

**Национальный исследовательский университет  
«МЭИ»  
Институт радиотехники и электроники  
Кафедра радиотехнических систем  
Методы оптимального приема сигналов в аппаратуре  
потребителей СРНС**

Курсовая работа  
по дисциплине  
«АППАРАТУРА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СПУТНИКОВЫХ  
РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ»

ФИО студента: Лебедев Д.Д.  
Группа: ЭР-15-16  
Вариант №: 10  
ФИО преподавателя: Корогодин И.В.  
Оценка: \_\_\_\_\_

**Москва, 2021 г.**

## Введение

Издревле человек искал способы как добраться до определенного места, искал ориентиры, плыл по звездам, пользовался позиционными методами определения своего местоположения и т.п. На сегодняшний день любой человек имея смартфон в кармане, может определить где он находится и как ему добраться до пункта назначения. Все это возможно благодаря СРНС. Они стали неотъемлемой частью жизни в различных сферах. Наиболее распространенными являются системы ГЛОНАСС (Россия), GPS (США), Galileo (Евросоюз), Beidou (Китай).

**Цель проекта** - добавление в программное обеспечение приемника функции расчета положения спутника Beidou на заданное время по данным его эфемерид.

Требования к разрабатываемому программному модулю:

- 1) требования назначения;
- 2) отсутствие утечек памяти;
- 3) малое время выполнения; 4) низкий расход памяти;
- 5) корректное выполнение при аномальных входных данных.

Для достижения цели выполняется ряд задач, соответствующих этапам проекта и контрольным мероприятиям:

- 1) обработка данных от приемника, работа со сторонними сервисами для подготовки входных и проверочных данных для разрабатываемого модуля;
- 2) моделирование модуля в Matlab/Python;
- 3) реализация программного модуля на C/C++, включая юниттестирование в Check. Этапы курсовой работы отличаются осваиваемыми инструментами.

## ЭТАП 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОРОННИХ СРЕДСТВ

### 1.1 Общие сведения.

Навигационная система «Бэйдóу» - китайская спутниковая система навигации.

В задание дан номер спутника BEIDOU- 10, а также бинарный и текстовый файл со значениями эфемерид для различных спутников, полученный от трехдиапазонной антенны Harxon HX-CSX601A, установленной на крыше корпуса Е МЭИ.

Она через 50-метровый кабель, сплиттер, bias-tee и усилитель подключена к трем навигационным приемникам:

- Javad Lexon LGDD,
- SwiftNavigation Piksi Multi,
- Clonicus разработки ЛНС МЭИ.

Эти приемники осуществляют первичную обработку сигналов Beidou B1I, выдавая по интерфейсам соответствующие потоки данных - наблюдения псевдодальностей и эфемериды спутников. Данные от приемника Clonicus, записанные 2 марта 2021 года.

C10	37948	IGSO-5	BDS-2	02.12.11	3378	Используется по ЦН
-----	-------	--------	-------	----------	------	--------------------

**Рисунок 1 – состояние 10-го спутника системы BEIDOU с  
«Информационноаналитического центра координатно-временного и  
навигационного обеспечения»**

Из рисунка 1 можно выяснить, что спутник используется по цели назначению, его номер 37948, тип космического аппарата, тип системы и дату запуска.

## 1.2 Определение формы орбиты и положения спутника на ней с помощью сервиса Celestrak.

Для выполнения этого пункта перейдем на сайт Celestrak (<https://celestrak.com>). Настроим параметры и выберем необходимый спутник, после чего будет построена Земля и орбита спутника вокруг нее (рисунок 2).

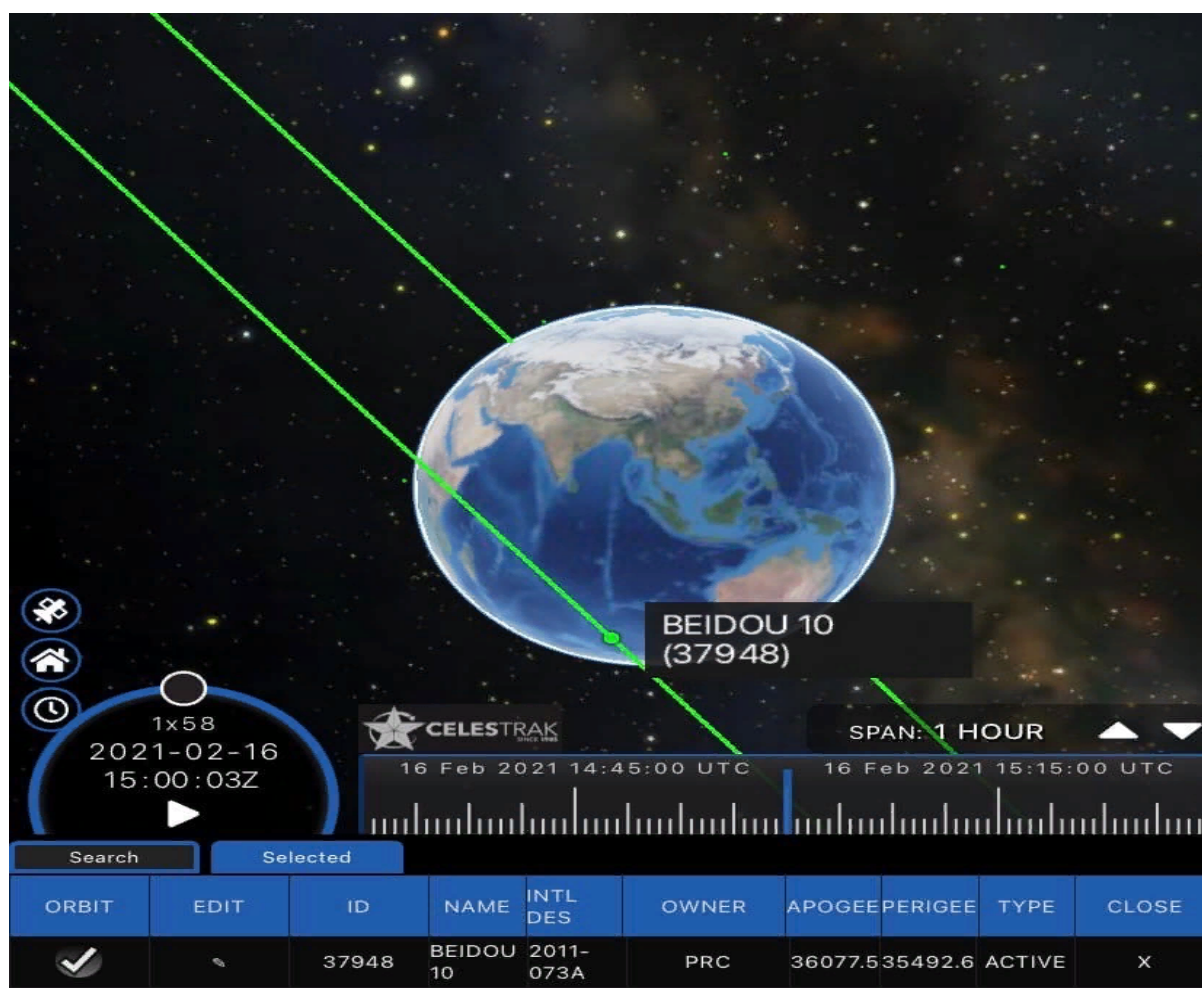


Рисунок 2 – Результат моделирования на Celestrak

Значения совпадают, значит это действительно нужный нам спутник, проведем моделирование на момент времени 15:00, 2 марта 2021, так как на данном сервисе отсчет времени происходит по UTC(+0).

### 1.3 Расчет графика угла места собственного спутника от времени по данным Trimble GNSS Planning Online.

Зададим предварительные параметры для моделирования GNSS Planning Online, координаты установим в соответствии с расположением антенны – и они будут соответствовать значению корпуса Е, также начальное время будет соответствовать 15:00, временной пояс будет равен UTC (+0) на всем этапе моделирования в сервисе GNSS Planning Online, высота выбирается примерно, с учетом разных критериев и будет равна 150м.

The image shows two panels from the Trimble GNSS Planning Online interface. The left panel, titled 'Выбор Спутника' (Satellite Selection), shows a table of satellite systems and their status. The right panel, titled 'Настройки' (Settings), shows various parameters for the simulation, including coordinates, altitude, date, time, and a map of Russia.

Выбор Спутника		
Изменить выбор		
Спутники: 1/131		
Система:	Выбранный	Здоровый
GPS	<input checked="" type="checkbox"/>	32
ГЛОНАСС	<input checked="" type="checkbox"/>	23
Галилей	<input checked="" type="checkbox"/>	20
BeiDou	<input checked="" type="checkbox"/>	49
QZSS	<input checked="" type="checkbox"/>	4

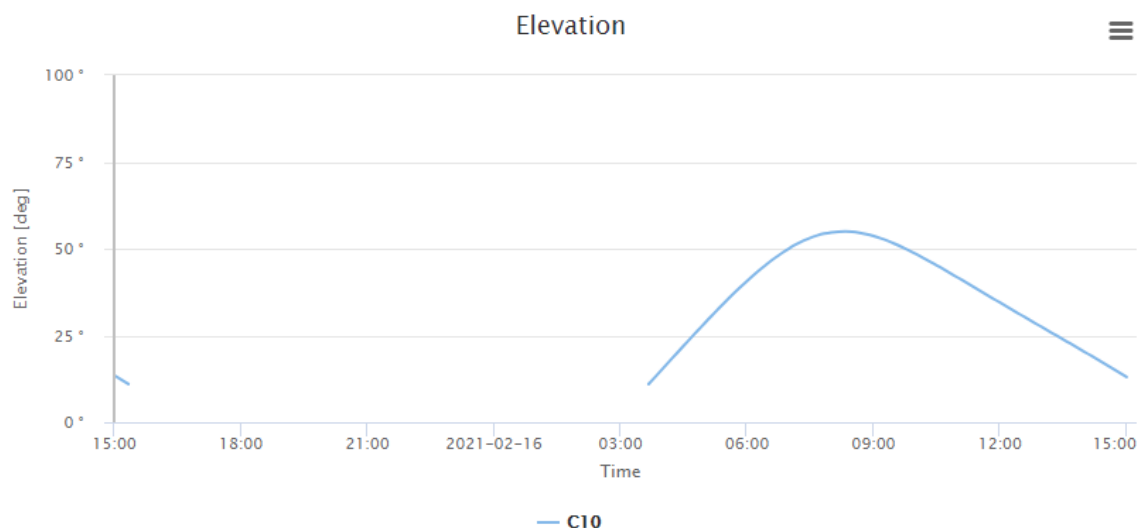
Мои Настройки	
Время альманаха:	2021-02-15
Часовой пояс:	UTC +00:00
Видимый период:	2021-02-15 15:00 - 2021-02-16 15:00
Широта:	N 55° 45' 24.1764"
Долгота:	E 37° 42' 11.271"
Высота:	150 м
Отсечка высоты:	10 °

Настройки	
Широта:	N 55° 45' 24.1764"
Долгота:	E 37° 42' 11.271"
Высота:	150 м
Отсечка высоты:	10 °
День:	16.02.2021
Время начала:	15:00 UTC +00:00
Период [часов]:	24
Часовой пояс:	(UTC) координированное универсальное время

**Рисунок 3 – Моделирование с помощью сервиса Trimble GNSS Planning**

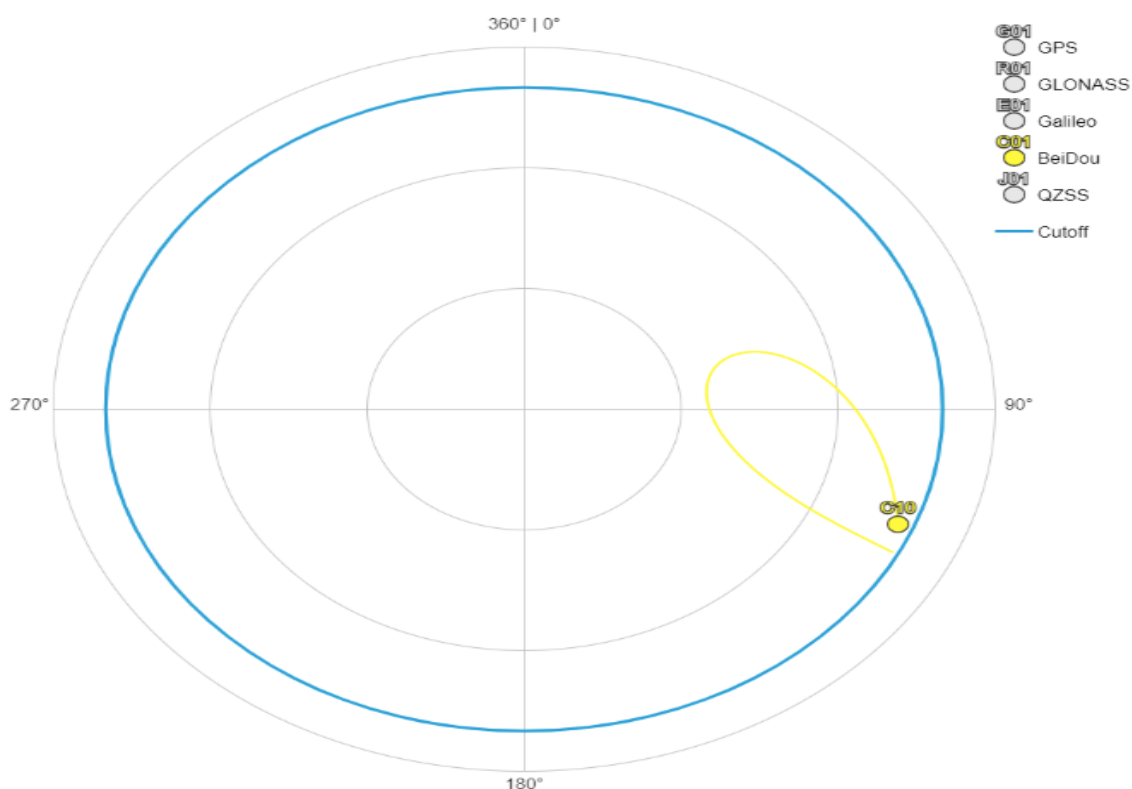
В настройках ограничим выходные данные, дабы не загромождать графики и выбираем 10 спутник.



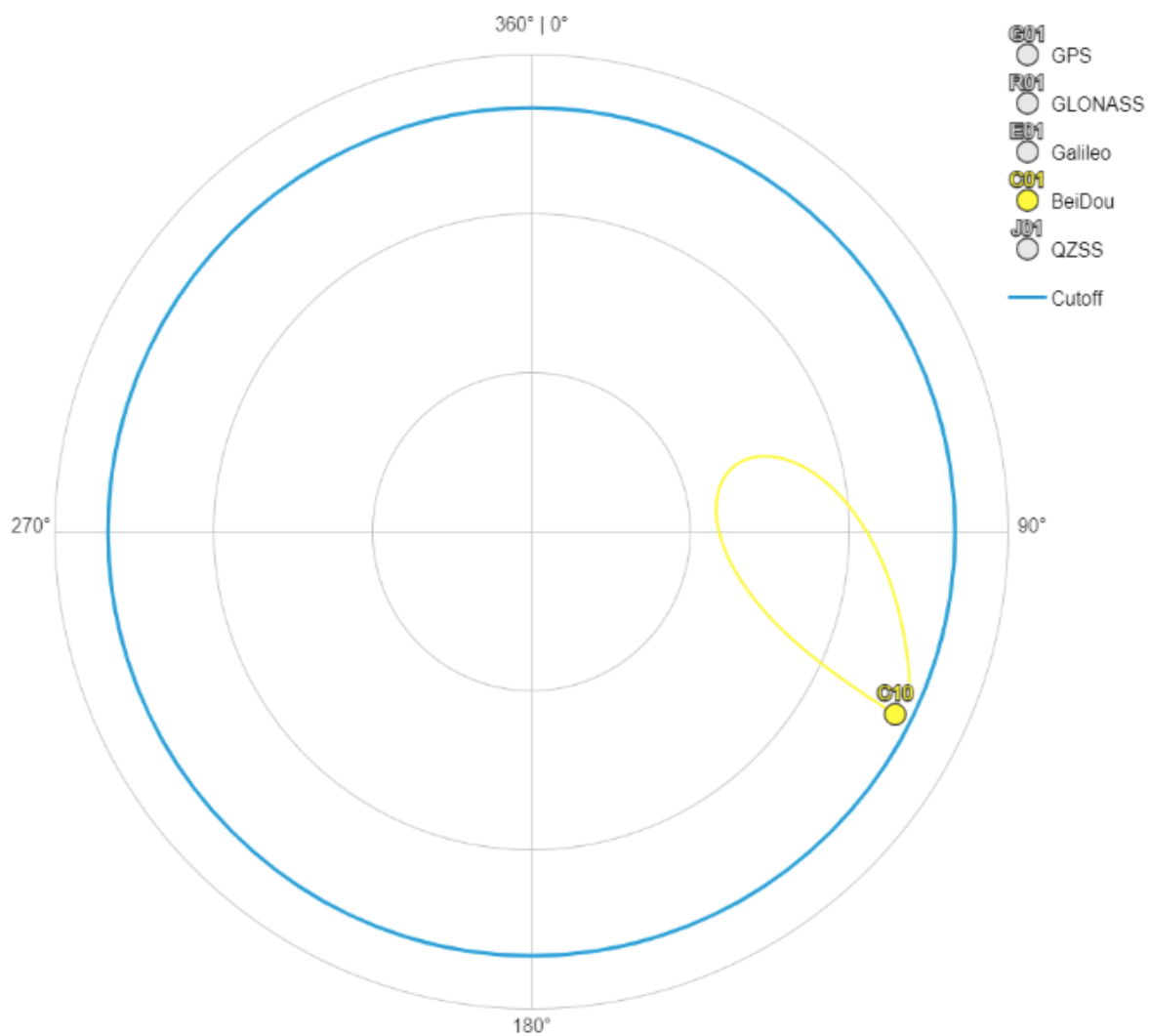
**Рисунок 4 – График угла места спутника Beidou C10**

По графику угла места можно сделать вывод, что спутник наблюдается с 3:40 до 15:10 по UTC(+0).

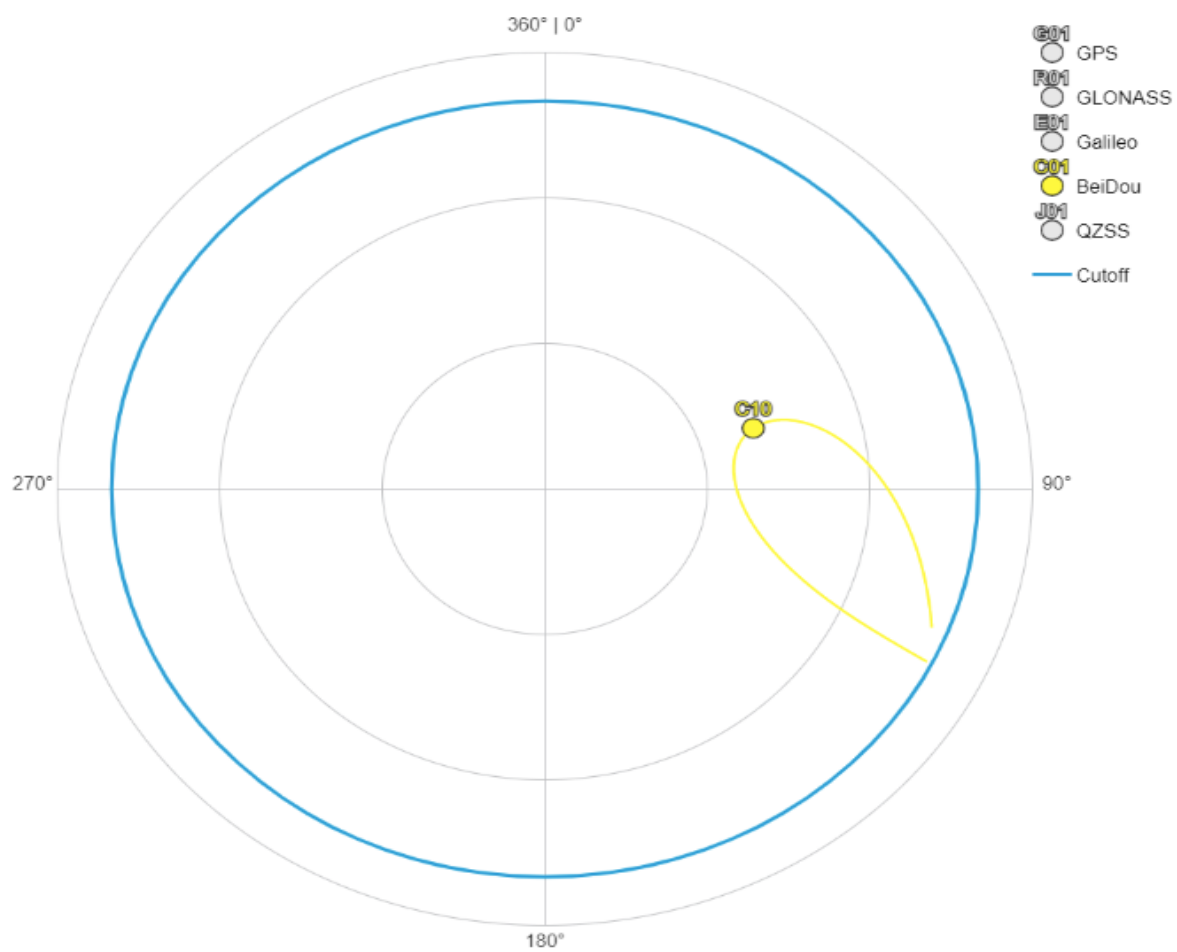
Далее переходим во вкладку Sky Plot и пользуемся возможностью пронаблюдать, траекторию спутника на небосводе в разное характерное время.



**Рисунок 5 – SkyView спутника Beidou C10 в 15:00**

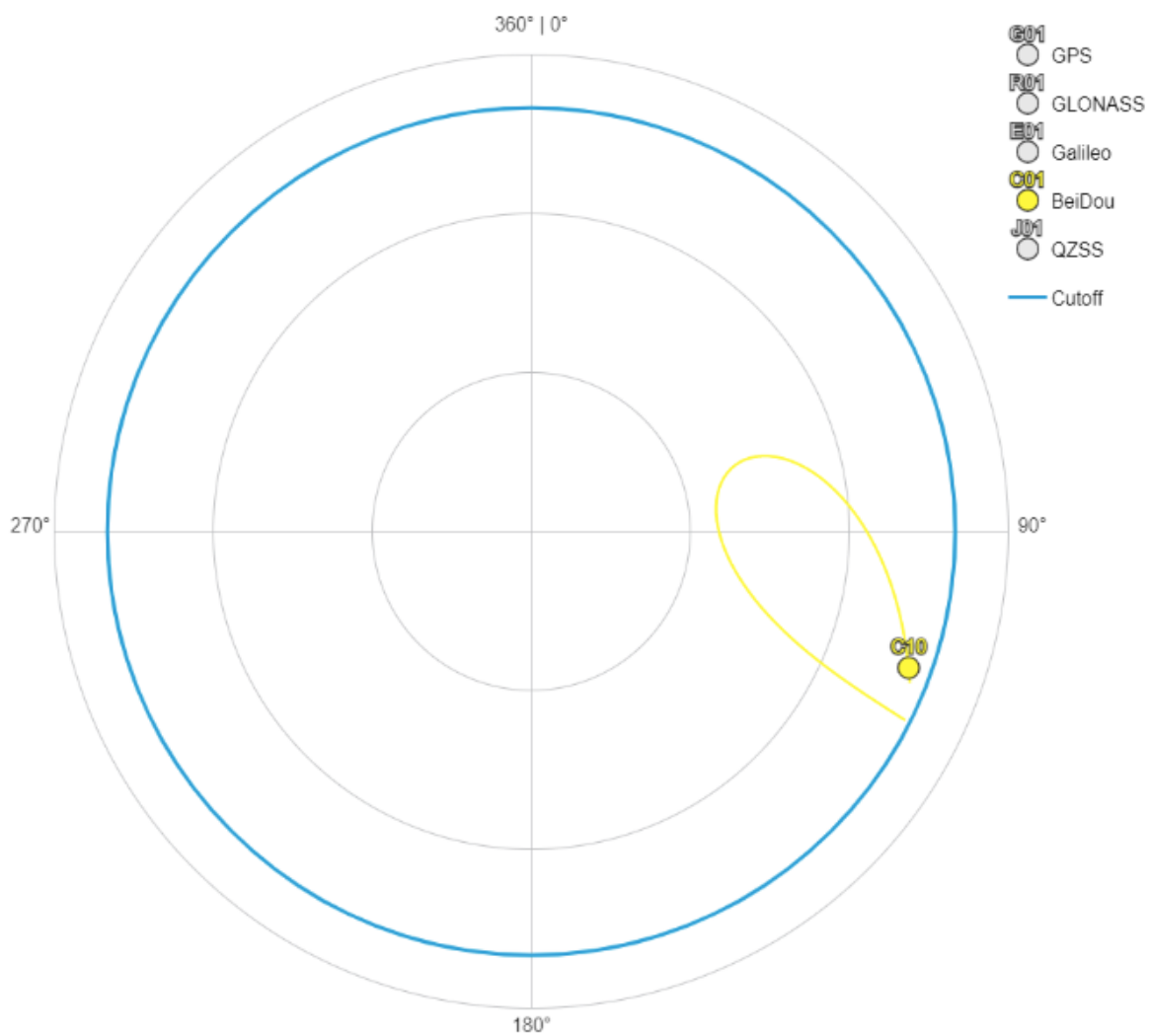


**Рисунок 6 – SkyView спутника Beidou C10 в 3:40**



**Рисунок 7 – SkyView спутника BeiDou C10 в 10:00**





**Рисунок 8 – SkyView спутника Beidou C10 в 15:10**

По полученным данным подтверждаем, что спутник наблюдается с 3:40 до 15:10 по UTC(+0), в остальное время он находится вне зоны видимости.

## 1.4 Формирование списка и описание параметров, входящих в состав эфемерид

Таблица 1 – Значения эфемерид спутника С10

Параметр	Обозначение параметра	Значение
Satnum	PRN	10
toe (мс)	$t_{oe}$	219600000.000
Crs (рад)	-	-1.7112500000000000e+02
Dn (рад/мс)	$\Delta n$	2.01794115271825003e-12
M0 (рад)	$M_0$	-1.24602686448891453e+00
Cuc (рад)	-	-5.77326864004135132e-06
e	e	6.87512021977454424e-03
Cus (рад)	-	-3.77185642719268799e-08
$\sqrt{a} \left( m^{\frac{1}{2}} \right)$	$\sqrt{A}$	6.49323067474365234e+03
Cic (рад)	-	-1.38301402330398560e-07
Omega0 (рад)	$\Omega_0$	2.63308102577652559e+00
Cis (рад)	-	-1.04308128356933594e-07
i0 (рад)	$i_0$	8.93007494398020185e-01
Crc (рад)	-	2.18765625000000000e+02
Omega (рад)	$\omega$	-2.55042188550297588e+00
OmegaDot (рад/мс)	$\dot{\Omega}$	-2.84118977552985422e-12
iDot (рад/сек)	$\dot{i}_{DOT}$	-5.40379651838676155e-13
Tgd (мс)	$T_{gd}$	2.0400000000000000e+05
Toc (мс)	$T_{oc}$	2.1960000000000000e+08

af2 (mc/mc^2 )	-	0.0000000000000000e+00
af1 (mc/mc)	-	6.05826500077455421e-12
af0 (mc)	-	-8.54813233017921448e-02
URA	-	0
IODE	-	257
IODC	-	0
codeL2	-	0
L2P	-	0
WN	-	789