

Оценка физических и динамических характеристик астероидов по радиолокационным наблюдениям

© Ю. Д. Медведев^{1,2}, А. В. Ипатов¹,
Ю. С. Бондаренко¹, Д. А. Маршалов¹

¹ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²ВКА имени А. Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия

Институтом прикладной астрономии Российской академии наук совместно с обсерваторией Голдстоун (США) периодически проводятся межконтинентальные радиолокационные наблюдения астероидов, сближающихся с Землей. Удалось зарегистрировать эхо-сигналы от 7 астероидов: 2011 UW158, 2003 TL4, 2003 YU1, 2003 BD44, 2014 JO25, 3122 Florence и 2017 VR12. В результате обработки наблюдений получены спектры мощности эхо-сигналов этих астероидов, которые позволили оценить размеры и физические характеристики поверхности астероидов.

Ключевые слова: астероиды, сближающиеся с Землей, АСЗ, астероиды, радиолокационные наблюдения.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.47.85-90>

Введение

Институтом прикладной астрономии РАН и Центром дальней космической связи «Голдстоун» проводятся регулярные сеансы межконтинентальных радиолокационных наблюдений астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ), с использованием 70-метровой антенны центра дальней космической связи (DSS-14) в качестве передатчика и 32-метровых радиотелескопов (РТ-32) радиоинтерферометрической сети «Квазар-КВО» в качестве приемников. Во время этих сеансов антенна DSS-14 облучает АСЗ гармоническим сигналом с постоянной несущей частотой $f_0 = 8560$ МГц в правой круговой поляризации. Мощность излучаемого сигнала может достигать 450 кВт.

Приемно-регистрирующая аппаратура радиотелескопов РТ-32 обеспечивает прием эхо-сигналов в диапазоне длин волн 3.5 см (8.18–9.08 ГГц) отдельно в левой и правой круговых поляризациях, что необходимо для регистрации зеркальной (OC) и диффузной (SC) компонент эхо-сигналов. Зеркальной компонентой эхо-сигнала принято называть сигнал с поляризацией, ортогональной излученному сигналу, а диффузной компонентой — с совпадающей поляризацией. Для относительно гладких поверхностей АСЗ большую часть мощности эхо-сигнала составляет зеркальная компонента. Диффузная компонента возникает вследствие многократных отражений от неровностей на поверхности объекта, соизмеримых с длиной волны излучения.

Данные наблюдений в цифровом формате и протокольные файлы системы управления радиотелескопа передаются по оптическим линиям связи на вычислительный кластер, где проводится обработка радиолокационных наблюдений [1].

К настоящему моменту успешно были зарегистрированы эхо-сигналы от 7 астероидов, в табл. 1 приведены следующие данные: обозначение АСЗ, моменты сближения и наблюдения, расстояние на момент наблюдения R , диаметр D и период вращения P . Для каждого из этих астероидов были получены спектры мощности, анализ которых приведен в этой статье.

Таблица 1

Параметры АСЗ зарегистрированных на РТ-32

АСЗ	Дата сближения	Дата наблюдения	$R, a.e.$	$D, м$	$P, ч$
2017 VR12	07.03.2018	05.03.2018	0.012	138	1.4
3122 Florence	01.09.2017	04.09.2017	0.052	4500	2.4
2003 BD44	18.04.2017	19.04.2017	0.057	1400	80
2014 JO25	19.04.2017	18.04.2017	0.024	650	4.5
2003 YT1	31.10.2016	31.10.2016	0.035	1100	2.3
2003 TL4	27.10.2016	29.10.2016	0.029	380	27.2
2011 UW158	19.07.2015	18.07.2015	0.017	320	0.6

Анализ спектров мощности эхо-сигнала

Спектры мощности эхо-сигналов, получаемые с помощью быстрого преобразования Фурье, вычисляются для двух круговых поляризаций. Переданный локатором поляризованный гармонический сигнал в результате отражения от поверхности вращающегося астероида уширяется, и часть его меняет поляризацию. Отношение поляризационных компонент эхо-сигнала SC/OC позволяет оценить коэффициент круговой поляризации и в результате охарактеризовать количество неровностей, соизмеримых с длиной волны на поверхности АСЗ. Доплеровское уширение B является функцией периода вращения астероида P , проекции диаметра на плоскость цели $D \cos \delta$ и длины волны λ посылаемого локатором гармонического сигнала: $B=4\pi D \cos \delta / \lambda P$. Здесь δ — угол наклона оси вращения к картинной плоскости. Вычисление серии спектров на одном периоде вращения астероида позволяет определить период P и построить полярный силуэт астероида [2]. Кроме того, профиль спектра позволяет судить о крупномасштабных особенностях на поверхности астероида. Наличие всплеска в спектре, значительно превышающего шум, может говорить о наличии спутника, а нескольких всплесков — о наличии спутниковой системы [3]. Величина смещения всплеска относительно центра спектра позволяет оценить величину проекции радиальной скорости спутника на нормаль к картинной плоскости.

На рис. 1–3 приводятся спектры мощности некоторых зарегистрированных на РТ-32 астероидов. По оси абсцисс отложена частота в герцах, а по оси ординат — мощность сигнала в единицах стандартного отклонения уровня шума. Сплошными и штриховыми линиями изображены спектры зеркальной и диффузной компонент эхо-сигнала соответственно, а Δf — частотное разрешение спектров в Гц.

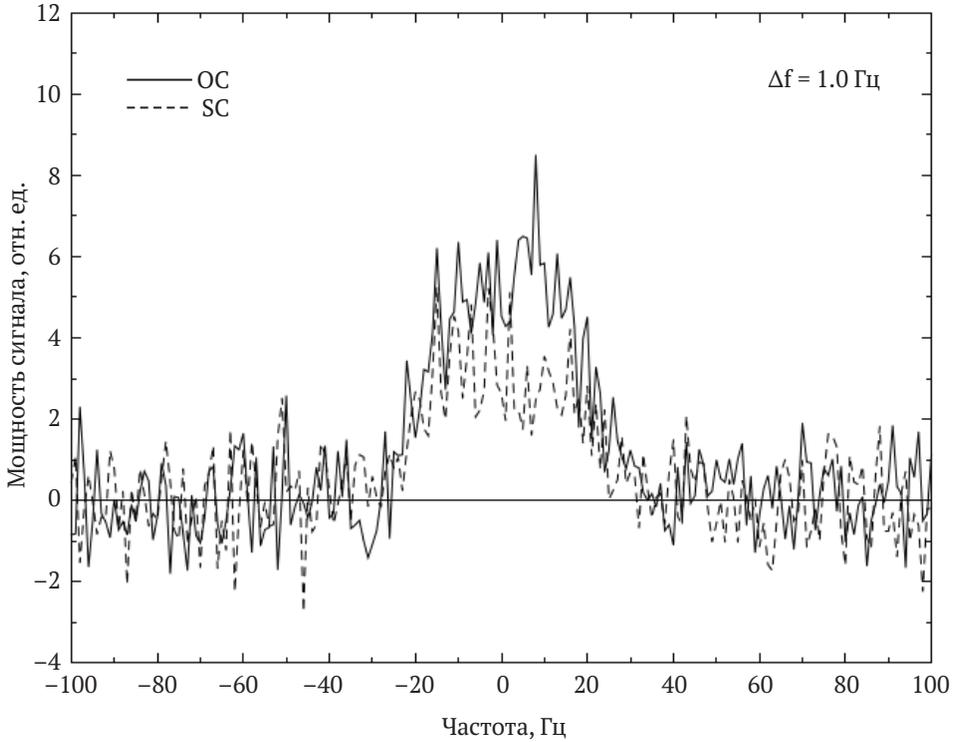


Рис. 1. Спектры мощности эхо-сигнала астероида 2003 УТ1, полученные по бистатистическим наблюдениям DSS-14 и РТ-32 в обсерватории «Бадары» 31 октября 2016 г. с 4:57 по 5:32 УТ. Сплошными и штриховыми линиями изображены спектры зеркальной (ОС) и диффузной (SC) компонент эхо-сигнала соответственно

На рис. 1 приведены спектры астероида 2003 УТ1. На зеркальной компоненте спектра этого астероида заметен всплеск мощности, который связан с отражением эхо-сигнала от спутника. Положение всплеска относительно центра спектра позволяет оценить значение радиальной скорости для спутника 2003 УТ1 величиной $\dot{r} = -0.12 \pm 0.2$ м/с. Если предположить, что луч зрения совпадает с радиус-вектором перицентра орбиты спутника в момент наблюдения, то уравнение $\dot{r} = -\frac{\sqrt{G} \sin E}{\sqrt{a(1 - e \cos E)}}$ позволяет оценить эксцентрискую аномалию спутника E . В нашем случае она равна 33° или $132^\circ \pm 7^\circ$.

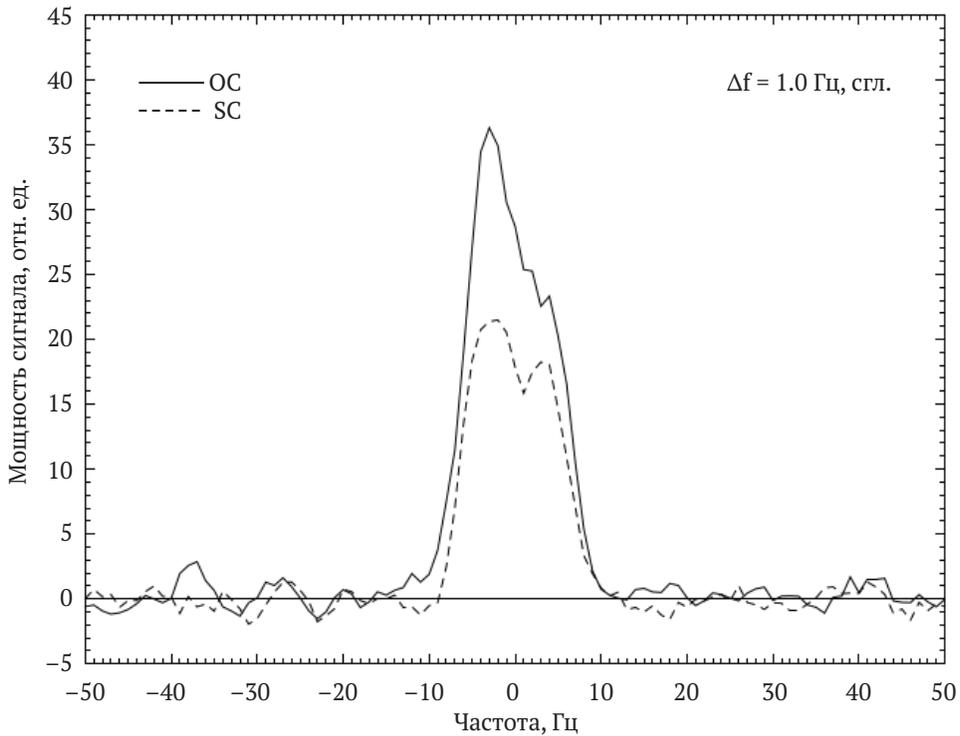


Рис. 2. Спектры мощности эхо-сигнала астероида 2014 JO25, полученные по бистатистическим наблюдениям DSS-14 и РТ-32 в обсерватории «Зеленчукская» 18 апреля 2017 г. с 10:58 по 11:13 UT. Сплошными и штриховыми линиями изображены спектры зеркальной (OC) и диффузной (SC) компонент эхо-сигнала соответственно

Бинарный астероид 2014 JO25, спектры которого представлены на рис. 2, состоит из двух скрепленных перемычкой частей и по форме напоминает гантелю [4], что проявляется в виде двух пиков на спектре диффузной компоненты.

Получасовой сеанс радиолокации позволил построить серию спектров мощности эхосигнала астероида 2011 UW158, представленных на рис. 3. По спектрам оценено изменение уширения сигнала, которое возникает из-за осевого вращения астероида. Из анализа изменения уширения во времени был определен период вращения астероида $P = 36 \pm 3$ мин и получена его фигура в проекции на экваториальную плоскость [2].

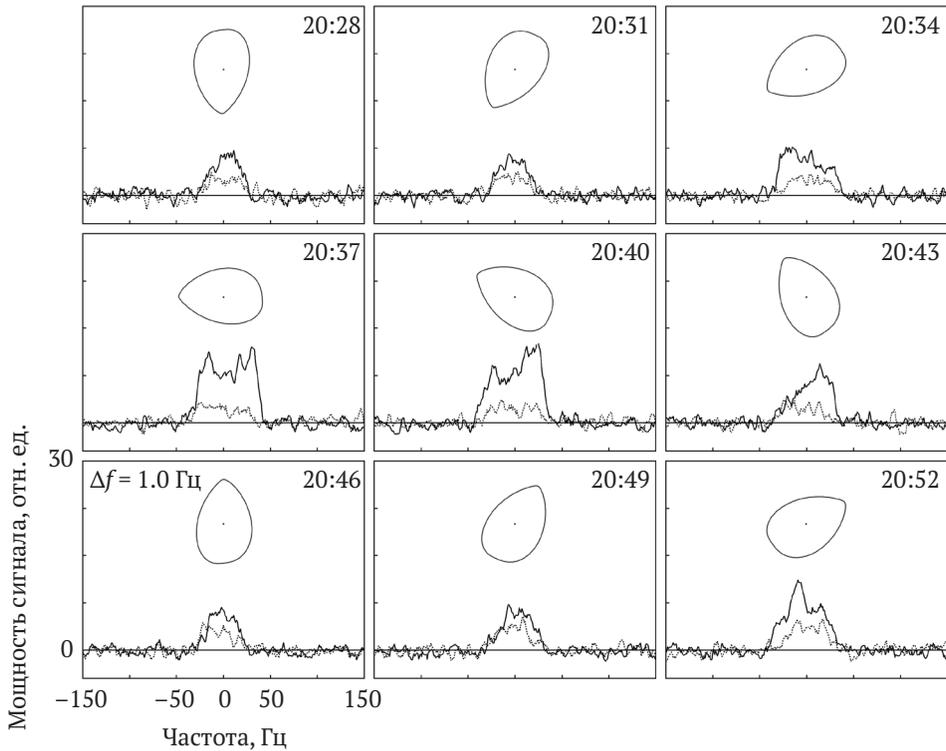


Рис. 3. Серия спектров мощности эхо-сигнала и фигура астероида 2011 UW158 в соответствующей фазе вращения, полученная по бистатистическим наблюдениям DSS-14 и PT-32 в обсерватории «Бадары» 18 июля 2015 г. с 20:25 по 21:00 UT

Заключение

С 2015 г. в Институте прикладной астрономии РАН регулярно проводятся бистатистические радиолокационные наблюдения астероидов, сближающихся с Землей. В результате обработки радиолокационных наблюдений были получены спектры мощности эхо-сигналов АСЗ, анализ которых позволил оценить периоды вращений, коэффициенты круговых поляризаций и построить фигуры. Показана возможность обнаружения спутников астероидов по спектрам мощности.

Литература

1. Маршалов Д. А., Бондаренко Ю. С., Медведев Ю. Д., Вавилов Д. Е., Зотов М. В., Михайлов А. Г. Комплекс средств для проведения радиолокационных наблюдений объектов, сближающихся с Землей // Приб. и техн. эксп. — 2018. — № 4. — С. 111–116.
2. Ипатов А. В., Бондаренко Ю. С., Медведев Ю. Д., Мишина Н. А., Маршалов Д. А., Беннер Л. А. Радиолокационные наблюдения астероида 2011 UW158 // Письма в Астрон. журн. — 2016. — Т. 42, № 12. — С. 115–130.

3. *Benner L., Brozovic M., Naidu S.* Biases affecting radar detection of binary near-Earth Asteroids // Division for Planetary Sciences, Abstract Book. — 2016. — V. 48, no. 7 — P. 184.

4. *Naidu S., Benner L., Brozovic M., Giorgini J. D., Busch M., Jao J. S., Lee C. G., Snedeker L. G., Silva M. A., Slade M. A., Lawrence K. J.* Goldstone radar imaging of near-Earth asteroids (469896) 2007 WV4, 2014 JO25, 2017 BQ6, and 2017 CS // American Geophysical Union: Fall Meeting 2017. — 2017. — Abstract No P33G-04.

Estimation of the Physical and Dynamic Characteristics of Asteroids from Radar Observations

Yu. D. Medvedev, A. V. Ipatov, Yu. S. Bondarenko, D. A. Marshalov

The Institute of Applied Astronomy of the Russian Academy of Sciences with the Goldstone Observatory (USA), periodically conducts intercontinental radar observations of asteroids approaching the Earth. Echo signals from 7 asteroids 2011 UW158, 2003 TL4, 2003 YT1, 2003 BD44, 2014 JO25, 3122 Florence and 2017 VR12 were registered. The echo power spectra of these asteroids were obtained. Spectra analysis allowed us to estimate the size and physical characteristics of the surface.

Keywords: NEA, asteroids, radar observations.