
**КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ,
СИСТЕМЫ И ПРОГРАММЫ ИЗК**

**ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРОВ В НАЗЕМНЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ
КОСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ (К 60-ЛЕТИЮ НАЧАЛА
ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИИ ЛУНЫ)**

© 2021 г. А. В. Ипатов^{а, *}, Л. А. Ведешин^{б, **}

^аФГБУН ИПА РАН, Санкт-Петербург, Россия

^бФГБУН ИКИ РАН, Москва, Россия

*E-mail: ipatov@iaa.ras.ru

**E-mail: vedeshin40@mail.ru

Поступила в редакцию 30.07.2021 г.

DOI: 10.31857/S020596142106004X

В начале 60-х годов в Физическом институте им. П.Н. Лебедева (ФИАН) АН СССР были созданы первые мощные лазеры на кристаллах рубина. Директор ФИАН академик Н.Г. Басов предложил ученым Крымской астрофизической обсерватории (КРАО) АН СССР провести первый в СССР научный эксперимент по лазерной локации (ЛЛ) Луны. На крупнейшем в то время в мире зеркальном телескопе диаметром 2.6 м была смонтирована лазерно-локационная аппаратура ФИАН, с помощью которой в 1962 г. были зарегистрированы, отраженные Луной лазерные сигналы. Объектом исследования был кратер Альбатегний. В эксперименте в КРАО использовались рубиновые лазеры с длительностью импульса порядка 1–2 миллисекунды, что соответствовало ошибке при определении расстояния до Луны порядка 150–300 км. Эти исследования подтвердили практическую возможность и ценность результатов ЛЛ Луны и космических объектов по сравнению с другими методами. Эти эксперименты показали, не только возможность уточнять основные параметры системы Земля–Луна, но и значительно продвинуться в решении задач селекции, астрометрии, геодезии и геофизики.

Первые опыты по ЛЛ Луны выявили и основные недостатки этого метода: ослабление светового сигнала по пути к Луне и обратно затрудняло его регистрацию на Земле, а не строгая параллельность лучей лазерного пучка, посылаемого с Земли (лучи расходились на несколько угловых секунд) вела к тому, что пучок освещал на Луне площадку в несколько километров. При этом поверхность Луны имела неровности рельефа с большой разностью высот. В результате дополнительно возникала ошибка в сотни метров. Научный же интерес представляло измерение расстояния до Луны с высокой точностью в несколько метров и см. Для получения таких результатов не-

обходимо было локализовать точки отражения на Луне путем установки на ней малых мишеней, эффективно отражающих свет в направлении приемника системы регистрации отраженного сигнала на Земле.

Начало космических исследований околоземного космоса, Луны и планет Солнечной системы предоставило ученым и специалистам всего мира возможность проведения наземных и космических наблюдений с помощью лазерных рефлекторов (ЛР), установленных на низкоорбитальных и геодинамических космических аппаратах (КА), на автоматических межпланетных станциях (АМС) и самоходных аппаратах (СА) на поверхности Луны и других планет.

Идея проведения совместного научного эксперимента с ЛР на борту СА на Луне возникла у специалистов СССР и Франции в 1967 г. в рамках международной программы “Интеркосмос. После изучения технических возможностей проекта специалисты СССР и Франции составили научную программу работ по ЛЛ Луны. Французские специалисты взяли на себя обязательства по изготовлению панели с ЛР. На панели весом 3.8 кг и размером 450 × 210 × 75 мм было установлено 14 трипель-призм, изготовленных из высокооднородного материала-кремневого стекла, имеющего хорошую стойкость к радиации и малый коэффициент теплового расширения. Эта конструкция позволила во время эксперимента на Луне избежать термических деформаций в суровых лунных условиях. Французским специалистам была предоставлена возможность установки ЛР на советских СА “Луноход-1” и “Луноход-2”, разработанных в НПО им. С.А. Лавочкина под руководством главного конструктора чл.-корр. АН СССР Г.Н. Бабакина, которые осуществили

мягкую посадку на Луну на АМС “Луна-17” (1970) и “Луна-21” (1973).

В 1969–1971 гг. НАСА провело аналогичные исследования по ЛЛ Луны с помощью ЛР, установленных на американских КА “Аполлон-11” (1969) и “Аполлон-14” (1971), которые содержали до 100 ЛР, а на КА “Аполлоне-15” (1971) до 300. Несмотря на то, что французские ЛР отличались по своему устройству от американских, они оказались в пять раз эффективнее в условиях лунной ночи.

Для проведения эксперимента по ЛЛ Луны в КРАО был установлен комплекс лазерно-навигационной аппаратуры, разработанной в ФИАН. Аппаратура состояла из оптического передатчика на рубиновом лазере с модулированной добротностью и длительностью импульса около двух стомиллионных долей секунды, узкополосного приемника системы регистрации отраженного сигнала, измерителя времени распространения светового сигнала до отражателя и обратно с точностью порядка сто миллионной доли секунды, блока автоматики и управления всем комплексом приборов. Советскими и французскими учеными в КРАО и в обсерватории Пик де Миди при проведении ЛЛ были определены расстояния от Земли до Луны с точностью до 3 м. при работе с “Луноходом-1” и до 40 см с “Луноходом-2”. Работами по ЛЛ Луны в КРАО руководил заведующий сектором ФИАН д. ф.-м. н. Ю.Л. Кокурин, который внес большой вклад в мировое развитие методов радиолокации Луны и КА.

В соответствии с рекомендацией, принятой в 1968 г. Комитетом по исследованию космического пространства (КОСПАР) на Луну были доставлены пять ЛР: три американских в июле 1969 г. (КК “Аполлон -11” в Восточную часть Моря Спокойствия), в феврале 1971 г. (КК “Аполлон-14” в Западную часть Луны – район экватора) и в июле 1971 г. (КК “Аполлон-15” на юго-восточную окраину Моря Дождей) и два советско-французских в ноябре 1970 г. (СА “Луноход-1” в Западную часть Луны в Море Дождей) и в январе 1973 г. (СА “Луноход-2” в Море Ясности). Международная программа наблюдений при работе с пятью ЛР в различных точках лунной поверхности, позволила получить высокие точности ЛЛ Луны до нескольких см. Участие в этом эксперименте могли принимать все страны, обладающие соответствующим наземным лазерным оборудованием.

В 1983 г. работы по ЛЛ в КРАО были прекращены в связи с закрытием советской лунной космической программы.

Спустя 40 лет американским ученым из Университета Сан-Диего под руководством доктора Т. Мерфи удалось получить сигналы от ЛР СА “Луноход-1” с помощью облучателя, установленного на 3-х метровом телескопе в обсерватории

Апач-Поинт, благодаря тому, что после потери связи СА “Луноход-1” оказался на практически горизонтальной площадке, удобной для проведения ЛЛ с Земли. Полученные сигналы оказались в 5 раз ярче сигналов от СА “Луноход-2”. Ученым удалось определить расстояние до Луны с точностью до 1 см и его координаты: широту и долготу с погрешностью до 10 м. СА “Луноход-2” также до сих пор посылает на Землю сигналы, когда его облучают лазером с Земли. Специалисты НАСА передали американскому профессору Филу Стюки снимки лунной поверхности с орбитального спутника Луны “Lunar Reconnaissance Orbiter”, на которых он разглядел следы СА “Луноход-2”, оставленные в Море Ясности, как свидетельство первой советской миссии на Луне.

В настоящее время ЛР размещены в основном в северном полушарии Луны. Для дальнейших научных исследований было бы интересно провести ЛЛ Луны, чтобы уточнить координаты всех пяти ЛР одновременно. Наличие данных наблюдений Луны при больших временных интервалах позволило уточнить периодическую и вековую динамику движения Луны. Определение точного расстояния между Луной и Землей было не главной целью космических экспериментов на Луне. В дальнейшем они могут явиться средством решения более общей проблемы изучения системы Луна–Земля. Проведенные лазерные эксперименты на “луноходах” надо рассматривать как пионерские работы по свето-локации Луны в России и в мире.

В настоящее время свето-локационный метод астрометрических измерений позволит уточнить основные характеристики системы Земля–Луна, а также исследовать собственное вращение или либрацию Луны. Особый интерес представляет изучение тонких деталей вращения Луны, связанных с особенностями ее внутреннего строения, гравитационного поля, распределения масс на Луне и приливных явлений. Другой круг проблем, в решении которых метод ЛЛ может сыграть решающую роль–это задачи геодезии и геодинамики. Здесь открывается возможность производить точные геодезические измерения и на этой основе исследовать такие явления, как дрейф континентов и движение полюсов Земли, природу колебаний Чандлера. Для этого потребуются установка нескольких новых ЛР в Южном полушарии Луны, способных работать в любое время суток.

Работы по определению эфемерид Луны на основе лунных свето-локационных наблюдений начались в СССР в 70-х годах прошлого века под руководством профессора В. К. Абалкина в Институте теоретической астрономии АН СССР. В 1995 г. построение высокоточной численной теории орбитально-вращательного движения Луны и ее

уточнение на основе локационных наблюдений было продолжено в Институте прикладной астрономии (ИПА РАН) под руководством профессора Г.А. Красовского. В настоящее время лунные эфемериды, разработанные в ИПА РАН находятся в одном ряду с американскими и французскими данными и имеют примерно равную с ними точность.

В России метод ЛЛ в настоящее время используется для регулярных наблюдений низкоорбитальных и геодинамических ИСЗ с угловыми отражателями на борту. Для координатно-временного обеспечения (КВО) системы ГЛОНАСС в радио-интерферометрических обсерваториях Светлое, Бадары и Зеленчукская комплекса “Квазар-КВО” ИПА РАН проводятся высокоточные наблюдения с помощью дополнительно установленных трех лазерных станций (ЛС) “Сажень-ТМ”, которые разработаны в Институте прецизионного приборостроения (СПП) с участием д. т. н. В.Д. Шаргородского, В.В. Пасынкова и др. Наземный комплекс “Квазар” также используется для совместной работы с зарубежными приемниками КА GLONASS, GPS, DORIS и др. На территории России, ЮАР, Бразилии и Казахстана действуют 11 ЛС, образующих Российскую сеть лазерной дальнометрии (ЛД) и входящих в состав Международной службы ЛД (*International Laser Ranging Service*) для высокоточного определения орбит спутников и координат ЛС. В целях повышения эффективности применения российских ЛС создан Центр сбора, обработки и анализа информации средств российской сети ЛД и вводятся в строй две ЛС нового поколения для комплекса средств фундаментального обеспечения системы ГЛОНАСС. ЛС формируют дальномер-

ные данные (ДД) геодезических и навигационных КА с субмиллиметровой погрешностью измерений и псевдо-ДД навигационных ИСЗ, оснащенных модулями приема лазерных импульсов с субмиллиметровой погрешностью измерений. Кроме того, планируется введение Российского лунного ЛД на Алтае, разработанного в СПП, который будет обеспечивать миллиметровый и выше уровень точности измерений свето-локационной дальности до Луны. Научные результаты и перспективные планы работ по радио-интерферометрическим и лазерным наблюдениям низкоорбитальных и геодинамических КА, а также планетные исследования рассматриваются на Научном совете РАН по координатно-временному обеспечению и секции “Космическая геодинاميка и геодезия” Совета РАН по космосу.

В соответствии с Российской космической программой на 2021–2027 гг. специалисты НПО им. С.А. Лавочкина Роскосмоса совместно с учеными РАН планируют запуск на Луну трех АМС “Луна-Глоб” (“Луна-25”), “Луна-Ресурс” (“Луна-26”) и “Луна-Грунт” (“Луна-27”) для проведения научных экспериментов, в том числе для лазерных исследований с помощью ЛР на борту АМС и СА. Дистанционные наблюдения и непосредственные контактные научные исследования поверхности Луны позволят получить новую информацию о системе Земля–Луна.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема “Мониторинг”, госрегистрация № 01.20.0.2.00164).