

УДК 520.832

## НАБЛЮДЕНИЯ НЕИДЕНТИФИЦИРОВАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В САЯНСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ. ПОЛУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ НЕКООРДИНАТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

*Коробцев И. В.<sup>1</sup>, Цуккер Т. Г.<sup>2</sup>, Мишина М. Н.<sup>3</sup>, Горяшин В. Е.<sup>4</sup>,  
Еселевич М. В.<sup>5</sup>, Клунко Е. В.<sup>6</sup>, Тергоев В. И.<sup>7</sup>*

OBSERVATIONS OF UNKNOWN SPACE OBJECTS AT THE SAYAN OBSERVATORY. GATHERING AND ANALYSIS OF NON-COORDINATE DATA

Korobtsev I. V., Tsukker T. G., Mishina M. N., Goryashin V. E., Eselevich M. V., Klunko E. V., Tergoev V. I.

This paper describes the approach used at the Sayan observatory to observe unknown high-apogee space objects at a stage of their initial detection. The short description of the types of gathered non-coordinate data and some practical results are presented.

Keywords: multicolor photometry, trajectory observations.

### Введение

Информация о высокоорбитальных космических объектах (ВОКО) в основном обеспечивается оптическими средствами и методами. При проведении оптических наблюдений регулярно обнаруживаются космические объекты (КО), которые не удаётся идентифицировать на базе имеющихся каталогов. В этих случаях возникают трудности с его последующим обнаружением и сопровождением. Они связаны с недостаточно большим интервалом измерения, что приводит к неточному прогнозированию орбитального движения. В работе описывается методика наблюдения неидентифицированных КО, применяемая в Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН.

Оптические телескопы, оснащённые фотометрической и спектральной аппаратурой, имеют возможность получать и некоординат-

ную информацию об околоземных космических объектах. В статье приводятся результаты многоцветной фотометрии, полученные на телескопе АЗТЗЗИК по ряду малоразмерных космических объектов.

### 1. Наблюдения неидентифицированных космических объектов

В ходе наблюдений ВОКО на широкоугольной оптической системе модернизированного телескопа АЗТ-14А в поле зрения ( $1,3^\circ \times 1,3^\circ$  с ПЗС-камерой FLI PL4301E) нередко попадают объекты с неизвестными параметрами орбит. Анализ наблюдений за 2012 г. показал, что доля таких объектов (12%) достаточно велика.

В эту категорию входят космические аппараты и малоразмерные фрагменты космического мусора с блеском до 18,5 звёздной

<sup>1</sup>Коробцев Иван Владимирович, младший научный сотрудник Института солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН; e-mail: korobtsev@yandex.ru.

<sup>2</sup>Цуккер Татьяна Гарриевна, ведущий инженер-программист Института солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН; e-mail: tania@iszf.irk.ru.

<sup>3</sup>Мишина Марина Николаевна, ведущий инженер-программист Института солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН; e-mail: mmish@iszf.irk.ru.

<sup>4</sup>Горяшин Владимир Егорович, ведущий инженер-программист Института солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН; e-mail: vgor@iszf.irk.ru.

<sup>5</sup>Еселевич Максим Викторович, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Института солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН; e-mail: mesel@iszf.irk.ru.

<sup>6</sup>Клунко Евгений Владимирович, научный сотрудник Института солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН; e-mail: eklunko@gmail.com.

<sup>7</sup>Тергоев Владимир Иванович, и.о. заведующего лабораторией Института солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН; e-mail: tvi@iszf.irk.ru.

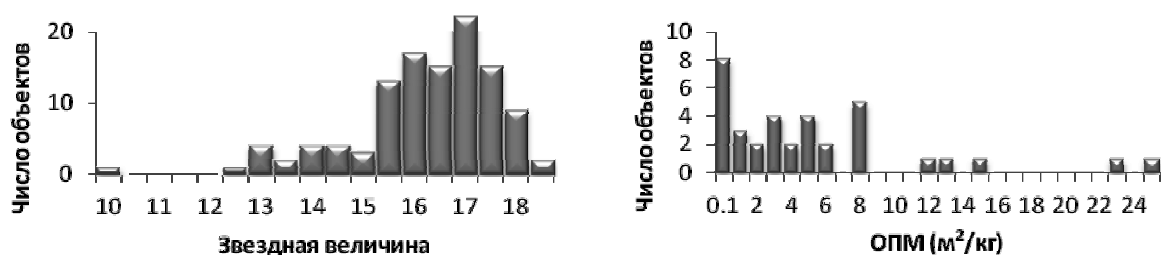


Рис. 1. Распределение яркости КО с неизвестными орбитальными параметрами (слева) и распределение КО неизвестными орбитальными параметрами по ОПМ (справа)

величины (рис. 1), представляющие потенциальную опасность для функционирующих космических аппаратов. Значительная часть объектов с неизвестными параметрами имеет большое отношение площади к массе (ОПМ).

Вследствие недостатка измерительной информации только 30% из общего числа неидентифицированных проводок были использованы ЦККП при каталогизации неизвестных ранее КО. Очевидно, что к наблюдению КО требуется особый подход, позволяющий не только своевременно выявлять некаталогизированные КО, но и получать необходимый для достоверного прогнозирования ближайших витков объем качественной измерительной информации.

Определение координат космических объектов относительно звёзд выполняется пакетом обработки изображений АРЕХ II [1]. Набор засечек, полученных в течение 10–15 мин. образуют серию. Точность орбиты, определяемой из данных такой серии недостаточна для прогноза движения объекта на следующие витки.

Для обнаружения ВОКО на последующих витках требуются высокоточные измерения, охватывающие длительный интервал времени (не менее 3%–5% периода обращения КО на орбите [2]). Например, для геосинхронных объектов орбитальные периоды, которых составляют порядка 24 ч., необходимый интервал времени измерений составляет 1 ч. Более длительные измерения существенно улучшают вычисляемую орбиту и особенно важны для уточнения орбит объектов с большим эксцентриситетом.

Однако наблюдение КО с неизвестными параметрами орбит сопряжено с определенными трудностями: подвижность объекта в поле зрения телескопа усложняет процесс его сопровождения и существенно (в несколько раз) снижает точность получаемых измерений. Для решения данной проблемы была

разработана специальная методика наблюдения и реализована соответствующая программная поддержка.

Методика наблюдения объектов с неизвестными орбитальными параметрами основана на оперативном получении предварительных данных о скоростях, положении и орбите наблюдаемого объекта, достаточных для его выявления, автоматического сопровождения и получения точечных изображений, а также для последующих обнаружений в течение нескольких часов.

По результатам визуального сравнения положений объектов на ПЗС-снимках наблюдаемого поля с прогнозируемыми и отображаемыми в реальном времени (рис. 2) выявляется предположительно некаталогизированный объект.

Специальное программное обеспечение позволяет в реальном времени указывать положение объекта на снимках ПЗС-камеры и определять его скорости, а также, используя показания датчиков телескопа, получать приближенные (с точностью установки показаний датчиков) координаты объекта. Это дает возможность обеспечить его достаточно точное сопровождение на данном участке орбиты с целью получения точечных изображений объекта. Измерение точечного объекта имеет большее отношение сигнала к шуму и позволяет исключить позиционные ошибки из-за возможной переменности блеска объекта. По первоначальным измерениям точечного объекта, полученным на интервале 10–15 мин., строится предварительная орбита, которая используется для прогноза движения объекта в течение 2–3 ближайших часов.

## 2. Примеры экспериментальной апробации методики

На рис. 3 приведены примеры сопровождения и прогнозирования орбиты для двух

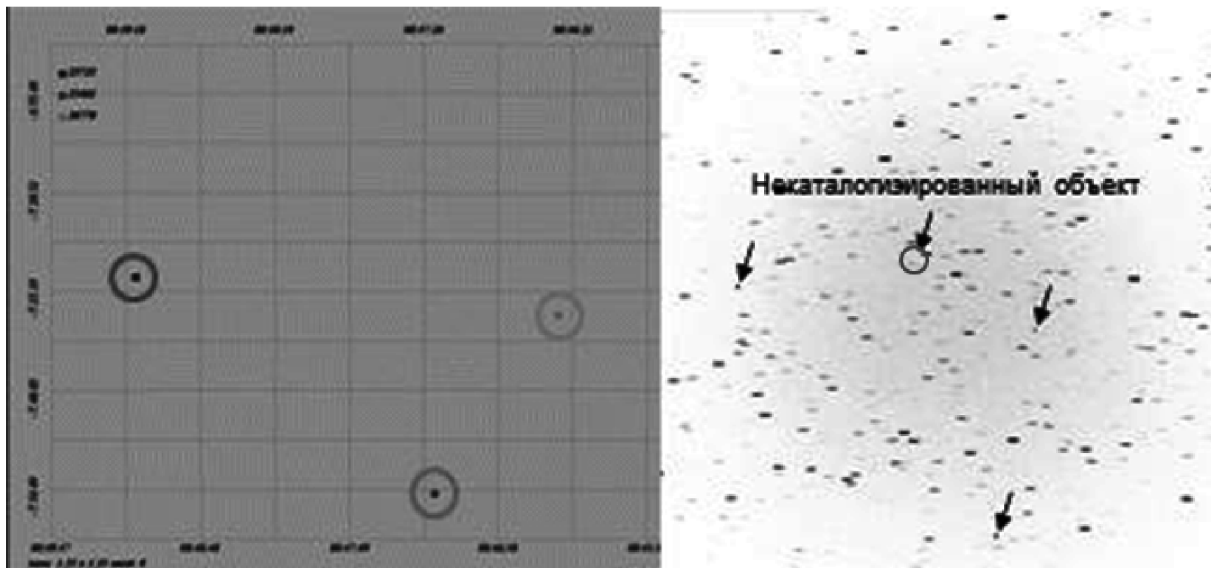


Рис. 2. Прогнозируемые положения каталогизированных КО (слева) и ПЗС-изображение поля зрения телескопа (справа)

объектов: впервые обнаруженного, получившего при каталогизации №90385 и каталогизированного ВЭО типа «Молния» №22017. После первой серии измерений неизвестного объекта была спрогнозирована орбита, с использованием которой были получены ещё три проводки на интервале 3 часа. Аналогичным образом проведены измерения для известного объекта №22017.

Результаты показывают, что точности предварительной орбиты достаточно для последующих обнаружений объекта в поле зрения телескопа АЗТ14А ( $1,3^\circ \times 1,3^\circ$ ) в течение 2–3 ч.

Для последующего сопровождения можно использовать и другие телескопы, позволяющие проводить как дополнительные траекторные, так и некоординатные измерения по неидентифицированным объектам. В частности, в Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН некоординатные измерения могут проводиться на 1,7-метровом телескопе АЗТ-ЗЗИК ( $7,5' \times 7,5'$ ) и 60-см ЦЕЙСС-600 ( $7,5' \times 7,5'$ ), оснащенных фотометрической и спектральной аппаратурой.

### 3. Некоординатные наблюдения

Анализ позиционных измерений показывает, что значительная часть неидентифицированных объектов имеют блеск слабее 15 звёздной величины и большие значения ОПМ. Фотометрические наблюдения

позволяют получать сведения об оптико-геометрических параметрах таких объектов.

В Саянской обсерватории получена фотометрическая информация более чем по 50 малоразмерным объектам с ОПМ от 1 до  $51 \text{ м}^2/\text{кг}$  и средним блеском от 15 до 18 звёздной величины. Получаемые данные позволили определить следующие фотометрические характеристики объектов: среднее значение звёздной величины в интегральном свете и фильтрах стандартной фотометрической системы, амплитуду изменений блеска, наличие или отсутствие периодичности изменений блеска и значение периода вращения объекта вокруг центра масс, наличие характерных особенностей кривых блеска, которые могут быть использованы для идентификации объекта, спектральный состав излучения, характер фазовой зависимости.

#### 3.1. Кривые блеска

Кривые блеска более половины измеренных объектов показывают явно выраженную периодичность изменений блеска, обусловленную вращением объекта относительно центра масс, с периодами от нескольких десятков до сотен секунд и амплитудами от 0,2–0,3 до 2,5 звёздных величин.

Примеры средних кривых блеска объектов с большим ОПМ, полученные с использованием метода наложенных эпох, приведены на рис. 4.

Как видно из рис. 4, кривые блеска объектов отличаются большим разнообразием

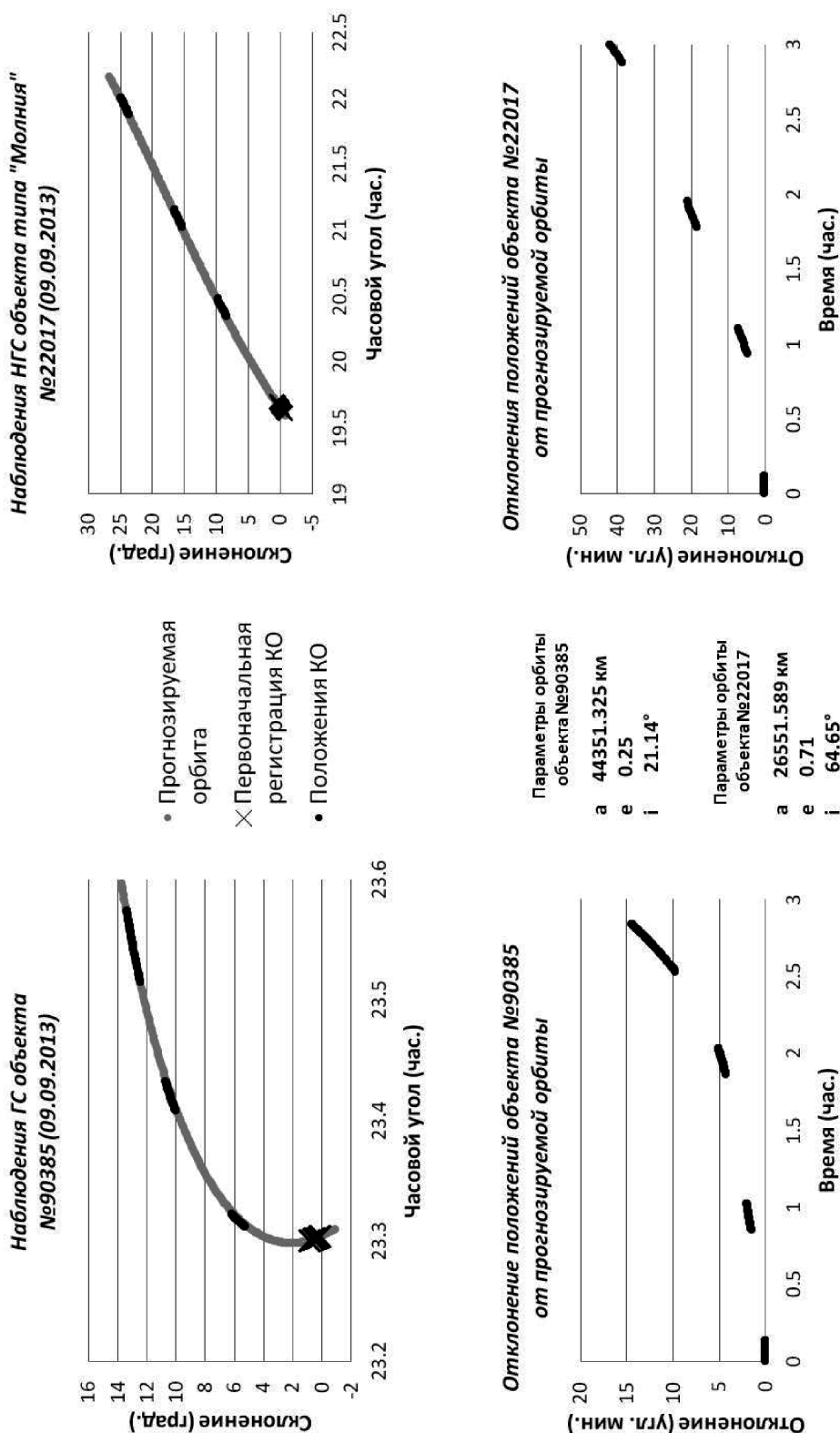


Рис. 3. Прогнозирование орбиты и наблюдения ВОКО

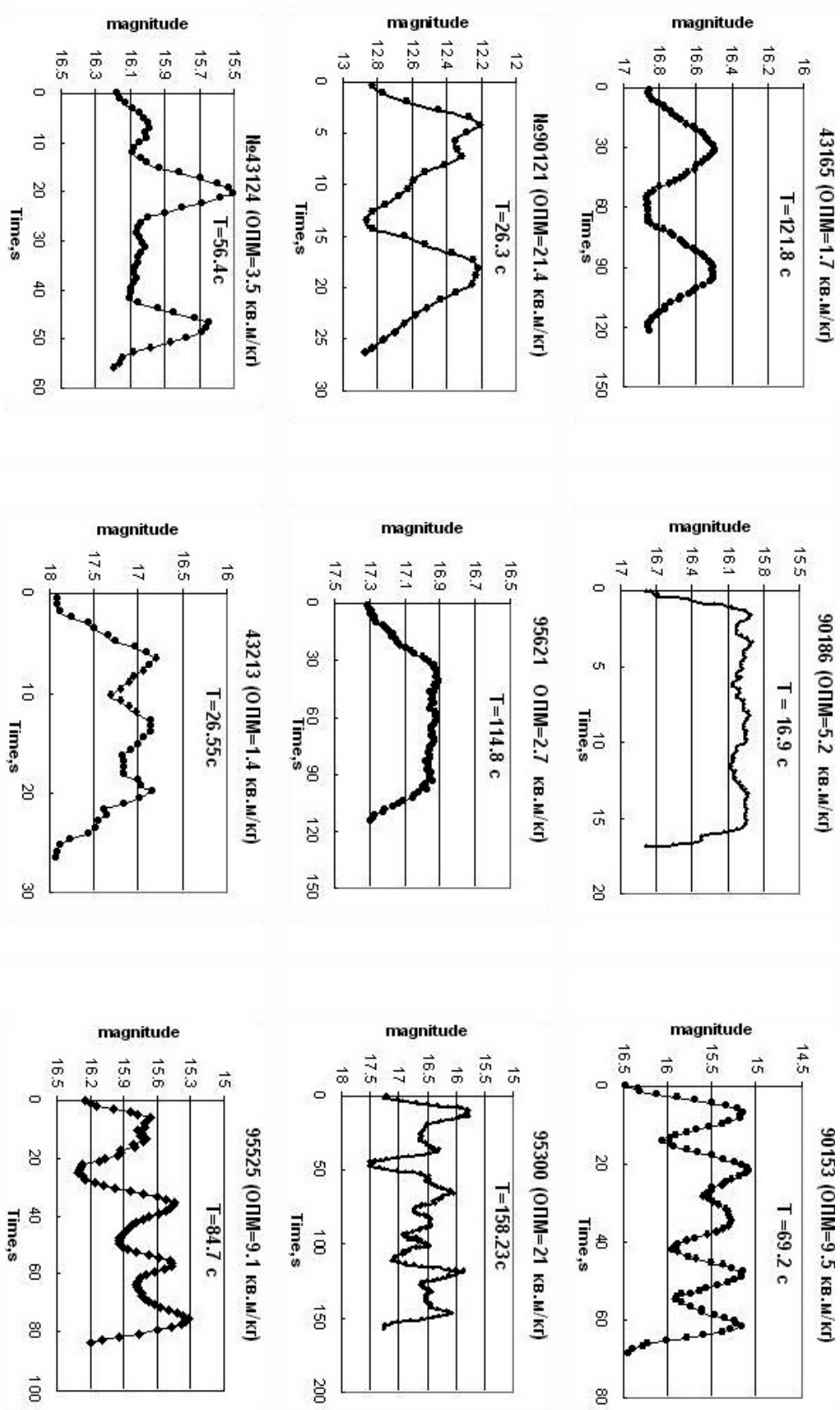


Рис. 4. Примеры средних кривых блеска объектов с большим ОПМ

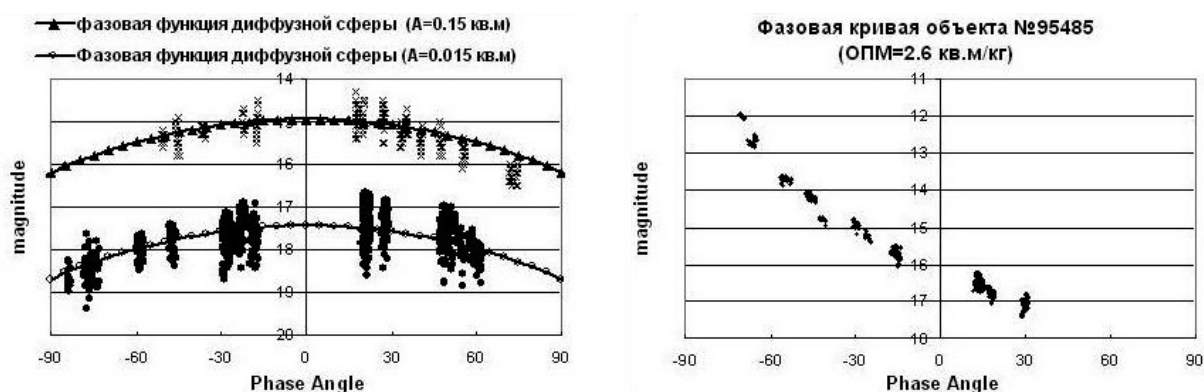


Рис. 5. Слева — наблюдаемые фазовые зависимости двух объектов с большими ОПМ в сравнении с фазовыми функциями диффузных сфер разных размеров (точки — объект №43213 с ОПМ = 1,4 м<sup>2</sup>/кг, крестики — объект №90153 с ОПМ = 10,8 м<sup>2</sup>/кг). Справа — аномальная фазовая зависимость (объект №95485 с ОПМ = 2,6 м<sup>2</sup>/кг)

форм — от почти синусоидальных, до сложных, многопиковых, свидетельствующих о наличии на поверхности объекта нескольких отражающих деталей.

### 3.2. Фазовые зависимости

Еще одним видом фотометрической информации являются фазовые зависимости, характеризующие зависимость блеска от фазового угла. Сопоставление полученных фазовых зависимостей блеска с фазовыми функциями, рассчитанными для тел известной формы, позволяет оценить характер отражения света, примерную форму и размеры отражающей поверхности. Аналитические выражения фазовых функций для тел простой формы приводятся в [3].

На рис. 5 (слева) показаны фазовые зависимости блеска двух объектов с большими ОПМ в сравнении с блеском, рассчитанным для диффузных сфер. В скобках на легенде приведены эффективные площади отражения  $A = S\gamma$ , где  $S$  — площадь видимой части поверхности КО,  $\gamma$  — коэффициент отражения. В предположении  $\gamma = 1$  получаем следующие линейные размеры объектов:

$$d = 14 \text{ см для объекта №43213;}$$

$$d = 40 \text{ см для объекта №90163;}$$

В правой части рис. 5 представлена фазовая кривая объекта №95485 (ОПМ=2.6 м<sup>2</sup>/кг), показывающего аномальную фазовую зависимость блеска.

### 3.3. Цветовые характеристики

Измерения объектов в фильтрах, соответствующих стандартной фотометрической

системе Johnson-Cousins (BVRI) позволяют определить цветовые характеристики объекта, которые содержат информацию о материалах покрытий КО. В качестве цветовых характеристик используются показатели цвета (колор-индексы): B-V, V-R, R-I. Распределение показателей цвета объектов с большим ОПМ, наблюдавшихся в Саянской обсерватории показано на двухцветной диаграмме (рис. 6, слева). Как видно из диаграммы, показатели цвета всех наблюдаемых объектов с большими ОПМ близки к солнечному, либо смещены в длинноволновую область спектра. Выделяется несколько существенно красных объектов с показателем цвета B-V  $\sim 1,5$  звездных величин. Значительный разброс точек на диаграмме свидетельствует о различной природе наблюдаемых объектов.

Одним из способов установления природы объектов с большим ОПМ может быть сравнение наблюдаемых показателей цвета со спектральными характеристиками различных материалов, используемых в конструкциях космических аппаратов, полученных лабораторным путем [4] (рис. 6, справа).

## Заключение

Внедренная в систему управления телескопами программная процедура оперативной идентификации и определения скоростей сопровождения космических объектов повысила эффективность наблюдательных средств Саянской обсерватории. Реализована возможность позиционных и фотометрических измерений подвижных КО с неизвестными элементами орбит. Приведены примеры экспериментальной обработки

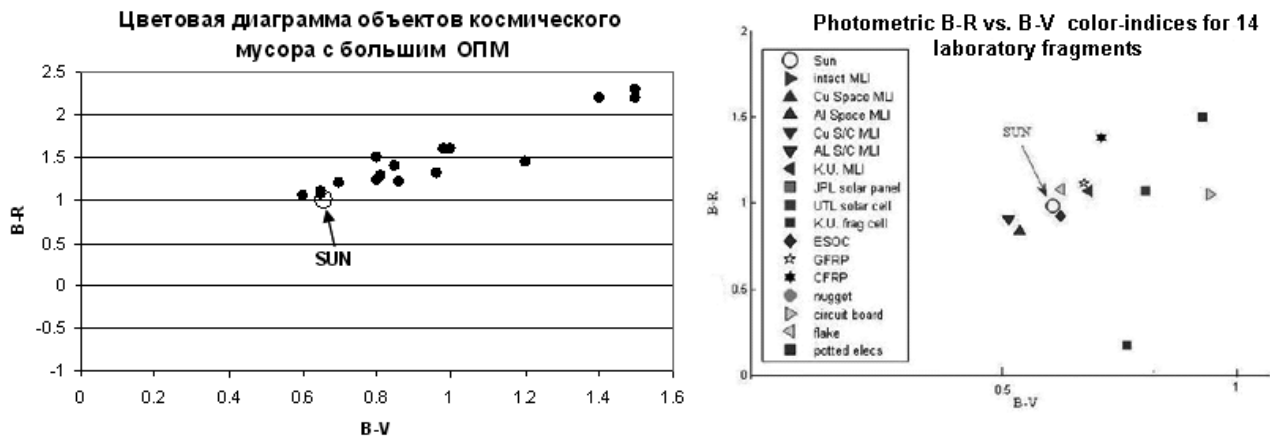


Рис. 6. Сравнение цветковых диаграмм объектов космического мусора (слева) и лабораторных фрагментов (справа)

предложенной методики наблюдений неидентифицированных объектов. Основной массив некаталогизированных объектов имеет блеск слабее 15 звездной величины и плохо прогнозируемые орбиты за счёт высокого показателя отношения площади к массе. Анализ фотометрической информации, полученной для объектов с большим ОПМ показывает, что фотометрические характеристики разных объектов значительно отличаются друг от друга. Это свидетельствует о том, что исследуемый класс КО содержит объекты разных типов, отличающихся по размерам, форме, материалу отражающей поверхности, скорости вращения вокруг центра масс. Совокупность полученной информации позволяет сформировать набор характерных для каждого объекта фотометрических признаков, которые дополняют координатные данные и способствуют более надёжному решению задач распознавания и каталогизации космических объектов.

Ключевые слова: многоцветная фотометрия, координатные наблюдения.

### Литература

1. *Куприянов В.* Обработка ПЗС-изображений при наблюдениях объектов ГСО в системе Apex II. <http://lfvn.astronomer.ru>.
2. *Хуторовский З. Н.* Методы обработки измерений при каталогизации КО в ЦККП. Москва. 2009. <http://lfvn.astronomer.ru/report/0000056/katkm.pdf>.
3. *McCue G. A., Williams J. G., Morford J. M.* Optical characteristics of artificial satellites // *Planetary and Space Science*. 1971. Vol. 19. Iss. 8. P. 851–868.
4. *Cowardin H., Seitzer P., Abercromby K., Barker E., Schildknecht T.* Characterization of orbital debris photometric properties derived from laboratory-based measurements // *Proceedings of the Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference, Wailea, Maui, Hawaii, September 14–17, 2010*.

Статья поступила 4 ноября 2013 г.

Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН, г. Иркутск

© Коробцев И. В., Цуккер Т. Г., Мишина М. Н., Горяшин В. Е., Еселевич М. В., Клушко Е. В., Тергоев В. И., 2013