

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

## PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 309 (2016), 135 – 139

UDC 520.88

**B. I. Demchenko, A. A. Komarov, M.A. Krugov,  
I.V. Reva, A.V. Serebryansky, L. A. Usoltseva**

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan

## CONDITION OF OBSERVATIONS OF GEOSTATIONARY SATELLITES AT TIEN SHAN ASTRONOMICAL OBSERVATORY

**Abstract.** Geostationary satellites (GSS) are among a few types of satellites which can be observed by means of standard astronomical methods. At Tian Shan Observatory (TSHAO) the ordinary 1-meter class telescope having 0.1 square degree field of view is used for astrometric and photometric observations of GSS. Geodesic and geocentric coordinates of the place and horizon obscure chart are provided. Duration of observation time during a year is given. GSS assemblage distribution over condition of accessibility for observation is provided. Visual conditions of geostationary zone in different season of a year and date are shown.

**Keywords:** Geostationary satellite, observatory, condition of observation.

УДК 520.88

**Б.И. Демченко, А. А. Комаров, М. А. Кругов,  
И. В. Рева, А. В. Серебрянский, Л. А. Усольцева**

Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан

## УСЛОВИЯ НАБЛЮДЕНИЙ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ НА ПУНКТЕ ТЯНЬ-ШАНСКАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

**Аннотация.** Геостационарные спутники это один из немногих типов ИСЗ, которые можно наблюдать с использованием стандартных астрономических методов. На Тянь-Шанской обсерватории для позиционных и фотометрических наблюдений ГСС применяется обычный 1-метровый телескоп с полем зрения 0.1 кв. градуса. Приведены геодезические и геоцентрические координаты пункта, диаграмма закрытости горизонта. Указана продолжительность наблюдательного времени в течение года. Дано распределение множества ГСС по условиям их доступности для наблюдений. Показано видимое состояние геостационарной зоны на различные сезоны года и моменты времени.

**Ключевые слова:** Геостационарный спутник, обсерватория, условия наблюдений.

Тянь-Шанская астрономическая обсерватория (ТШАО) находится на небольшом плато в горах Заилийского Алатау вблизи Большого Алматинского озера. Геодезические координаты пункта: высота над уровнем моря  $H = 2735$  м, геодезическая широта  $\varphi = 45^{\circ}03'26''$ , восточная долгота  $\lambda = 76^{\circ}58'18''$ . Соответствующие геоцентрические координаты: геоцентрическая широта  $\varphi_c = 42^{\circ}51'55''$ , геоцентрическое расстояние  $\rho = 6370.952$  км, расстояние до плоскости земного экватора  $z = 4334$  км, расстояние до земной оси  $d = 4670$  км. Последние четыре параметра полезны при переносе систем координат из топоцентра к центру Земли и обратно. Они вычислены по формулам [1]:

$$\operatorname{tg}(\varphi_c) = (1 - \varepsilon)^2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi); \quad \rho = H + \frac{R_e}{\sqrt{\cos^2(\varphi_c) + \sin^2(\varphi_c)/(1 - \varepsilon)^2}}$$

$$z = \rho \cdot \sin(\varphi_c) ; \quad d = \rho \cdot \cos(\varphi_c),$$

где экваториальный радиус Земли  $R_e = 6378.140$  км, сжатие земного сфероида  $\varepsilon = 1/298.257$  (система астрономических постоянных МАС 1976 [2]).

Обсерватория со всех сторон окружена горами высотой до 4000м. На рисунке 1 представлена диаграмма закрытости горизонта для ТШАО. Внутренний круг – это математический горизонт, соответствующий угловой высоте  $0^{\circ}$ . Далее идут внешние концентрические круги с шагом  $5^{\circ}$  по высоте.

В интересующей нас южной области неба (верхняя часть рисунка 1) закрытость горизонта меняется от  $5^{\circ}$  до  $16^{\circ}$ . Заметим, что для астрономической обсерватории АФИФ, расположенной на Ассы-Тургеньском высокогорном плато (высота 2664м, [3]) закрытость горизонта составляет максимум  $6^{\circ}$ . По этому параметру Ассы-Тургеньская обсерватория более предпочтительна для любых астрономических наблюдений, в том числе и для наблюдений геостационарных спутников.

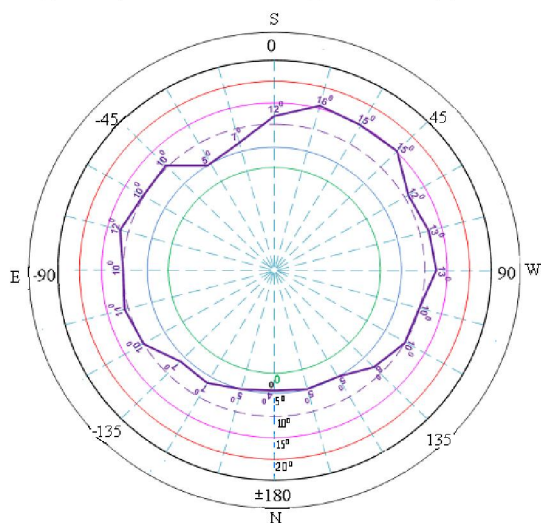


Рисунок 1 - Диаграмма закрытости горизонта для ТШАО. По радиусу отложена угловая высота над горизонтом, по полярному углу - азимут, отсчитывается от направления на юг

При проведении высокоточных фотометрических наблюдений необходимо, чтобы Солнце было погружено под математический горизонт не менее чем на  $18^{\circ}$  (астрономическая ночь). Считается, что при выполнении этого условия шум от рассеянного солнечного света практически не влияет на качество наблюдений. Для астрометрических наблюдений требования менее жесткие. Здесь достаточно, чтобы Солнце находилось под горизонтом не менее чем на  $12^{\circ}$  (навигационная ночь). В таблице приведена продолжительность астрономической и навигационной ночи для ТШАО на 15 число каждого месяца, в часах и долях часа.

Таблица - Продолжительность астрономической и навигационной ночи для ТШАО

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
астрон.	11.3	10.3	8.1	7.2	5.3	4.0	4.6	6.4	8.3	9.8	11.0	11.6
навиг.	12.4	11.4	10.0	8.4	6.9	5.9	6.4	7.8	9.4	10.9	12.1	12.7

Первые наблюдения геостационарных спутников (ГСС) на 1-метровом телескопе ТШАО начали проводиться во второй половине 2012 г., [4]. Поле зрения телескопа с ПЗС-матрицей составляет  $20' \times 20'$ , площадь - около 0.1 кв. градуса. Типичный ГСС проходит это поле за 80 сек. Геостационарные спутники – это один из немногих типов ИСЗ, для наблюдения которых можно применять стандартную астрономическую аппаратуру и методику. Низкоорбитальные ИСЗ имеют слишком большие скорости движения по обеим угловым координатам. Для их наблюдений обычно используются методы радиоастрономии и локации [5], либо специальные короткофокусные телескопы с большим полем зрения и системой управления, позволяющей отслеживать движение ИСЗ вдоль орбиты.

При обработке позиционных наблюдений ГСС в основном используется звездный каталог ТУСНО-2, содержащий координатную и иную информацию для 2.54 млн. звезд. В этом каталоге «плохими» в астрометрическом смысле считаются звезды с погрешностями определения координат более  $0.2''$ , они отмечены специальным флажком. Таких звезд в ТУСНО-2 менее 6%. Заметим, что при обработке массовых позиционных наблюдений ГСС погрешности в координатах опорных звезд порядка  $0.5'' - 0.7''$  вполне допустимы.

В указанное поле зрения попадает в среднем 6-7 опорных звезд из ТУСНО-2. Распределение этих звезд по небу весьма неравномерно. Вблизи плоскости Галактики в поле зрения телескопа может попасть более 20 звезд, а вдали от этой плоскости существуют области, где в наше поле не попадает ни одной звезды. Поэтому применение менее полных каталогов типа HIPPARCOS (около 0.5 млн. звезд) нецелесообразно, даже если они содержат более точную координатную информацию. Для обработки фотометрических наблюдений используются другие специализированные каталоги фотометрических стандартов в фильтрах B,V,R.

В настоящее время (начало 2016 г.) в Астрофизическом институте имеется достаточно полный список ГСС, содержащий информацию примерно для 1700 спутников. Классификация ГСС по элементам орбиты представлена в [5]. По условиям доступности для наблюдений на ТШАО (или условиям видимости) все эти объекты можно разбить на три группы. В скобках указан процент от общего количества.

Группа 1 – всегда видимы, (17%). К ним относятся корректируемые ГСС с восточными долготами точек стояния от  $25^{\circ}$  до  $130^{\circ}$ , а также либрационные ГСС класса L1 с амплитудой либрации не более  $50^{\circ}$ .

Группа 2 – иногда видимы, (63%). Это все дрейфующие ГСС и либрационные спутники класса L1 с амплитудой либрации более  $50^{\circ}$ . С некоторыми оговорками можно считать, что объекты этой группы примерно 30% времени доступны для наблюдений, и 70% недоступны, то есть находятся под горизонтом.

Группа 3 – всегда не видимы (20%). Это все корректируемые ГСС вне диапазона долгот  $25-130^{\circ}$ , а также все либрационные класса L2.

Под действием гравитационных возмущений от Луны, Солнца и несферичности геопотенциала наклон орбиты типичного пассивного ГСС к экватору меняется от  $0^{\circ}$  до  $15^{\circ}$ . Соответственно, угловое отклонение от плоскости экватора может меняться в пределах  $\pm 15^{\circ}$ .

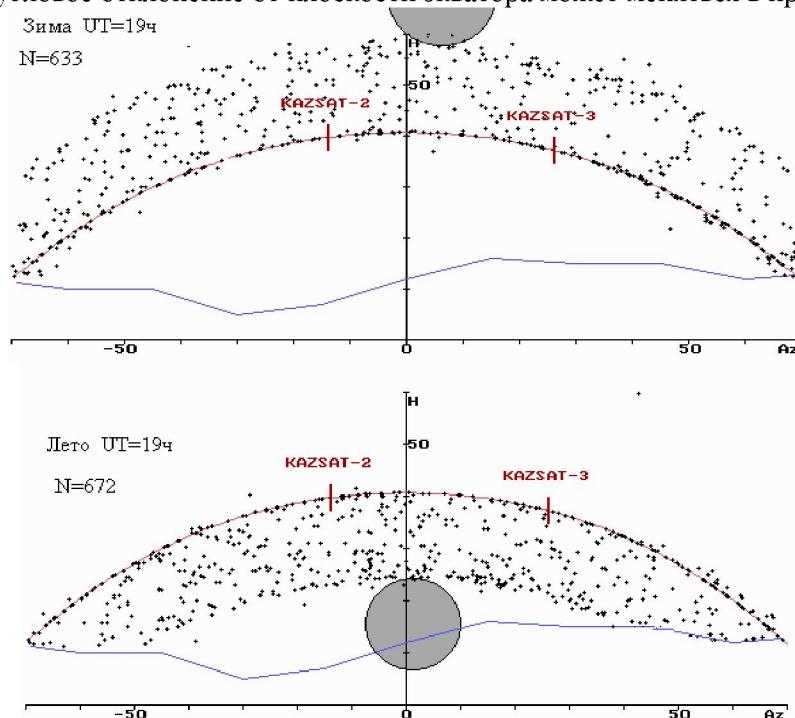


Рисунок 2 - Видимое состояние геостационарной зоны для полуночи, 22 декабря и 22 июня (зима и лето) 2016 г.

На рис.2 показано видимое состояние геостационарной зоны для ТШАО на две характерные даты: 22 декабря (“зима”) и 22 июня (“лето”) 2016 года. Момент Всемирного времени везде одинаков и равен  $UT=19^h$ , то есть близко к местной полуночи. Система координат ‘азимут-высота’, меркаторская проекция. Нижняя горизонтальная ось – это математический горизонт. Выше нее ломаной линией показана закрытость горизонта в соответствии с рис. 1. Точками отмечены положения всех ГСС, видимых в данный момент, то есть вся группа 1 и примерно 1/3 объектов из группы 2.

Общее число видимых ГСС дается в левом верхнем углу (параметр N). Небольшой серый круг показывает положение и размер тени Земли в геостационарной зоне, топоцентрический угловой радиус тени около  $9^{\circ}$ . Объекты, попадающие в тень Земли, в действительности не видны, но на рисунках присутствуют. Длинная дуга вдоль всего рисунка обозначает топоцентрическое положение линии экватора в геостационарной зоне. Вдоль нее расположено большинство работающих ГСС. Короткими вертикальными линиями на этой дуге показано положение спутников KazSat-2 и KazSat-3. Заметим, что KazSat-1 (NORAD=29230, запуск 2006 г.) уже перешел в разряд космического мусора, и сейчас это дрейфующий ГСС класса D1 с периодом  $24^h 15^m$ . Последняя ступень ракетносителя для KazSat-1 (NORAD=29233) –также дрейфующий ГСС класса D2 с периодом  $23^h 49^m$ .

Распределение ГСС в зоне обзора ТШАО существенно зависит не только от времени года, но также от времени суток. На рисунке 3 показано видимое состояние зоны ГСС для даты 21 марта 2016г (весеннее равноденствие) на три момента времени с интервалом 3 часа.

Как видно из рисунков 2 и 3, количество ГСС в зоне обзора ТШАО всегда больше 600. Понятно, что проводить регулярные качественные наблюдения всех этих спутников с одного пункта нереально, даже если ограничиться только объектами группы 1.

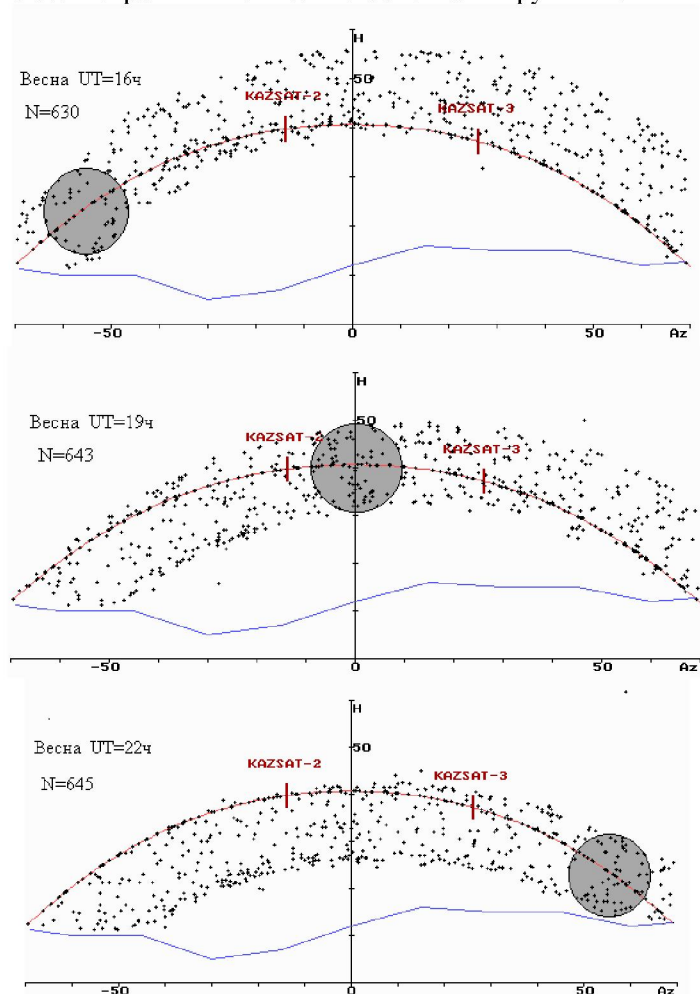


Рисунок 3 - Видимое состояние геостационарной зоны для ТШАО на 21 марта 2016 г. на три момента времени:  $UT = 16^h$ ,  $UT = 19^h$  и  $UT = 22^h$



Учитывая интересы Казахстана, в качестве объектов постоянного сопровождения целесообразно взять отечественные спутники Kazsat-2, Kazsat-3, а также ГСС класса L1 с небольшими эксцентриситетами и наклонами, которые наиболее опасны в плане слишком близких прохождений. Для сопровождения других ГСС желательно иметь пространственно разнесенную сеть из нескольких пунктов наблюдений с единым центром обработки информации.

*Работа выполнена в рамках научно-технической программы «Развитие методов мониторинга и исследований космического пространства на базе современных информационных технологий», проект N 0003-1/ПЦФ-15-АКМИР*

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Абалакин В. К., Аксенов Е. П., Гребенников Е. Д., Дёмин В. Г., Рябов Ю. А. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике //под ред. Дубошина Г.Н.// М. – Наука. – 1976. – 864 с.
- [2] Жаров В. Е. Сферическая астрономия. Фрязино. – 2006. – 480с.
- [3] Омаров Т. Б., Курчаков А. В., Демченко Б. И., Заварзин Ю. М. Астроклимат высокогорного плато Ассы-Турген. Наука КазССР. – Алма-Ата. – 1982. – 60с.
- [4] Диденко А. В., Демченко Б. И., Комаров А. А., Нифонтова М. В., Усольцева Л. А. Предварительные результаты наблюдений ГСС на 1-м телескопе с ПЗС-матрицей Известия НАН РК, серия физ.-мат. – №5. – 2013. – С.117-121.
- [5] Лукьянов А. П., Лагуткин В. Н., Мальцев А. В. и др. Регулярные оптические наблюдения низкоорбитальных спутников в Тирасполе, Кисловодске и Москве в 2012-2013 гг. Первые результаты и перспективы // Экологический Вестник научных центров ЧЭС. – т.3. – №4. – 2013. – С.101-105.
- [6] Демченко Б. И., Воропаев В. А., Комаров А. А., Молотов И. Е., Серебрянский А. В., Усольцева Л. А. Некоторые характеристики множества геостационарных спутников //настоящий сборник.

#### REFERENCES

- [1] Abalakin V. K., Aksenov E. P., Grebennikov E. D., Djomin V. G., Rjabov Ju. A. *Spravochnoe rukovodstvo po nebesnoj mehanike i astrodinamike* pod red. Duboshina G.N. M., Nauka, 1976, p.864. (in Russ).
- [2] Zharov V. E. *Sfericheskaja astronomija*. Frjazino, 2006, p.480. (in Russ).
- [3] Omarov T. B., Kurchakov A. V., Demchenko B. I., Zavarzin Ju. M. *Astroklimat vysokogornogo plato Assy-Turgen'*. Nauka KazSSR, Alma-Ata, 1982, p.60. (in Russ).
- [4] Didenko A.V., Demchenko B.I., Usoltseva L.A. *Predvaritelnye rezultaty nabludenij GSS s 1-m teleskopom i CCD cameroj*. Proceedings of National Academy of Sciences of Kazakhstan, a series of physical and mathematical. №5. 2013. P.117-121 (in Russ).
- [5] Luk'janov A. P., Lagutkin V. N., Mal'cev A. V., Kolessa A. E., Kim A. K., Ravdin S. S., Pruglo A. V., Molotov I. E., Vyhristenko A. M., Andrianov N. G. *Reguljarnye opticheskie nabljudeniya nizkoorbital'nyh sputnikov v Tiraspole, Kislovodske i Moskve v 2012-2013 gg.* Pervye rezultaty i perspektivy, Jekologicheskij Vestnik nauchnyh centrov ChJeS, t.3, №4, 2013, pp.101-105. (in Russ).
- [6] Demchenko B. I., Voropaev V. A., Komarov A. A., Serebrjanskij A.V., Usolseva L. A. *Nekotorye harakteristiki mnozhestva geostacionarnyh sputnikov.* - nastojashhij sbornik. (in Russ).

**Б.И. Демченко, А.А. Комаров, М.А. Кругов, И.В. Рева, А.В. Серебрянский, Л.А. Усольцева**

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы, Қазақстан

#### ТЯНЬ-ШАНЬ АСТРОНОМИЯЛЫҚ ОБСЕРВАТОРИЯСЫ БЕКЕТІНДЕ ГЕОТҰРАҚТЫ СЕРІКТЕРДІ БАҚЫЛАУ ЖАҒДАЙЫ

**Аннотация.** Геотұрақты серіктер бұл стандартты астрономиялық әдістерді пайдалану арқылы бақылауға болатын ЖЖС аздаған түрлері. Тянь-Шань обсерваториясында ГТС позициялық және фотометрлік бақылауларына көру өрісі 0.1 кв градус кәдімгі 1-метрлік телескоп қолданылады. Бекеттің геодезиялық және геоорталықтық координаттары, көкжиек жабықтығының диаграммасы келтірілді. Бір жыл аралығында бақылау уақытының ұзақтығы көрсетілді. Бақылаулар үшін олардың қолжетімділігі жағдайы бойынша көптеген ГТС таратуы берілді. Жылдың әртүрлі мезгілдері мен уақыт сәттерінде геотұрақты аймақтардың көріну жағдайы көрсетілді.

**Түйін сөздер:** геотұрақты серік, обсерватория, бақылау жағдайы.