

Радиолокационный комплекс РЛК – Л в проекте «ЛУНА-ГЛОБ»: Научные задачи и технические характеристики

Н.А. Арманд, В.М. Смирнов¹, В.Н. Марчук¹, О.В. Юшкова¹, В.В. Абрамов²,
Б.С. Лифанцев²

¹Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, Москва

²Федеральное государственное унитарное предприятие Специальное конструкторское бюро
ИРЭ РАН, Фрязино
vsmirnov@ire.rssi.ru

В работе представлены технические характеристики многофункционального радиолокационного комплекса РЛК-Л разрабатываемого в рамках российского проекта освоения Луны и окололунного пространства «Луна - Глоб». Обсуждаются научные задачи, решаемые с помощью этого прибора.

The technical characteristics of radiolocation complex РЛК-Л for Moon exploration are presented. Science problems, which may be solving for mission “Luna-Glob” by this devise, are discussed.

Освоение Луны началось в 1966 г. с посадки на ее поверхность автоматической станции «Луна-9» и активно продолжалось до 1999 г. всеми возможными на то время контактными и дистанционными методами. В последнее время исследование спутника Земли – одно из интенсивно развивающихся направлений космических исследований: с 2007 г начал реализацию своих планов освоения Луны Китай, Япония произвела в конце 2007 г. запуск спутника «Selene», Индия в 2008 г. - «Chandrayaan». В США реализовывается исследовательский проект с запуском космического аппарата (КА) «Lunar Reconnaissance Orbiter». В 2007 г. объявлено о старте российской программы «Луна-Глоб».

Практическая значимость результатов исследования и освоения Луны - неоспорима, это расширение знаний о формировании и развитии планет Солнечной системы; изучение возможности разведки и добычи лунных полезных ископаемых; выбор площадок для экспедиций, монтажа наблюдательных и сборочных пунктов. Доступность на Луне гелия-3 как перспективного энергетического ресурса заставляет смотреть на ее освоение как на объект практической экономики. Один из возможных путей решения проблемы назревающего энергетического кризиса связан с использованием гелия-3 в термоядерном синтезе, с его добычей и доставкой с Луны. Для поддержания среды обитания на будущих базах необходима вода (водяной лед): высвобождаемый кислород обеспечит воздушную атмосферу, водород станет эффективным топливом для транспортных средств. Именно поэтому поиск воды на поверхности Луны в районе ее полюсов, в кратерах, где никогда не бывает солнечного света, является одной из приоритетных проблем лунных исследований. Одним из возможных методов решения этой проблемы является радиолокационное исследование. Для этого на орбитальном космическом аппарате планируется разместить многоцелевой радиолокационный комплекс (РЛК-Л) дистанционного зондирования, предназначенный для изучения поверхности Луны, слоистой структуры ее грунта и оценки его электрофизических характеристик.

Научные цели и задачи этого эксперимента:

- ◆ оценка величины диэлектрической проницаемости лунного грунта;
- ◆ обнаружение и идентификация вкраплений крупных пород;
- ◆ локализация мест аккумуляции грунта с повышенной проводимостью;

- ◆ исследование крупномасштабной структуры шероховатости планеты;
- ◆ регистрация электромагнитного излучения вблизи поверхности Луны.

Проектируемый радиолокационный комплекс РЛК-Л состоит из двух радиолокаторов подповерхностного зондирования: Радар-20 и Радар-200. Технические характеристики одного из радаров приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики радиолокатора Радар-20.

1	Диапазон принимаемых частот по уровню минус 3 дБ	от 17,5 до 22,5 МГц;
2	Полоса пропускания тракта промежуточной частоты, по уровню минус 3 дБ, не менее	от 5 кГц до 5 МГц;
3	Диапазон амплитуд измеряемых сигналов, не менее	60 дБ
4	Выходная мощность передающего устройства, не менее	30 Вт
5	Вид излучаемого сигнала	импульсный, с внутренней ЛЧМ
6	Длительность излучаемого импульса	250мкс
7	Частота следования импульсов, не более	4 Гц
8	Диапазон частот излучаемого сигнала по уровню минус 1 дБ	от 17 до 23 МГц
9	Средняя потребляемая мощность, не более	20 Вт

Работа комплекса РЛК-Л планируется в двух режимах: активная и пассивная локация.

В пассивном режиме предполагается проведение бистатической радиолокации и измерения электромагнитного излучения на базе приемной части радиолокаторов Радар-20 и Радар-200. Примерная циклограмма работы комплекса в этом режиме на квазистационарной орбите, на той ее части, которая видна с Земли, предполагает два подрежима работ приемника:

◆1 подрежим: прием сигналов с длинной волны около 2 м; время работы приемника определяется геометрическим расположением системы «Земля - Луна – КА», длительность работы составляет не более 30 мин в сутки, потребляемая мощность до 3 Вт, требуемая память до 4800 Кбит (рис.1).

◆2 подрежим: прием сигнала в диапазоне 18 – 23 МГц (излучение естественных источников); время работы определяется геометрическим расположением системы «Земля-Луна –КА», длительность работы составляет не более 30 мин в сутки, потребляемая мощность до 3 Вт, требуемая память около 4800 Кбит (рис.2).

Для режима активной локации планируется использовать сигнал с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ). Зондирование в диапазоне от 17,5 до 22,5 МГц позволит определить структуру подповерхностных слоев грунта Луны до глубин в несколько километров. В диапазоне 175 - 225 МГц предполагается исследовать шероховатость поверхности и детализировать распределение электрофизических характеристик верхних пластов на глубинах от единиц до сотен метров с пространственным разрешением по глубине не хуже 1 м. Предполагается, что принятые сигналы после преобразования Фурье будут накапливаться в бортовой памяти прибора, затем передаваться на Землю. Циклограмма работы в этом режиме (рис.3) рассчитывается исходя из следующих положений: рабочая орбита круговая, высота 100-300 км, период

обращения спутника 2 - 2.30 часа; КА ориентирован на Солнце и антенны радиолокационного комплекса РЛК-Л будут направлены в Луну только на ее освещенной стороне. Информативность радиолокатора РЛК-Л предварительно оценивается в 480кбит/с.

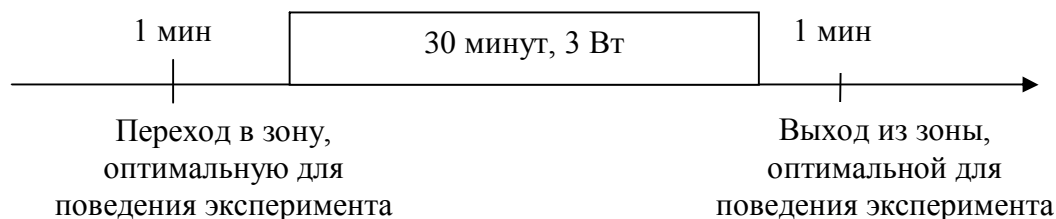


Рис. 1. Графическое отображение циклограммы работы приемников РЛК-Л для бистатической локации в 1 подрежиме

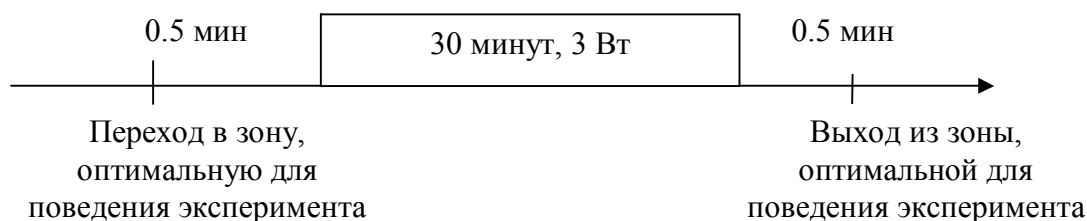


Рис. 2. Графическое отображение циклограммы работы приемников для бистатической локации во 2 подрежиме

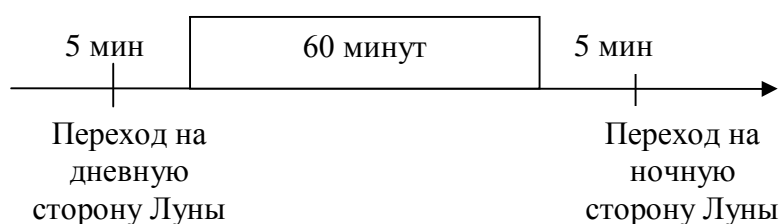


Рис. 3. Графическое отображение циклограммы работы радиолокационного комплекса РЛК-Л

При математическом описании спектр отраженного сигнала представим как произведение спектра излученного сигнала и коэффициента отражения радиоволн от изучаемой среды для соответствующей частоты. Для выбранной полосы девиации энергетический спектр ЛЧМ сигнала имеет практически прямоугольный вид, что позволяет выделить частотную зависимость коэффициента отражения. Именно он несет

информацию о свойствах среды, с которой взаимодействует сигнал. На рис.4 представлена частотная зависимость модуля коэффициента отражения, рассчитанная для модели следующей конфигурации: верхний слой с диэлектрической проницаемостью 6.2 (грунт), тангенс потерь 0.01, нижний слой толщины 10 м с диэлектрической проницаемостью 3.2 (лед), тангенс потерь 0.001, лежит на подложке с диэлектрической проницаемостью 9 (гранит), тангенс потерь 0.01. Глубина залегания среднего слоя: 1 – 10 м, 2 – 100 м, 3 – 500 м, 4 – 1000 м.

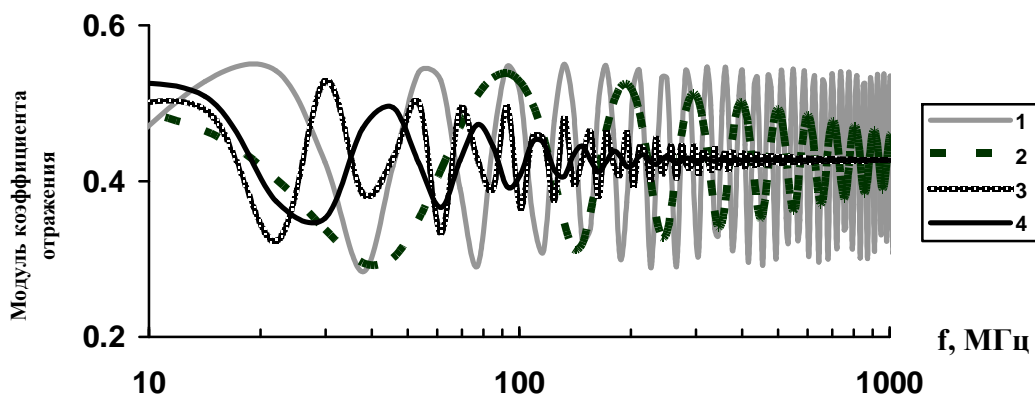


Рис. 4. Частотная зависимость модуля коэффициента отражения от слоисто-неоднородного полупространства

При численной обработке полученных результатов измерений будет использоваться и согласованная фильтрация, которая позволит значительно повысить разрешение задачи по глубине и анализ частотной зависимости коэффициента отражения радиоволн от поверхности Луны и подповерхностных слоев грунта.

Прибор РЛК-Л разрабатывается совместно Институтом радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН и (ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН) и Специальным конструкторским бюро (СКБ) ИРЭ РАН. Запуск космического аппарата намечен на 2012 год.