

**VI ежегодная научная конференция школьников
Иркутской области «Человек и космос»**

Искусственные спутники Земли (ИСЗ)

Автор:	Малханов Валерий Вячеславович 10 «б» класс МБОУ «Осинская СОШ №1»
Научный руководитель:	Едемский Илья Константинович, ИСЗФ СО РАН
Руководитель:	Манданов Алексей Исаакович Учитель физики МБОУ «Осинская СОШ №1»

г. Иркутск, 2016 г.

Содержание:

Введение	3
Глава 1. Типы ИСЗ	3
Глава 2. Типы орбит ИСЗ	6
2.1 Классификация орбит ИСЗ по наклонению	6
2.2 Классификация орбит ИСЗ по величине большой полуоси	8
2.3. Орбиты захоронения	9
Глава 3. Видимые ИСЗ	10
Глава 4. Наблюдение движения Международной Космической Станции	12
Глава 5. Наблюдения за спутниками «IRIDIUM»	15
Глава 6. Заключение	16
Список использованных источников	16

Введение

Искусственный спутник Земли (ИСЗ) — космический летательный аппарат, вращающийся вокруг Земли по геоцентрической орбите. Для движения по орбите вокруг Земли аппарат должен иметь начальную скорость, равную или большую первой космической скорости. Полёты ИСЗ выполняются на высотах до нескольких сотен тысяч километров. Нижнюю границу высоты полёта ИСЗ обуславливает необходимость избегания процесса быстрого торможения в атмосфере. Период обращения спутника по орбите в зависимости от средней высоты полёта может составлять от полутора часов до нескольких лет. Особое значение имеют спутники на геостационарной орбите, период обращения которых строго равен суткам и поэтому для наземного наблюдателя они неподвижно «висят» на небосклоне, что позволяет избавиться от поворотных устройств в антеннах.^[1]

Глава 1. Типы ИСЗ.

Различают следующие типы спутников:

- **Астрономические спутники** – это спутники, предназначенные для исследования планет, галактик и других космических объектов.^[1] Например: «Космос-215», «ОАО-2», «Хаббл».

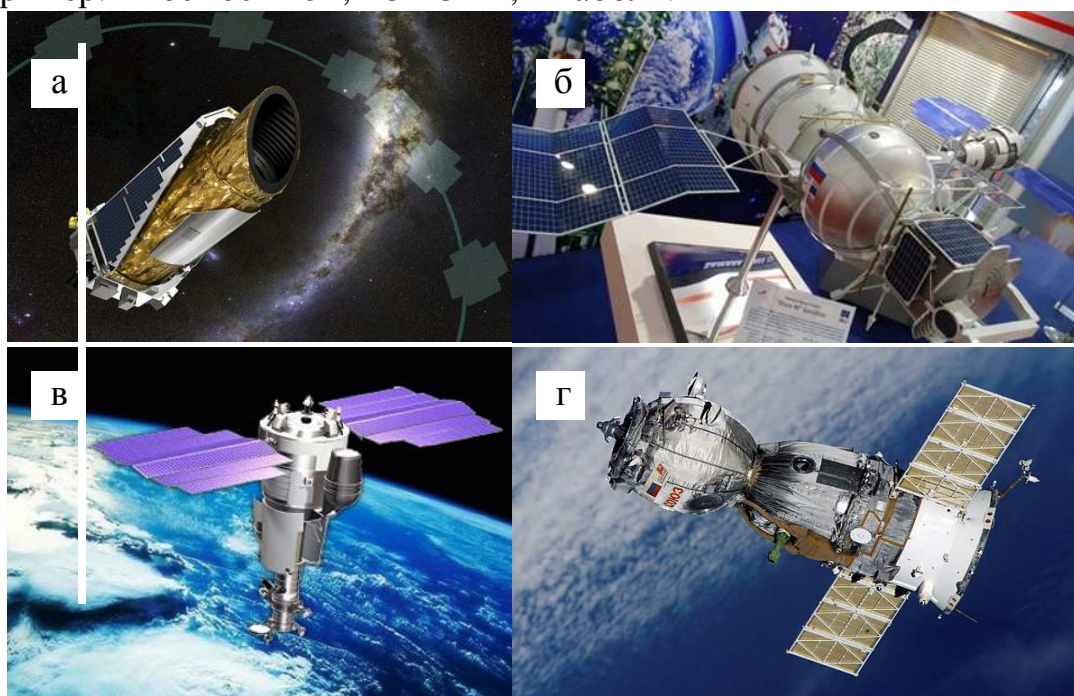


Рис. 1. (а) Астрономический спутник «Kelper»; (б) Биоспутник «Бион-1М»; (в) Спутник ДЗЗ «Обзор-Р»; (г) Пилотируемый космический корабль «Союз-ТМА».

- **Биоспутники** — это спутники, предназначенные для проведения научных экспериментов над живыми организмами в условиях космоса. ^[1] Например: «АИСТ», «BeeSat-2», «DOVE-2», «G.O.D. Sat».

- **Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ)** — наблюдение поверхности Земли авиационными и космическими средствами, оснащёнными различными видами съёмочной аппаратуры. ^[1] Например: «Космос-1076», «БелКА», «QuickBird», «IKONOS».

- **Космические корабли** — пилотируемые космические аппараты, предназначенные для выполнения полётов людей в космическом пространстве и, в частности, доставки людей в космос безопасного их возвращения на Землю (или иную планету/луну/космическую станцию). ^[1] Например: «Восток», «Восход», «Джемини», «Меркурий», «Шугуан».

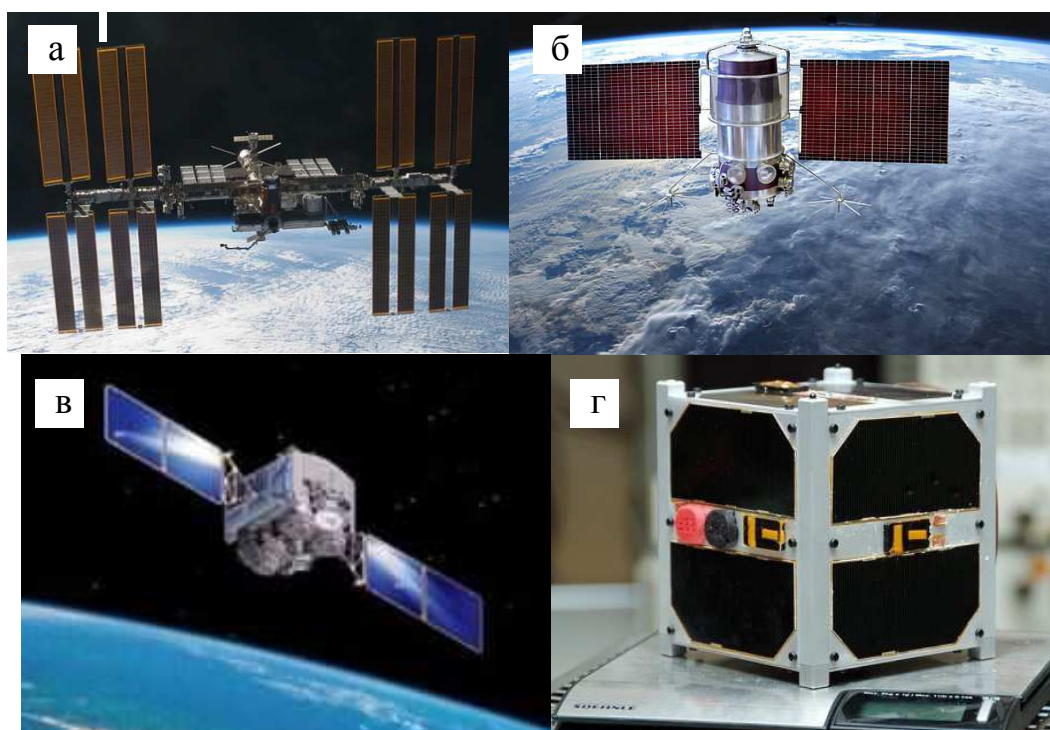


Рис. 2. (а) «Международная Космическая Станция»;
(б) Метеоспутник «Метеор-2»;
(в) Разведывательный спутник «BASIC»; (г) Наноспутник «ESTCube-1».

- **Космические станции** — космические корабли, предназначенные для длительного пребывания людей на околопланетной или, реже, околозвездной орбите с целью проведения научных исследований в условиях космического пространства, разведки, наблюдений за поверхностью и атмосферой планеты, астрономических наблюдений и т.п. ^[1] Например: «Мир», «Тяньгун», «SkvLab», «Салют».

- **Метеорологические спутники** — это спутники, предназначенные для передачи данных в целях предсказания погоды, а также

для наблюдения климата Земли. ^[1] Например: «Фэньюнь», «Meteostat», «Тирос», «Нимбус», «Метеор».

- **Малые спутники** — спутники малого веса (менее 1 или 0.5 тонн) и размера, которые применяются для исследования систем связи, калибровки РЛС и оптических систем контроля космического пространства (в том числе пассивные КА), Дистанционного Зондирования Земли (ДЗЗ), исследования тросовых систем и в образовательных целях. ^[1] Например: «Space Technology

- **Разведывательные спутники** - искусственный спутник Земли, предназначенный для наблюдения Земли (телевизионная съёмка, фотосъёмка) в целях обеспечения разведывательной деятельности или спутник связи, применяющийся для разведки. ^[1] Например: «Зенит»,



а



б

Рис. 3. (а) Навигационный спутник «Navstar- GPS»;

(б) Спутник связи «Молний».

- **Навигационные спутники** - комплексная электронно-техническая система, состоящая из совокупности наземного и космического оборудования, предназначенная для определения местоположения (географических координат и высоты) и точного времени, а также параметров движения (скорости и направления движения и т. д.) для наземных, водных и воздушных объектов. ^[1] Например: «СРНС ГЛОНАСС»,

- **Спутники связи** - искусственный спутник Земли, специализированный для ретрансляции радиосигнала между точками на поверхности земли, не имеющими прямой видимости. ^[1] Например: «Молния» (Россия), «Интелсат» (США).

- **Экспериментальные спутники** – ИСЗ, запущенный с целью подготовки полета человека в космическое пространство, испытания и отработки конструкции и систем космического корабля. ^[1]

Глава 2. Типы орбит.

Рассмотрим типы орбит ИСЗ. Все ИСЗ движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Земля. Следовательно, все типы орбит - эллиптические. Основное деление орбит производят по величине наклонения " i " орбиты и по значению большой полуоси " a ". Кроме того, можно выделить деление по величине эксцентриситета " e " - малоэллиптические и высокоэллиптические орбиты. Наглядное представление об изменении вида орбиты при различных значениях эксцентриситета дано на *рис. 4*.^{[6][3]}

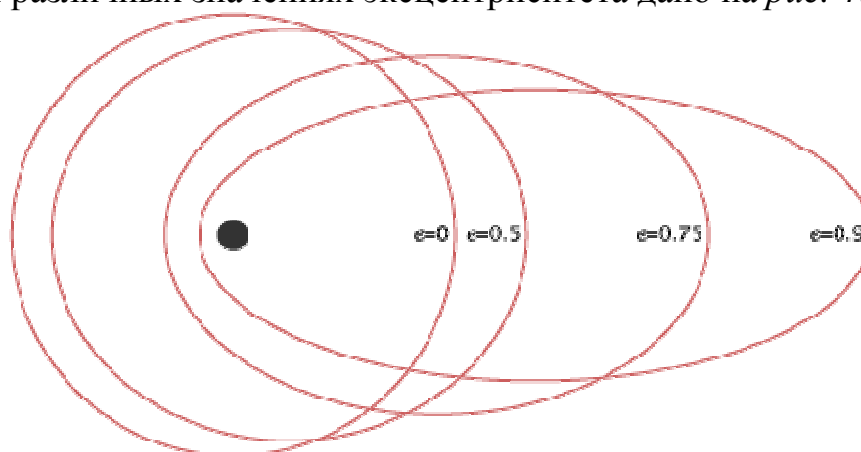


Рис. 4. Изменение вида эллиптической орбиты при разных значениях эксцентриситета " e ".

2.1 Классификация орбит ИСЗ по наклонению

В общем случае наклонение орбиты ИСЗ лежит в диапазоне $0^\circ < i < 90^\circ$ (см. *рис. 5*). В зависимости от значения наклонения и высоты ИСЗ над поверхностью Земли, положение областей его видимости имеют различные границы широты, а в зависимости от высоты над поверхностью - и различный радиус этих областей. Чем больше наклонение, тем на более северных широтах может быть виден спутник, а чем он выше - тем шире область видимости. Таким образом, наклонение " i " и большая полуось " a " определяют перемещение по поверхности Земли полосы видимости ИСЗ и ее ширину.^[6]

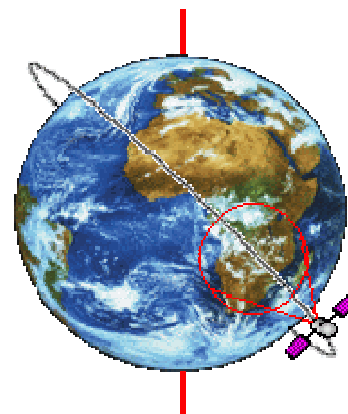


Рис. 5. Общий случай орбиты спутника с наклонением $0^\circ < i < 90^\circ$.

Экваториальные орбиты

Экваториальная орбита - крайний случай орбиты, когда наклонение " i " = 0° (см. *рис. 6, а*). В этом случае прецессия и поворот орбиты будут максимальны - до 10° /сутки и до 20° /сутки соответственно.

Ширина полосы видимости спутника, которая расположена вдоль экватора, определяется его высотой над поверхностью Земли. Орбиты с малым наклонением " i " часто называют "околоэкваториальными".^[6]

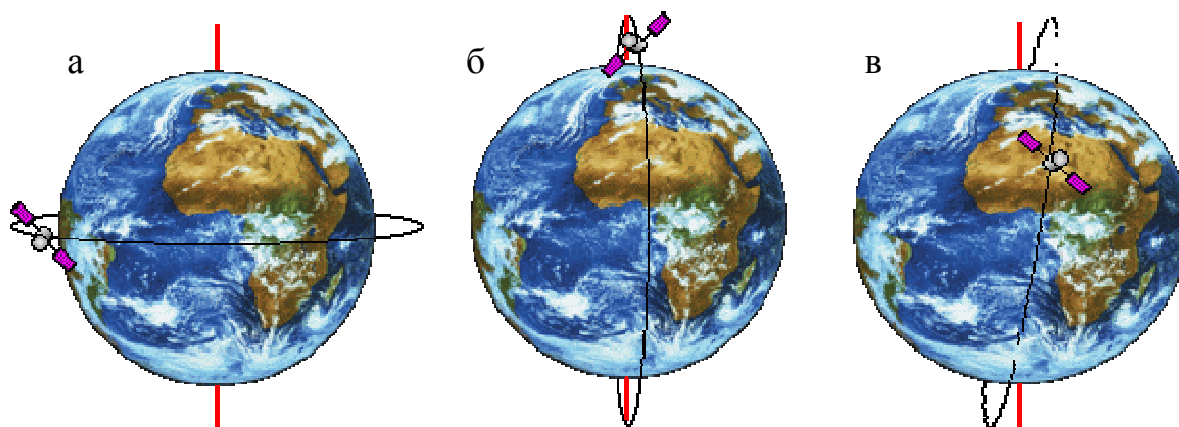


Рис. 6. (а) Экваториальная орбита; (б) Полярная орбита; (в) Солнечно-синхронная орбита.

Полярные орбиты

Полярная орбита - второй крайний случай орбиты, когда наклонение " i " = 90° (см. рис. 6, б). В этом случае прецессия орбиты отсутствует, а поворот орбиты происходит в сторону, обратную относительно вращения ИСЗ, и не превышает 5° /сутки. Подобный полярный ИСЗ последовательно проходит над всеми участками поверхности Земли. Ширина полосы видимости спутника определяется его высотой над поверхностью Земли, но спутник рано или поздно можно увидеть из любой точки. Орбиты с наклонением " i ", близким к 90° , называют "приполярными".^[6]

Солнечно-синхронные орбиты

Солнечно-синхронная орбита (ССО) - особый вид орбиты, часто используемый спутникам, которые производят съёмку поверхности Земли. Представляет собой орбиту с такими параметрами, что спутник проходит над любой точкой земной поверхности приблизительно в одно и то же местное солнечное время. Движение такого спутника синхронизировано с движением линии терминатора по поверхности Земли - за счёт этого спутник может лететь всегда над границей освещённой и неосвещённой солнцем территории, или всегда в освещённой области, или наоборот - всегда в ночной, причём условия освещённости при пролёте над одной и той же точкой Земли всегда одинаковые. Для достижения этого эффекта орбита должна прецессировать в сторону, обратную вращения Земли (т.е. на восток) на 360° в год, чтобы компенсировать вращение Земли вокруг Солнца. Такие условия соблюдаются только для определённого диапазона высот орбит и

наклонений - как правило, это высоты 600-800 км и наклонение " i " должно быть порядка 98° , т.е. ИСЗ на солнечно-синхронных орбитах имеют обратное движение (см. *рис. 6, в*). При увеличении высоты полёта ИСЗ наклонение должно увеличиваться, из-за чего он не будет пролетать над полярными районами. Как правило, солнечно-синхронные орбиты близки к круговым, но могут быть и заметно эллиптическими. ^{[6][5]}

2.2 Классификация орбит ИСЗ по величине большой полуоси

Вторая классификация - по величине большой полуоси, и точнее, по высоте над поверхностью Земли. ^[6]

Низкоорбитальные ИСЗ (LEO)

Низкоорбитальными ИСЗ (НОС (рус.), *рис. 7, а*) обычно считаются спутники с высотами от 160 км до 2000 км над поверхностью Земли. Такие орбиты (и спутники) в англоязычной литературе называют LEO (от англ. "Low Earth Orbit"). Орбиты LEO подвержены максимальным возмущениям со стороны гравитационного поля Земли и её верхней атмосферы. Угловая скорость спутников LEO максимальна - от $0,2^\circ/\text{с}$ до $2,8^\circ/\text{с}$, периоды обращения от 87,6 минут до 127 минут. ^[6]

Среднеорбитальные ИСЗ(МEO)

Среднеорбитальными ИСЗ (СОС (рус.), или "МEO" - от англ. "Medium Earth Orbit") обычно считаются спутники с высотами от 2000 км до 35786 км над поверхностью Земли (*рис. 7, б*). Нижний предел определяется границей LEO, а верхний - орбитой геостационарных спутников. Эту зону в основном "заселяют" спутники навигации (ИСЗ "NAVSTAR" системы "GPS" летают на высоте 20200 км, ИСЗ системы "ГЛОНАСС" - на высоте 19100 км) и связи, которые покрывают полюса Земли. Период обращения - от 127 минут до 24 часов. Угловая скорость - единицы и доли угловой минуты в секунду. ^[6]

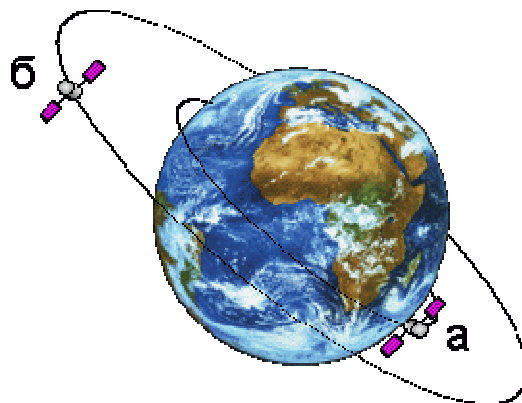


Рис. 7. Низкоорбитальные ИСЗ (а) и среднеорбитальные ИСЗ (б).

Геостационарные и геосинхронные орбиты ИСЗ

Геостационарные ИСЗ (ГСС (рус.), или "GSO" - от англ. "Geosynchronous Orbit") считаются спутниками, имеющими период обращения вокруг Земли, равный звёздным (сидерическим) суткам - $23^h 56^m 4,09^s$. Если наклонение " i " орбиты нулевое, то такие орбиты

называют геостационарными (см. *рис. 8, а*). Геостационарные ИСЗ летают на высоте 35786 км над поверхностью Земли. Т.к. их период обращения совпадает с периодом обращения Земли вокруг своей оси, то такие ИСЗ "висят" в небе на одном месте. Если наклонение "i" не равно нулю, то такие ИСЗ называются геосинхронными (см. *рис. 8, б*). В реальности многие геостационарные спутники имеют небольшое наклонение и подвержены возмущениям со стороны Луны и Солнца, в связи с чем они описывают на небе фигуры в виде "восьмёрки", вытянутых в направлении север-юг.^{[6][2]}

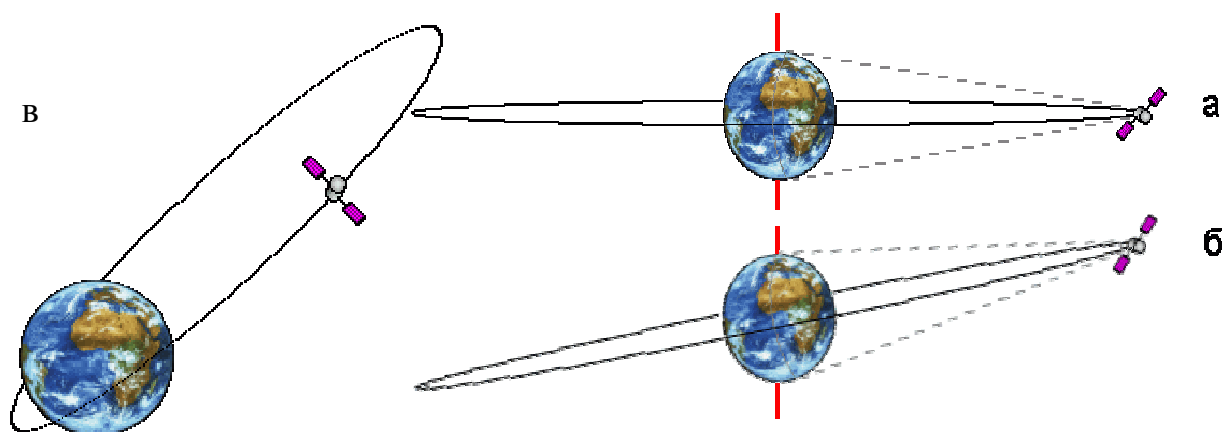


Рис. 8. (а) Геостационарная орбита; (б) Геосинхронная орбита; (в) Высокоэллиптическая орбита.

Высокоорбитальные ИСЗ (НАО)

Высокоорбитальными ИСЗ (ВОС (рус.), или "НАО" - от англ. "High Earth Orbit") считаются спутники, достигающие высот более 35786 км над поверхностью Земли, т.е. залетающие выше геостационарных спутников (см. *рис. 8, в*). Орбиты могут иметь значительный эксцентриситет (например, спутники серии "Меридиан", "Молния") - в этом случае они называются высокоэллиптическими (ВЭС), так и быть почти круговыми (пример - ИСЗ "Vela" (те самые ИСЗ, на которых в конце 60-х гг. XX в. были открыты гамма-всплески)).^{[6][4]}

2.3 Орбиты захоронения

Орбиты захоронения - отдельный класс орбит ИСЗ, специально предназначенный для увода на них спутников, вышедших из строя для уменьшения вероятности столкновения с работающими спутниками и для освобождения места новым ИСЗ. Для Геостационарного спутника (ГСС) орбитой захоронения считается орбита, на 200 км выше самой орбиты ГСС (см. *рис. 9*).^[6]



Рис. 9. Орбита захоронения ГСС.

Глава 3. Видимые спутники

Некоторые спутники можно увидеть в небе. Они видны на небе по той же причине, по которой мы можем наблюдать планеты или кометы, — потому что они отражают солнечные лучи. Более того, находясь очень высоко над Землей, они отражают солнечные лучи даже тогда, когда солнечный свет не достигает земной поверхности. Видимость искусственного спутника зависит от нескольких факторов: от положения наблюдателя до положения спутника, от времени суток до метеорологических условий. Сказывается также земная тень, которая иногда может вызывать затмение орбитального объекта. Для успешного наблюдения все эти факторы необходимо принимать во внимание. Рассмотрим некоторые из них.^[7]

- Российские корабли «Союз» (или их грузовая версия «Прогресс») находятся среди искусственных объектов, потенциально доступных для наблюдения с Земли (см. рис. 10, а). «Союз» и «Прогресс» при благоприятных условиях освещения достигают звездной величины 1, а в обычных условиях превышают величину 3. Таким образом, их видно невооруженным глазом, правда, лишь как светящиеся точки. Чтобы рассмотреть какие-нибудь детали, вы можете сначала уточнить условия видимости «Союзов» в дни непосредственно после запуска, а затем воспользоваться вашим телескопом.^[7]

- «IRIDIUM» — единственные искусственные спутники, которые можно наблюдать и днем (см. рис. 10, б). Это не очень просто, однако если небо свободно от облаков и окрашено в ярко-голубой цвет, иногда можно увидеть вспышки величиной минимум -6. Чтобы найти их в дневном небе, надо точно знать точки, в которых эти вспышки должны появиться. Небесное сверкание. Характерное сверкание «IRIDIUM» легко объяснимо: для выполнения поставленной технической задачи эти спутники располагаются в космосе таким образом, что чаще всего одна из антенн отражает солнечные лучи прямо на Землю, и это вызывает яркую вспышку. Такие вспышки можно рассчитать заранее с абсолютной точностью, и поэтому их нетрудно наблюдать с Земли. Важно лишь знать точные координаты точки наблюдения: достаточно разницы в несколько километров, чтобы яркость изменилась на несколько звездных величин. Наиболее яркие вспышки достигают значения до -8 и доступны для наблюдения с площади в несколько квадратных километров. Переход от яркости +6 (на пределе видимости невооруженным глазом) до -8 означает, что объект увеличивает свою яркость в 400 000 раз.^[7]

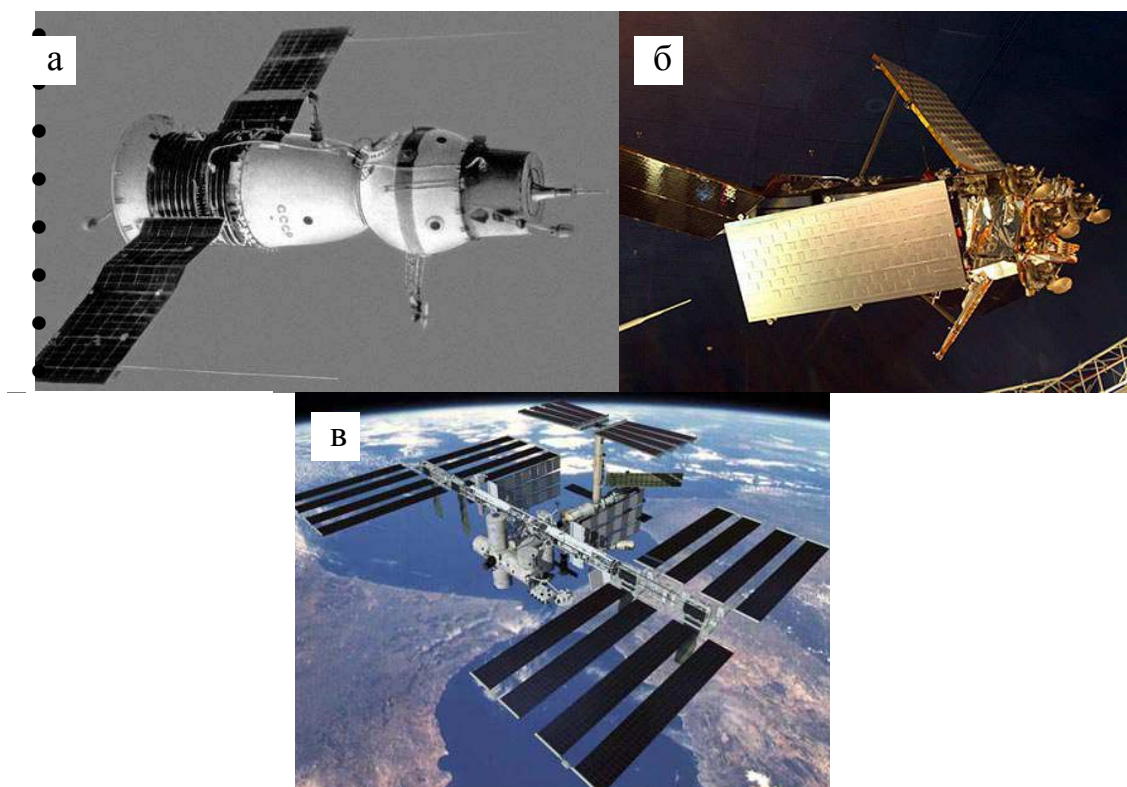


Рис. 10. (а) ИСЗ «Союз»; (б) Спутник «IRIDIUM»;
(в) «МКС».

- Небесный объект, который вызывает наибольшую радость и который легче всего доступен для наблюдения в телескоп — это Международная космическая станция (МКС, или ISS — *International Space Station*) (см. рис. 10, в). Это постоянно действующая в космосе база, обеспечивающая долговременное проживание космонавтов на орбите. Начиная с определенного вечера, она становится заметной на небе. С каждым днем, благодаря своей орбите и высоте над Землей, она будет появляться все раньше, опережая свое положение в предыдущие сутки. Потом настанет день, когда условия видимости окажутся идеальными: это произойдет, когда космическая станция займет самое высокое положение относительно горизонта. В последующие дни она будет появляться все раньше, пока не начнет теряться в лучах рассвета, и в очередные две недели станет недоступной для наблюдения. В дальнейшем МКС в течение недели снова будет появляться по утрам, а потом опять исчезнет, на сей раз из-за того, что окажется в тени Земли. Затем она снова появится в вечернем небе. Цикл МКС составляет четыре недели и постоянно повторяется.^[8]

Глава 4. Наблюдение движения Международной Космической Станции

Чтобы наблюдать за МКС главное знать, куда и в какое время смотреть. Яркость спутника такова, что ее вряд ли можно перепутать со звездой; в отличие от планет, станция быстро перемещается на фоне звезд. Прежде всего, нужно узнать, когда можно будет наблюдать МКС.

Сначала необходимо зайти на сайт www.heavens-above.com. Как видим, здесь обращает на себя внимание картинка с изображением Земли и пролетающей над ней космической станцией. Это изображение показывает, где сейчас пролетает МКС — в реальном времени.

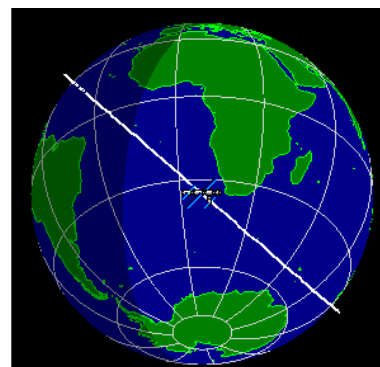


Рис. 11. Земля с пролетающей над ней «МКС»

Здесь правее рекламы необходимо нажать на Местоположение. Моего села в списке нет, поэтому я ищу его на карте. Я проживаю в Иркутской области, Осинском районе, селе Оса (см. рис. 12).

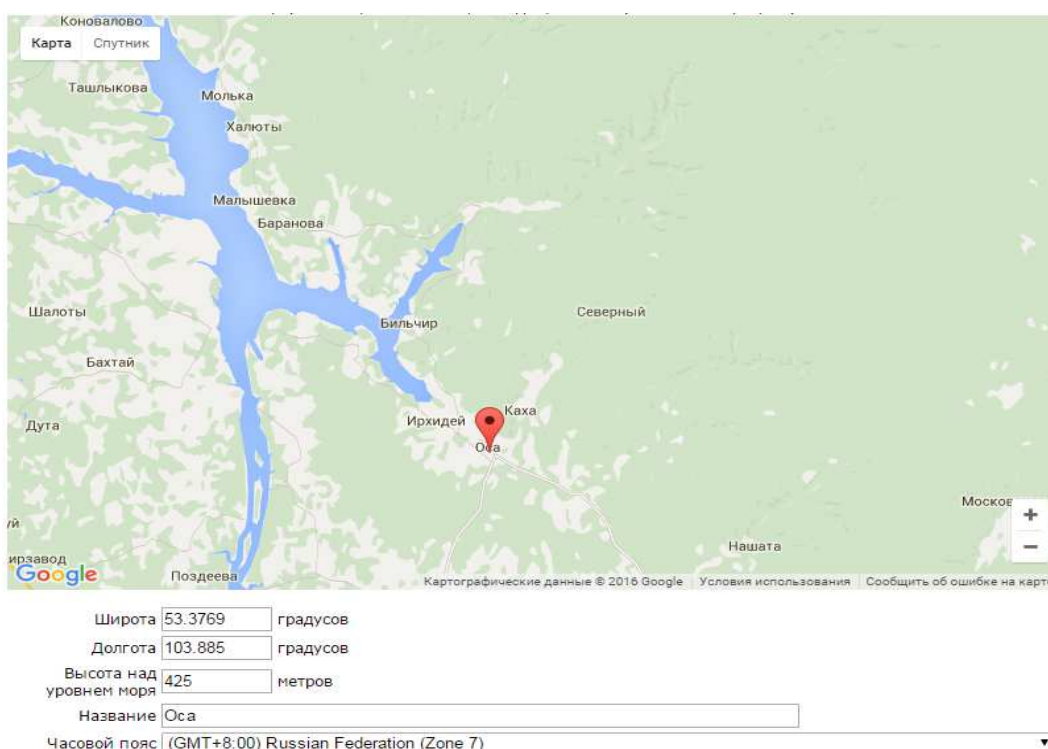


Рис. 12. Карта Осинского района, села Осы

Теперь в разделе спутники на главной странице нажимаю на МКС. Я попадаю на страницу с таблицей, в которой указаны все пролеты МКС, которые можно наблюдать из Осы в ближайшую неделю. Выглядит таблица вот так:

Таблица 1. Расписания полетов МКС

Дата	Яркость	Начало			Наибольшая высота			Конец			Видимость пролёта
	(зв. вел.)	Время	Высота	Азимут	Время	Высота	Азимут	Время	Высота	Азимут	
<u>мар 13</u>	-2,4	5:52:46	23°	ЮЗ	5:54:21	39°	ЮЮВ	5:57:27	10°	В	Видим
<u>мар 14</u>	-1,8	5:02:37	29°	ЮВ	5:02:37	29°	ЮВ	5:05:13	10°	В	Видим
<u>мар 14</u>	-3,0	6:35:16	10°	ЗЮЗ	6:38:30	62°	Ю	6:41:46	10°	В	Видим
<u>мар 15</u>	-0,3	4:12:25	12°	ВЮВ	4:12:25	12°	ВЮВ	4:12:52	10°	В	Видим
<u>мар 15</u>	-3,0	5:45:04	31°	ЮЗ	5:46:21	54°	ЮЮВ	5:49:36	10°	В	Видим

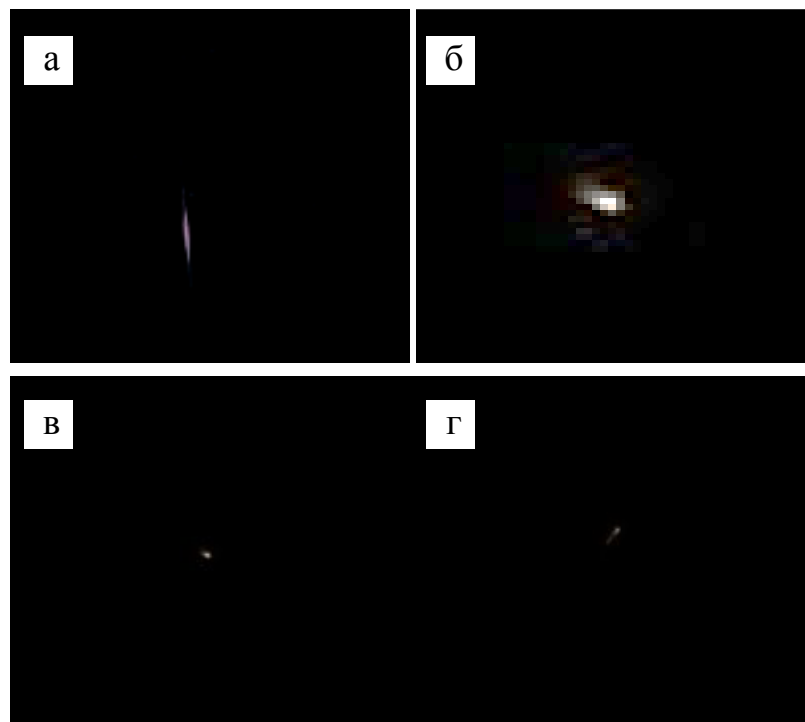
Здесь можно увидеть дату пролета. Затем яркость (зв. вел.). Это характеризует яркость МКС. Чем меньше значение звёздной величины, тем ярче данный объект. Понятие звёздной величины используется при измерении потока энергии в видимом диапазоне. Далее показано время и высота подъема ИСЗ над горизонтом (в градусах). Ну и азимут, где ЮЗ – юго-запад, ЮЮВ – южно-юго-восток, т. е. между югом и юго-востоком, и т. д. Азимуты отсчитываются в сторону суточного вращения небесной сферы, то есть к западу от точки юга.

Чтобы подробнее рассмотреть траекторию пролета МКС, можно нажать на дату, которая является ссылкой. После этого открывается карта звездного неба.

Результаты наблюдений представлены в таблице:

Таблица 2. Результаты наблюдения за МКС

Дата	Начало	Конец	Видимость пролета
13 марта	5:52	5:56	Видим
14 марта	-	-	Увидеть не получилось (облачность)
14 марта	6:35	6:39	Видим
15 марта	-	-	Увидеть не получилось
15 марта	5:45	5:50	Видим



*Рис. 13.(а) Вспышка спутника «IRIDIUM» 15.03.2016;
 (б) Пролет МКС 15.03.2016;
 (в) Пролет МКС 14.03.2016;(г) Пролет МКС 14.03.2016.*

Данные фотографии (см. рис. 13) сделаны с фотоаппарата OLYMPUS T-100, 12 MEGAPIXEL. Закрепить камеру не получилось, т. к. не было необходимого оборудования. Пришлось фотографировать в руках, с выдержкой в 5 сек.

Глава 5. Наблюдения за спутниками «IRIDIUM»

Вспышки спутников «IRIDIUM» можно найти также на этом сайте www.heavens-above.com. Нужно нажать в разделе спутники «Вспышки Иридиумов».

Таблица 3. Расписание вспышек спутников IRIDIUM 75, 3, 14

Время	Яркость	Высота	Азимут	Спутник	До центра вспышки	Яркость в центре вспышки	Высота Солнца
<u>мар 14,</u> <u>05:26:44</u>	-1,0	49°	220° (ЮЗ)	Iridium 75	30 км (3)	-8,2	-18° 🌙
<u>мар 14,</u> <u>19:48:25</u>	0,3	51°	1° (С)	Iridium 3	36 км (3)	-8,0	-7° 🌙
<u>мар 15,</u> <u>05:20:36</u>	-3,8	50°	222° (ЮЗ)	Iridium 14	12 км (3)	-8,3	-18° 🌙

Здесь показано время вспышки спутников «IRIDIUM». Также яркость в звездных величинах (см. выше). Высота вспышки над горизонтом (в градусах) и азимут (см. выше). Далее, какой именно спутник, расстояние до центра вспышки и яркость. И, наконец, высота Солнца над горизонтом (в градусах).

Результаты наблюдений представлены в таблице:

Таблица 4. Результаты наблюдения вспышек «IRIDIUM»

Дата	Время	Видимость
14 марта	5:26	Видим
14 марта	-	Увидеть не получилось (значительная облачность)
15 марта	5:20	Видим

Глава 6. Заключение

В этой работе я собрал информацию о ИСЗ, их орбитах и типах и сделал пару наблюдений за МКС и спутниками «IRIDIUM». Я считаю, что наблюдать за ИСЗ очень увлекательно, ведь всегда интересно, что происходит в необъятных просторах космоса. Наблюдения были успешными, т. к. подготовка была хорошей, хотя некоторые факторы (облачность, время и т. п.) часто искажали просмотр пролетов или вспышек ИСЗ. Иногда даже вовсе не получалось увидеть спутник. Таким образом, по-моему, лучше наблюдать за ИСЗ, хорошо подготовившись, т. е. выйти пораньше, чтобы определить место пролета, найти хорошее место, где ничто не закрывает обзор, и зафиксировать камеру. Далее остается только ждать. Именно так я и делал.

Список использованных источников

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственный_спутник_Земли
2. https://ru.wikipedia.org/wiki/Геостационарная_орбита
3. <http://www.rusohost.ru/articles-tv/394-orbiti-sputnikov.html>
4. http://ru.wikipedia.org/wiki/Высокая_эллиптическая_орбита
5. http://ru.wikipedia.org/wiki/Синхронная_орбита
6. <http://www.sat.belastro.net/glava2/glava2.php>
7. <http://innotechnews.com/innovations/335-iskusstvennye-sputniki-zemli-i-osobennosti-nablyudeniya-za-nimi-ch-2>
8. <http://innotechnews.com/innovations/334-iskusstvennye-sputniki-zemli-i-osobennosti-nablyudeniya-za-nimi-ch-1>