 1982.

Weber et al. The search for the lunar core // *Ground-based Geophysics on the Moon. Conference Proceedings. January 21–22, Tempe, USA, 2010.*

Wieczorek M.A., Bradley L. Jolliff, Amir Khan, Matthew E. Pritchard, Benjamin P. Weiss, James G. Williams, Lon L. Hood, Kevin Righter, Clive R. Neal, Charles K. Shearer, I. Stewart McCallum, Stephanie Tompkins, B. Ray Hawke, Chris Peterson, Jeffrey J. Gillis, Ben Bussey. The constitution and structure of the lunar interior // *Rev. Min. Geochem.*, Vol. 60, p. 221–364, 2006.

Wood J.A., Dickey J.S., Marvin U.B. Jr., Powell B.N. Lunar anorthosites and a geophysical model of the moon // *Proc. Apollo 11 Lunar Sci. Conf.*, p. 965–988, 1970.