

Влияние рельефа Луны на формирование отраженного радиосигнала

О.В. Юшкова, Р.А. Рудаменко, В.В. Юшков

*Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
141190 Фрязино, пр. Введенского, 1
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва,
Ленинские горы, МГУ, o.v.y@mail.ru*

Рассмотрены задачи разделения радиолокационных сигналов отраженных от поверхности и от внутренних границ между геологическими структурами верхнего покрова Луны. Работа проводится в рамках подготовки научной программы экспериментов запланированных в миссии «Луна-Ресурс» с космического аппарата «Луна — 26» для радиолокационного комплекса РЛК-Л.

The problems of separation of radar signals reflected from the surface and from the internal boundaries between the geological structures of the upper cover of the moon are considered. The work is carried out as part of the preparation of the scientific program of experiments planned in the “Luna-Resource” mission from the “Luna-26” spacecraft for the RLK-L radar system.

Радиолокация является одним из немногих методов, позволяющих дистанционно изучать строение и состав верхнего покрова космических тел. Для проведения локации нужны приемник и передатчик, при этом для бистатической локации они должны быть разнесены в пространстве, а для моностатической локации - совмещены. Мощность передатчика, размещенного на космическом аппарате, - невелика, что обусловлено требованиями электромагнитной совместимости с научной и служебной аппаратуры, поэтому при бистатической радиолокации можно использовать мощные наземные радиолокаторы такие как Иркутский радар некогерентного рассеяния. В этом случае на орбите исследуемого тела должен находиться радиоприемник, согласованный с наземным передатчиком. В рамках российской миссии «Луна - Ресурс» планируется провести радиолокацию Луны. Основные 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. Для решения поставленных задач на борт орбитального аппарата «Луна-26» будет установлен радиолокационный комплекс РЛК-Л [1]. Радарный комплекс РЛК-Л (комплекс состоит из двух радаров: низкочастотного Радара-20 и высокочастотного Радара-200). Для локации будет использоваться сигнал с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ), длительность сигнала для высоты 100 км - 250 мкс. Зондирование в диапазоне от 17,5 до 22,5 МГц (Радар 20) позволит определить структуру слоев грунта Луны до глубин в несколько километров. В диапазоне 140 - 180 МГц (Радар 200) предполагается исследовать неоднородности поверхности и детализировать распределение электрофизических характеристик верхних грунтов. Для получения одномоментной съемки поверхности с разным пространственным разрешением функционирование Радара-20 и Радара-200 планируется организовать в единой циклограмме попеременно с минимально возможным временем переключения между ними. Работа прибора предусмотрена как в моностатическом, так и в бистатическом режиме при совместной работе с Иркутским

радаром некогерентного рассеяния (ИРНР), находящимся в ведении Института солнечно-земной физики СО РАН [2].



Рис.1. Радар-200.



Рис.2. Радар-20.

Сравнивая характеристики прямого и отраженного сигналов, можно оценить свойства слоя грунта, формирующего отраженный сигнал. На формирование отраженного от поверхности радиосигнала кроме свойств грунта влияет много факторов: условия его генерации и излучения, рельеф.

Несмотря на то, что рельеф поверхности является доминирующим фактором, влияющим на формирование отраженного сигнала, до сих пор не существует методики учета топографии при обработке результатов измерений радаров подповерхностного зондирования. Рассеяние сигнала шероховатой поверхностью приводит к тому, что в антенну радара во время приёма, кроме отражённого, попадают импульсы, пришедшие от боковых отражателей, задержанные по времени, что ведет к изменению амплитуды и фазы сигнала. Возникают вопросы: как учесть эти факты при обработке измерений? Как сильны

эти искажения? В каких районах целесообразно проведение радиолокационных измерений?

Первый опыт радиолокационного исследования приповерхностного слоя Луны проведен в 1972 г с космического аппарата (КА) «Аполлон-17». В результате измерений были получены сигналы, отраженные подповерхностными границами раздела грунта на глубинах 0.9 км, 1.6 км и 1.4 км [3]. Обработка результатов продолжалась 2 года, так как не был ясен механизм выделения сигналов, отраженных из-под поверхности от сигналов рассеянных боковыми отражателями — кратерами. При обработке результатов зондирования прибором РЛК-Л мы планируем использовать 3-D цифровую модель поверхности Луны.

Например, на рис.3 представлена 3-D модель поверхности части кратера Анаксагора — места возможных посадок посадочного модуля миссии космического аппарата «Луна - Ресурс» . Модель построена с привлечением измерений лазерного высотомера LOLA. Карта имеет разрешение 30 м/пиксель вдоль параллели и 130 м/пиксель вдоль меридиана. Данная карта представлена в координатной системе MOONME (ось X направлена на Северный полярный полюс Луны, ось Y — на нулевой меридиан, ось Z задает отклонение по высоте от лунного эллипсоида).

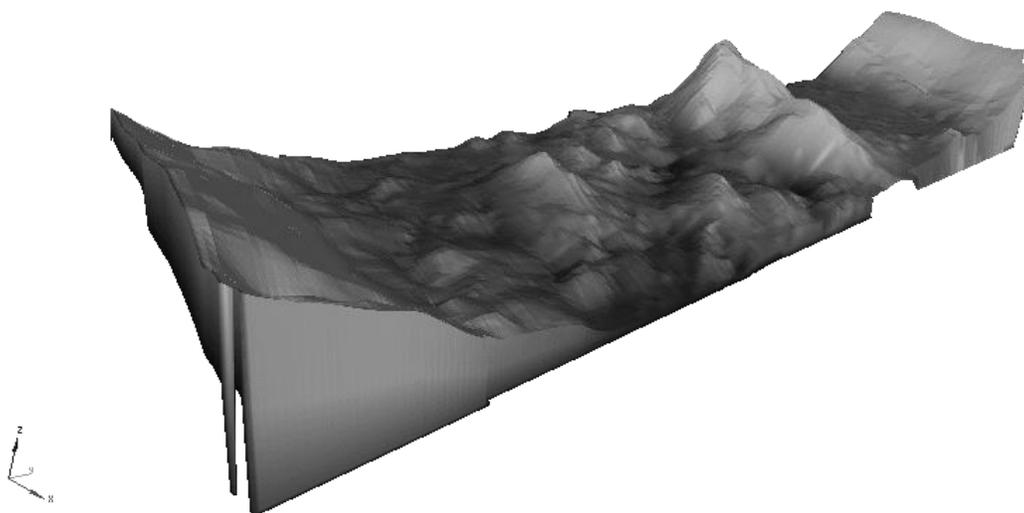


Рис.3. 3-D модель поверхности части кратера Анаксагора в системе координат MOONME.

Район отражения сигнала определяется согласно методики, подробно описанной в [4].

Отраженный сигнал моделируется в приближении геометрической оптики [5], т.е. рассматривается как суперпозиция сигналов, отраженных от каждого элемента сетки карты с учетом наклона элемента и времени распространения от космического аппарата до места отражения и обратно. Элемент - часть квадрата между узлами карты. В пределах каждого элемента поверхности диэлектрическая проницаемость грунта считается постоянной. Возможность такого представления для расчета отраженного радиосигнала прибора РЛК-Л рассмотрена в работе [6].

Результаты моделирования показали, что по форме модуля спектра отраженного сигнала можно определить характер рельефа района проведения эксперимента. А на рис. 4 представлен спектр сигнала Радара 20. Серым цветом дан спектр исходного сигнала, Синим — сигнала, отраженного от местности с горной грядой изображенной на рис. 4 (б).

На рис. 5 (а) приведен модуль спектра сигнала, отраженного от местности с выраженной впадиной. Конфигурация впадины приведена на рис. 5 (б). Для моделирования были выбраны топологические объекты с соизмеримыми линейными размерами и похожей ориентацией относительно трассы пролета космического аппарата.

Следует отметить, что наличие впадин разрушает спектр отраженного сигнала меньше, чем наличие горных гряд. Поэтому начинать интерпретацию результатов радиоизмерений следует с экспериментов, проведенными над плоскими районами, затем над областями с единичными впадинами и только потом над горными долинами.

Спектр вычислен от нормированного к единице сигнала. На рис. 3 (а) и рис. 4 (а) серым цветом построен спектр сигнала, отраженного от поверхности без учета боковых отражений.

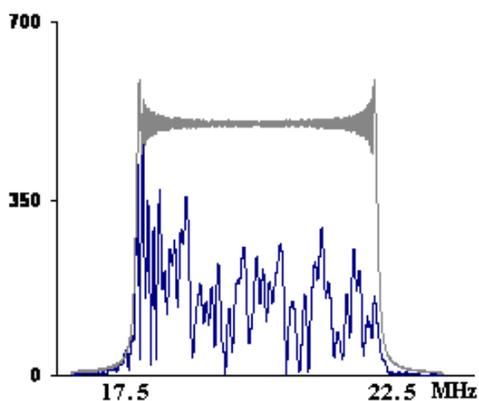


Рис. 4 (а)

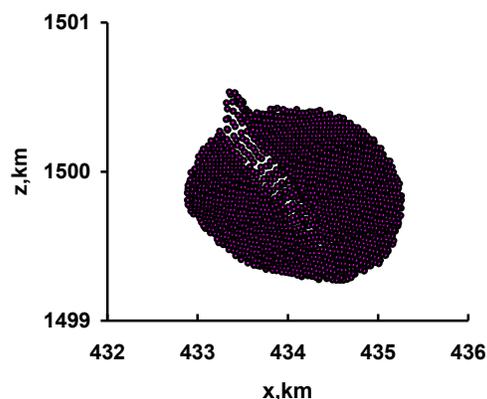


Рис. 4 (б)

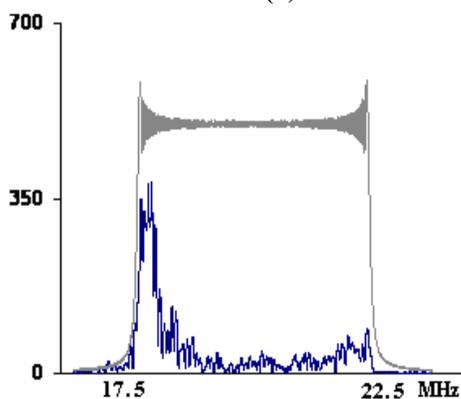


Рис. 5 (а)

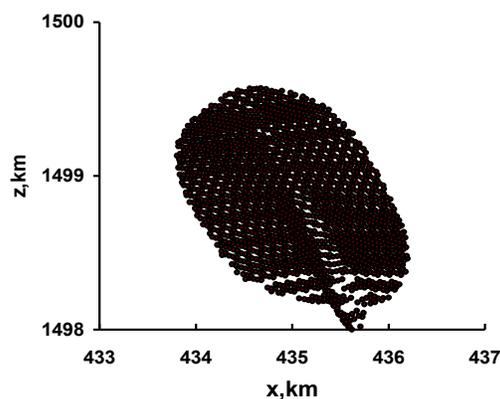


Рис. 5 (б)

Работа была выполнена при частичной поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума Российской академии наук №28 «Космос: исследование фундаментальных процессов и их взаимосвязей».

Литература

1. Smirnov V.M., Yushkova O.V., Marchuk V.N., et al. Luna_Glob Project: Radio Sounding of the Lunar Soil// *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2013, Vol. 58, No. 9, pp. 911–918. DOI: 10.1134/S106422691309012X

2. Yushkova O.V., Gavrik A.L., Marchuk V.N., et al. Bistatic Radar Detection in the Luna-Resurs Mission// *Solar System Research*, 2018, Vol. 52, No. 4, pp. 287–300. DOI: 10.1134/S0038094618040081
3. Porcello L. J. The Appolo Lunar Sounder Radar System/ L.J. Porcello et al // *Proceedings of the IEEE*.- 1974.- v.62, N6.-С.123-134.
4. Юшкова О.В., Рудаменко Р.А., Юшков В.В., Тertyshnikov A.B. Определение координат центра области отражения при бистатической радиолокации Луны // *Журнал радиоэлектроники*, 2018. № 7. DOI 10.30898/1684-1719.2018.7.2
5. Гончаренко А.А., Кравченко В.Ф., Пономарев В.И. Дистанционное зондирование неоднородных сред // М.: Машиностроение, 1991. стр.252
6. Smirnov V.M., Yushkova O.V., Karachevtseva I.P., Nadezhdina I.E. The influence of relief on formation of reflected signals of subsurface sounding radar// *Solar System Research*, 2014, Vol. 48, No. 3, pp. 167–181. <https://doi.org/10.1134/S003809461403006X>