

# Антенны для начинающих

Проект "Братья Вольт"

Методические материалы к набору для сборки  
УКВ антенны "Космические данные"

**Voltbro**  
Братья Вольт

Версия: 02.2025  
[www.voltbro.com](http://www.voltbro.com)

# Оглавление

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>3</b>
1.1	История дистанционного зондирования Земли . . . . .	3
1.2	Космические аппараты ДЗЗ . . . . .	4
1.2.1	Метеор-М . . . . .	4
1.2.2	Серия NOAA . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Методы радиоприема</b>	<b>8</b>
2.1	Основные принципы . . . . .	8
2.2	Антенно-фидерное оборудование . . . . .	10
2.3	Упрощенная теория электромагнитного излучения . . . . .	10
2.4	Вибратор Герца . . . . .	11
2.5	Диаграмма направленности . . . . .	12
2.6	Поляризация . . . . .	13
2.6.1	Линейная поляризация . . . . .	14
2.6.2	Круговая поляризация . . . . .	14
2.7	Коэффициент укорочения антенны . . . . .	14
2.8	Фидер . . . . .	15
2.9	Коэффициент укорочения коаксиального кабеля . . . . .	16
2.10	Рефлектор . . . . .	16
2.11	Входное сопротивление антенны . . . . .	17
2.12	Входное сопротивление приемника . . . . .	18
2.13	Коаксиальные трансформаторы . . . . .	18
2.13.1	Четвертьволновый трансформатор . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Практическая часть - конструирование антенны</b>	<b>20</b>
3.1	Турникетная антенна . . . . .	20
3.2	Расчет антенны . . . . .	21
3.3	Расчёт рефлектора . . . . .	23
3.4	Согласование антенны . . . . .	23
3.5	Коэффициенты укорочения кабелей . . . . .	24
3.6	Сборка антенны . . . . .	24
3.6.1	Шаг 1 . . . . .	24
3.6.2	Шаг 2 . . . . .	25
3.6.3	Шаг 3 . . . . .	27
3.6.4	Шаг 4 . . . . .	29
3.6.5	Шаг 5 . . . . .	29
3.6.6	Шаг 6 . . . . .	31
3.7	Средства радиоприема . . . . .	34
3.8	Приемное оборудование в наборе . . . . .	35
3.8.1	SDR приемник (Software Defined Radio) . . . . .	35
3.8.2	Малошумящий усилитель . . . . .	35

<b>4</b>	<b>Настройка программного обеспечения</b>	<b>37</b>
4.1	Orbitron . . . . .	37
4.1.1	Настройки программы . . . . .	38
4.1.2	Обновление базы частот . . . . .	45
4.2	Использование Orbitron для предсказания пролета спутника . . . . .	45
4.3	Установка SDR Sharp . . . . .	47
4.4	Интегрируем SDR Sharp и Orbitron . . . . .	50
4.5	Расшифровка изображения со спутников NOAA . . . . .	55
4.5.1	Установка программы WXtoimg . . . . .	55
4.6	Порядок работы во время приема . . . . .	60
4.7	Установка виртуального аудио кабеля . . . . .	60
4.8	Прием спутника Метеор М2 . . . . .	65
4.8.1	Установка плагина DDETracker . . . . .	68
4.8.2	Установка программы декодера . . . . .	71
4.8.3	Настройка плагина Tracking DDE Client . . . . .	73
4.8.4	Порядок действий при приеме спутника Метеор М2 . . . . .	76
<b>5</b>	<b>Заключение</b>	<b>78</b>

# Глава 1

## Введение

Данное методическое пособие предназначено для практического изучения и приема телеметрической информации с низкоорбитальных метеорологических спутников, на базе образовательных учреждений дополнительного образования.

Структура методического пособия включает в себя историческую, теоретическую и практическую составляющую области дистанционного зондирования земли.

Для практической реализации пункта приема потребуется дополнительное оборудование и инструменты.

### 1.1 История дистанционного зондирования Земли

С момента начала покорения космического пространства человеком и запуска первых космических аппаратов на орбиту Земли, противоборствующим странам (СССР и США) стало понятно, что использование ракетной техники не ограничивается доставкой средств ядерного оружия на другие континенты, но также позволяет выводить на орбиту Земли полезную функциональную нагрузку.

Первоначально одной из самых сложных задач, выполняемых армиями всего мира, было составление подробных карт местностей вероятного противника, при ограниченном доступе к территориям. Ведь чем подробнее карта, тем точнее можно спланировать операцию.

Не будем углубляться в историю картографии, перейдем сразу в начало XX века, когда потребность в точных топологических решениях была особо острой, и связано это было не только с развитием военной промышленности мира, но и с определением новых сырьевых месторождений. Известно, что в начале 30-х годов прошлого века, правительство СССР использовало топографов из Германии для составления подробных карт местности. На территории Советского Союза было установлено огромное количество топографических вышек, с которых велось наблюдение ориентиров, определялась карта высот и другие параметры ландшафта. Во время Великой Отечественной Войны советское и немецкое командование широко применяло самолеты, оснащенные фотоаппаратурой, для определения расположения и количества сил противника. При наложении таких фотоснимков на географическую сетку координат было возможно наносить артиллерийские удары с большей точностью и получать преимущество при планировании наступления.

В послевоенный период и в период холодной войны между США и СССР остро встал вопрос информации о том, кто какими стратегическими силами владеет, где и какие предприятия строятся.

Как было отмечено ранее, первоначально ракетная техника создавалась как самое эффективное средство доставки ядерного оружия на территорию вероятного противника. Такое заключение было сделано после того, как при захвате союзниками немецких заводов, были обнаружены ракеты ФАУ-2.

Вскоре после разработки и создания первых образцов ракетной техники, советский ученый, конструктор ракетно-космических систем Сергей Павлович Королев вышел с инициативой запуска на орбиту Земли искусственного аппарата Спутник-1, который был успешно осуществлен в 1957 году. После этого знаменательного события руководство СССР не без оснований стало рассматривать соревнование с США в освоении космоса как одну из важнейших составляющих бескомпромиссной борьбы двух политических систем. Более того, успех СССР был с воодушевлением встречен общественностью всего мира, что еще больше повысило авторитет Советского Союза, завоеванный в годы ВОВ. Не умаляя политическую составляющую соревнования с США в освоении космоса, руководство СССР понимало и огромное народно-хозяйственное значение его освоения. На достижение этой задачи были брошены большие силы и огромные средства.

Области использования космического пространства на тот момент были плохо изученными и располагались в основном в области теоретических предположений. Предстояло провести большое количество исследований, а также изучить космическую среду и ее условия. Никто не знал, как поведет себя электроника, как на практике будут обстоять дела с температурой обшивки космических аппаратов в космическом пространстве, а также с солнечной радиацией. Первыми аппаратами дистанционного зондирования Земли были спутники-шпионы. На базе космического корабля «Восток» обитаемый отсек был оснащен фотооборудованием. По причине слабого развития электронной компонентной базы, борьба велась за каждый грамм веса аппарата. Как известно, цифровых способов передачи изображений и их обработки в то время не было, а всем известная видеозапись с Ю.А. Гагариным при запуске первого человека в космос была выполнена на передовом оборудовании, вес которого составлял не один десяток килограммов. Поэтому на первых спутниках-шпионах фотооборудование представляло из себя классическую фотографическую аппаратуру: фотографии сохранялись на фотопластинах, которые извлекались из спускаемого аппарата после посадки и проявлялись.

Второе поколение аппаратов дистанционного зондирования Земли имело на своем борту встроенную аппаратуру проявления фотоснимков, и при дальнейшей их растровой обработке производилась передача в виде аналогового сигнала на пункт приема за некоторое количество пролетов спутника над пунктом управления.

Но время шло, и космос стал неминуемо переходить из области военных интересов в область научных исследований. Стали появляться не только спутники с закрытым функционалом, но также и космические аппараты, телеметрическую информацию с которых мог получить любой научно-исследовательский коллектив, имеющий соответствующую аппаратуру. В данном направлении наиболее популярны зарубежные спутники дистанционного зондирования земли и движения воздушных масс Национального метеорологического агентства «NOAA», а также отечественные спутники «Метеор». С целью приема телеметрической графической информации с данных космических аппаратов и написано данное методическое пособие.

## 1.2 Космические аппараты ДЗЗ

В данном методическом руководстве мы будем рассматривать варианты приема с зарубежных аппаратов национального метеорологического агентства США NOAA и отечественных аппаратов серии Метеор-М, поэтому остановимся на них чуть подробнее.

### 1.2.1 Метеор-М

«Метеор-М» № 2, «Метеор-М» № 2-1, «Метеор-М» № 2-2 (автоматические космические аппараты) — вторая серия перспективных космических аппаратов гидрометеорологического обеспечения.



Рис. 1.1: Спутник серии Метеор М2

Предназначены для оперативного получения информации в целях прогноза погоды, контроля озонового слоя и радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве, а также для мониторинга морской поверхности, включая ледовую обстановку.

- Создаются по заданию Роскосмоса, Минобороны России и Росгидромета
- Тип спутника — Метеорологический
- Головной разработчик — ОАО «Корпорация ВНИИЭМ»
- Средства выведения — Союз-2.1б/Фрегат
- Орбита КА — круговая, солнечно-синхронная, утренняя (9:30)
- Корректируемость орбиты — отсутствует
- Стартовая масса КА, кг — 2778
- Габаритные размеры: Высота: 5 м, Ширина с развернутыми БФ: 14 м, Диаметр описанной окружности корпуса: 2,5 м.
- Площадь ФЭП: 33,0 м<sup>2</sup>
- Мощность ФЭП: 4500/4000 Вт

Для передачи целевой информации с борта КА используются следующие радиолинии:

- УКВ диапазона (137,025 — 137,925 МГц) со скоростью 80 Кбит/с — для передачи на сеть наземных станций в режиме непосредственной передачи (НП) информации прибора МСУ-МР (многоканальное сканирующее устройство малого разрешения) в международном формате LRPT;
- ДМ диапазона (1690 — 1710 МГц) со скоростью 665,4 Кбит/с — для передачи в режиме НП информации бортовых приборов и данных ПСД (платформ сбора данных).
- СМ диапазона (8025 — 8400 МГц) со скоростью до 2x122,88 Мбит/с — для передачи в режиме НП и ВИ (воспроизведения информации) полного потока данных целевой аппаратуры КА в центры приема и обработки данных Росгидромета

### 1.2.2 Серия NOAA

В настоящее время на орбите функционируют три спутника серии NOAA: NOAA-15, NOAA-18 и NOAA-19. На всех трех спутниках установлен одинаковый набор приборов. Радиометр AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) – один из основных приборов на борту. Несмотря на небольшое количество каналов, прибор позволяет проводить мониторинг облаков и подстилающей поверхности, в том числе детектировать пожары, мощные кучево-дождевые облака, границы снежного покрова, а также определять температуру верхней границы облачности и поверхности океана.



Рис. 1.2: Спутник NOAA-19

Кроме того, со спутников передаются данные микроволнового радиометра AMSU, инфракрасного зондировщика HIRS и микроволнового влажностного зондировщика MHS. С помощью специализированного программного обеспечения, по данным с этих сенсоров можно определить интенсивность осадков, температуру и влажность воздуха на различных вертикальных уровнях в атмосфере и другие параметры.

Спутники имеют солнечно-синхронную орбиту, т.е. каждые сутки спутник проходит над любой территорией примерно в одно и то же местное время. Высота орбиты составляет около 800 км. Орбиты проходят вблизи полюсов Земли и, с учетом широкой полосы обзора, это гарантирует съемку любого участка поверхности с нормальным пространственным разрешением не менее 4-х раз в сутки с каждого спутника. Спутники выводятся на орбиты таким образом, чтобы съемка с разных спутников относительно равномерно распределялась по времени. На спутниках серии NOAA установлены два комплекса приборов: AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) и комплект аппаратуры для вертикального зондирования атмосферы. Основной объем информации составляют данные сканирующего радиометра AVHRR, имеющего 5 спектральных каналов в видимой, инфракрасной и тепловой областях спектра, пространственное разрешение 1,1 км и полосу обзора 3000 км. Зонд TOVS (Tiros Operational Vertical Sounder) служит для вертикального зондирования атмосферы. Зонд является трёхкомпонентной системой, включающей:

- 4-х каналный Блок Микроволнового Зондирования (MSU): наблюдение облачных регионов;

- 3-х канальный Блок Стратосферного Зондирования (SSU): определение температуры стратосферы;
- 20-и канальный ИК Зонд Высокого Разрешения (HIRS/2): определение вертикального профиля температуры, содержания водяных паров и озона;
- Рабочий диапазон частот NOAA: 1670—1710 МГц;
- Частота АРТ: 137.620 MHz (NOAA-15), 137.9125 MHz (NOAA-18), 137.100 MHz (NOAA-19).

### **Области применения информации**

- Экология:
  - обнаружение крупных промышленных выбросов и мониторинг их дальнейшего распространения;
  - обнаружение крупных сбросов загрязняющих веществ в водоёмы;
  - обнаружение и оценка масштабов катастрофических наводнений;
  - мониторинг больших регионов с целью выявления опасных источников заражения;
  - мониторинг пыльных бурь.
- Метеорология:
  - восстановление вертикального профиля температуры и влажности атмосферного воздуха;
  - оперативный прогноз участков сильного циклогенеза;
  - визуальное отображение состояния погоды и составление синоптических карт;
  - оценка состояния и контроль динамики снежного покрова.
- Сельское и лесное хозяйство:
  - контроль за возникновением и распространением лесных и степных пожаров;
  - океанология и гидрология;
  - оценка ледовой обстановки;
  - оперативное отслеживание зон затоплений в период весеннего половодья и паводка.

## Глава 2

# Методы радиоприема

### 2.1 Основные принципы

Прежде чем переходить к теме самого радиоприема телеметрической информации со спутников, следует разобраться, как же это работает.

Сложно представить то, чего не видишь, однако мы постараемся объяснить вам все на простых примерах, которые в принципе доступны для понимания.

Основой передачи информации по радиоканалу служит электромагнитная волна. Электромагнитная волна состоит из двух составляющих - электрической и магнитной. Электрическая составляющая электромагнитной волны образуется за счет движения свободных носителей заряда в проводнике (электронов), а магнитная составляющая образуется за счет того, что эти самые носители заряда при движении образуют вокруг проводника, по которому двигаются, магнитное поле.

Здесь можно привести много формул, которые описывают данные процессы, однако это изучение физики в широком смысле выходит за пределы данного пособия. Поэтому предлагается провести аналогии с видимыми волновыми процессами в природе.

Для наглядности и понимания сути, наполните ванну водой, опустите в воду мяч и начните двигать его вверх-вниз. Волны, образованные в воде, будут расходиться и отражаться. Но это не главное. Главным здесь является то, что, совершая механические движения руки в водной среде, вы создали волновой процесс. Попробуйте двигать рукой быстрее, наблюдая за волнами. При быстром движении их гребни будут идти чаще, длина волны уменьшится. И, соответственно, если двигать рукой медленнее, гребни волн будут идти реже, длина волны увеличится. Отсюда можно прийти к основному выводу, что частота колебаний имеет обратную зависимость к длине волны, распространяемой в среде. Попробуйте прикладывать больше усилий к руке, и увеличить глубину погружения мяча в воду. Вы сможете наблюдать, что высота гребней волн увеличилась. Таким образом, чем больше энергия колебаний, тем выше гребень волны, тем дальше волна пойдет в свободной среде, тем больше амплитуда колебаний. С передачей волны в среде все понятно. Теперь рассмотрим, каким же методом можно принимать волны. Возьмем длинную кулинарную шпажку, наденем на один конец пенопластовый шарик и разместим ее на поверхности воды таким образом, чтобы конец с шариком был направлен на наш источник колебаний, а второй конец был закреплен над поверхностью воды и позволял палочке двигаться. При колебаниях будут образовываться волны, которые будут качать палочку. Чем больше амплитуда колебаний, тем больше будет угол отклонения палочки от горизонтального положения. Таким образом, наблюдая за углом отклонения палочки, мы можем изучать входящую волну - это и есть принцип работы приемной антенны. На самом деле, в области электромагнитных полей все не так однозначно, потому что среда распространения радиоволн объемная. Существует проблема переотражения волн (ваш наблюдательный глаз должен был заметить, что волны в ванной отражаются от стенок), и энергия затухает. Рассмотрим этот вопрос подробнее в следующей главе. Сейчас, когда мы имеем представление о том, что такое электромагнитная волна, настал

момент рассмотреть ту самую загадку - как при помощи волн передавать информацию.

Модуляция. Непонятное слово, но давайте разберемся, что это. Если логически посмотреть на ситуацию, все просто: отправляешь волну – информация есть, не отправляешь – информации нет. В принципе на такой основе работали и первые телеграфные аппараты, и даже первое радио, разработанное Поповым. Однако со временем возникла необходимость передавать гораздо большие объемы информации. И тогда математики разработали теорию: если изменять амплитуду или частоту передачи, то можно принимать информацию с гораздо большей скоростью.

Советский и российский ученый в области радиофизики Владимир Александрович Котельников в своей «Теореме Котельникова» доказал, что передавать информацию можно минимум в два раза медленней, чем несущая частота.

Существует два основных метода модуляции несущей волны: амплитудная, когда увеличивается размах волн, и частотная, когда незначительно увеличивается или уменьшается частота несущей волны. В результате электромагнитные низкочастотные колебания, которые передают информацию, накладываются на высокочастотную составляющую, которая и имеет определенный характер распространения в среде.

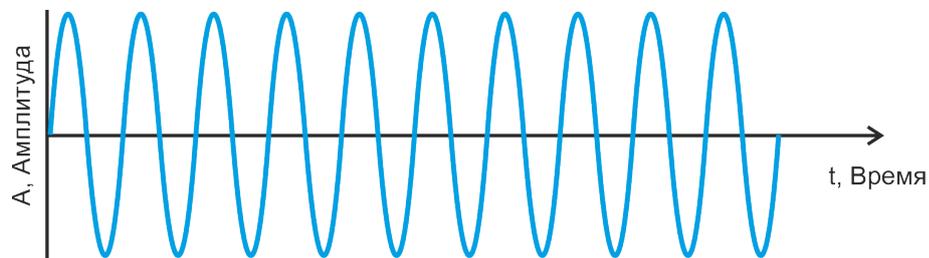


Рис. 2.1: Волна, распространяющаяся в среде

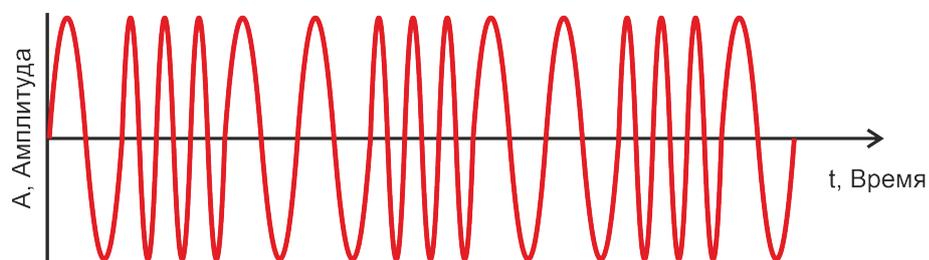


Рис. 2.2: Волна с частотной модуляцией

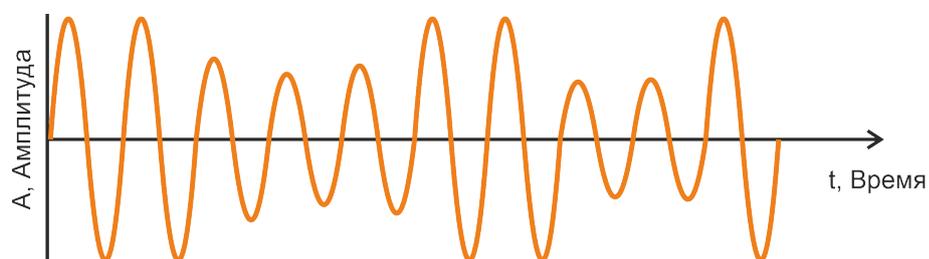


Рис. 2.3: Волна с амплитудной модуляцией

Демодуляция – это процесс, обратный модуляции, который представляет собой отсеивание высокочастотной составляющей от модулируемой (полезной) частоты сигнала для последующего воспроизведения. Например, известное всем радио, работающее в диапазоне FM (Frequency Modulation), представляет из себя диапазон радиовещательного эфира 64-108 МГц, который работает с частотной модуляцией.

Демодуляция – процесс довольно трудоемкий, как с точки зрения математического аппарата, так и с точки зрения практической реализации. Самым простым амплитудным демодулятором служит полупроводниковый диод, который отсеивает отрицательную составляющую входных колебаний, и за счет размера запрещенной зоны не пропускает высокочастотную составляющую. Остается аналоговый сигнал, который проходит каскады усиления и воспроизводится на громкоговорителе. В трех словах – так работает элементарный радиоприемник.

## 2.2 Антенно-фидерное оборудование

Для приема электрической составляющей электромагнитных колебаний, как было определено в предшествующем разделе, требуется антенна.

Основные параметры антенн определяются следующими показателями:

- Диапазон частот;

Диапазон частот определяется формой антенны, а также ее конструкцией. На примере штыря можно увидеть, что диапазон частот будет зависеть от длины волны, распространяемой в среде. Антенны бывают узкополосными и широкополосными.

- Волновое сопротивление и коэффициент усиления;

Волновым сопротивлением антенны называют отношение напряжения к силе тока на входе антенны, при воздействии на антенну радиочастотных колебаний. То есть, если проводить условную аналогию: насколько велика масса деревянной палочки, которая будет частично или полностью погружаться в воду, а соответственно, иметь коэффициент затухания при воздействии внешней среды.

- Направленность

Диаграмма направленности антенны зависит от ее конструкции. Преимущественно диаграмма направленности зависит от области применения антенны. Наглядный пример узконаправленных антенн – это спутниковые антенны, узкая диаграмма которых позволяет принимать сигналы из области, где располагается геостационарный спутник (40 тыс. км от поверхности земли). Диаграммой направленности такой антенны можно представить узкий луч фонаря. Широкой диаграммой направленности обладают дипольные антенны (штырь). Для простоты восприятия можно провести аналогию с обычной лампочкой, рассеивающей свет на улице. Однако, если поставить рефлектор в фокусе антенны, то диаграмма направленности уменьшится вдвое, при этом поток света вдвое увеличится.

## 2.3 Упрощенная теория электромагнитного излучения

Источником радиоволн всегда является колеблющийся заряд. Представим себе два разноименных носителя заряда. Они зафиксированы в пространстве и неподвижны. Они создают электростатическое поле, которое безгранично распространяется в пространстве. Напряженность поля прибывает вблизи его источника, и убывает при удалении от источника. Очень важно отметить тот факт, что все силовые линии этого поля замыкаются на заряды – начинаются на положительном носителе заряда и оканчиваются на отрицательном.

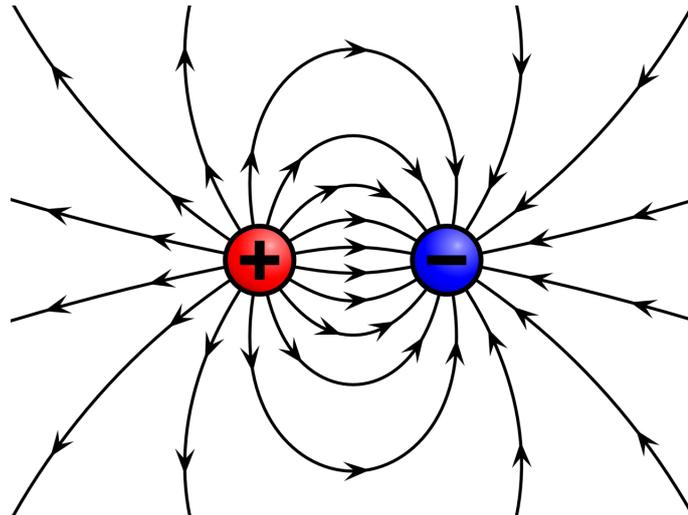


Рис. 2.4: Заряды создают электрическое поле

А теперь резко поменяем заряды местами и увидим, что вектор напряженности электрического поля поменял направление. Если раньше силовые линии были направлены сверху вниз, то теперь снизу вверх. Но самое главное заключается в том, что эта переменная распространяется в пространстве не мгновенно, а с определенной скоростью. Только что, поменяв заряды местами, мы создали единичную волну. По сути, радиоволна - это изменение вектора электрического поля, распространяющееся в направлении, перпендикулярном силовым линиям поля.

А теперь давайте непрерывно и с одинаковой скоростью производить колебания зарядов. Это вызовет целую последовательность изменений электрического поля. Фактически мы создаем переменное электрическое поле. Это и есть самая привычная форма радиоволн. И снова очевидно, что распространяются они в направлении, перпендикулярном к вектору электрического поля.

Обратите внимание: когда заряды были неподвижны, все силовые линии электростатического поля замыкались на эти заряды. А теперь мы не можем утверждать, что силовые линии, находящиеся вдали от источника колебаний, замыкаются на него. Они совершенно точно были порождены этим источником. Но, удалившись от источника колебаний, замыкаются силовые линии уже не на него.

## 2.4 Вибратор Герца

Вибратор Герца (Диполь Герца) – это простейший излучатель электромагнитных волн. Он состоит из двух проводников, расположенных на одной прямой. Концы этих проводников расположены вблизи друг от друга и подключены к источнику колебаний. Длина каждого проводника соответствует четверти длины волны той частоты, на которой работает источник колебаний. Можно сказать, что вибратор Герца – это проводник длиной в половину волны, в центр которого включен источник колебаний. При этом наибольшая разность потенциалов находится между их дальними концами, а максимальный ток протекает посередине полуволнового отрезка.



Рис. 2.5: Диполь Герца - простейший полуволновой вибратор

Полуволновой вибратор (антенна), излучатель переменных электромагнитных волн представляет собой прямолинейный отрезок проводника электрического тока, длиной, равной половине длины рабочей волны. Ток в антенне относительно напряжения на концах вибраторов сдвинут по фазе на 90 градусов, но в радиоволне фазы электрического и магнитного поля совпадают. За время, равное половине периода, электрическое поле распространяется в пространстве на расстояние от антенны, равное половине длины волны. В этот момент вибратор меняет свою полярность на противоположную.

Пока силовые линии электрического поля находятся в непосредственной близости от вибратора, они замыкаются на заряды в полотно антенны. Но через полпериода силовые линии замыкаются сами на себя, образуя вихревое электрическое поле.

## 2.5 Диаграмма направленности

Диаграмма направленности представляет собой зависимость излучающих свойств антенны от пространственных координат. Она показывает, в каком направлении лучше всего распространяются радиоволны, излучаемые антенной. Диаграмму направленности можно представлять как в трехмерном виде, так и в плоском, указывая плоскости горизонтальную и вертикальную.

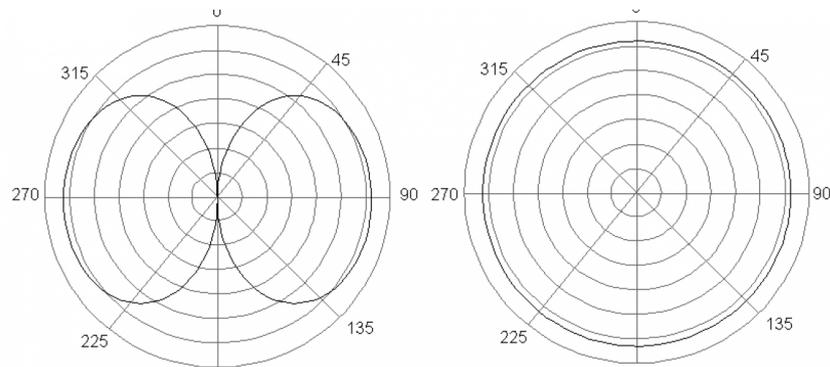


Рис. 2.6: Диаграмма направленности диполя в вертикальной (слева) и горизонтальной (справа) плоскостях

Давайте рассмотрим диаграмму направленности вертикально установленного диполя. Она будет очень напоминать силовые линии зарядов, которые мы обсуждали выше. Максимальная амплитуда сигнала совпадает с горизонтальной плоскостью, а в вертикальном направлении радиоволны вообще не распространяются.

Диаграмма направленности диполя в объемном виде представляет из себя тороид.

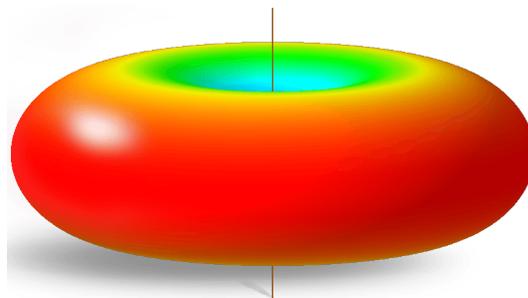


Рис. 2.7: Диаграмма направленности диполя в трехмерном виде

## 2.6 Поляризация

Любая радиоволна имеет такую важную характеристику, как поляризация. Это связано с тем, что радиоволна имеет электрическую и магнитную составляющие.

При распространении радиоволны в каком-нибудь направлении, электрическая и магнитная составляющие перпендикулярны друг другу и при этом перпендикулярны направлению распространения.

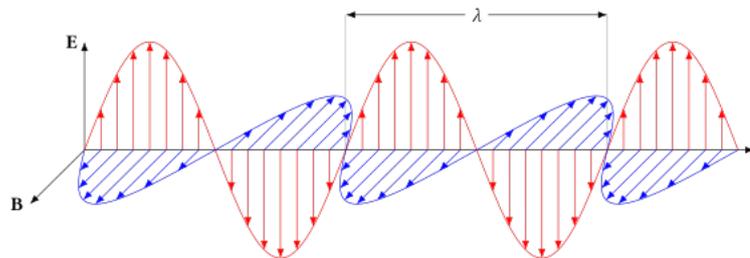


Рис. 2.8: радиоволна имеет электрическую (E) и электромагнитную (B) составляющие

Поляризация — это направленность вектора электрической составляющей электромагнитной волны в пространстве. Различают: вертикальную, горизонтальную и круговую поляризацию.

Поляризация зависит от типа антенны и ее расположения. Каждая антенна принимает или передаёт радиоволны определённой поляризации.

В зависимости от формы вибраторов и направления движения зарядов в них, антенны могут создавать электрическое поле различной поляризации. Вектор поляризации является итоговой суммой электрических составляющих радиоволны.

Если вибратор расположен вертикально, волна поляризована вертикально, так как электрические силовые линии поля расположены в вертикальной плоскости. Если же вибратор расположен горизонтально, то излучаемые им волны имеют горизонтальную поляризацию.

Вектор поляризации является итоговой суммой электрических составляющих радиоволны. Если две излучаемых волны смещены по фазе, то мы получаем круговую поляризацию.

Различают линейную поляризацию (вертикальную и горизонтальную) и круговую поляризацию.

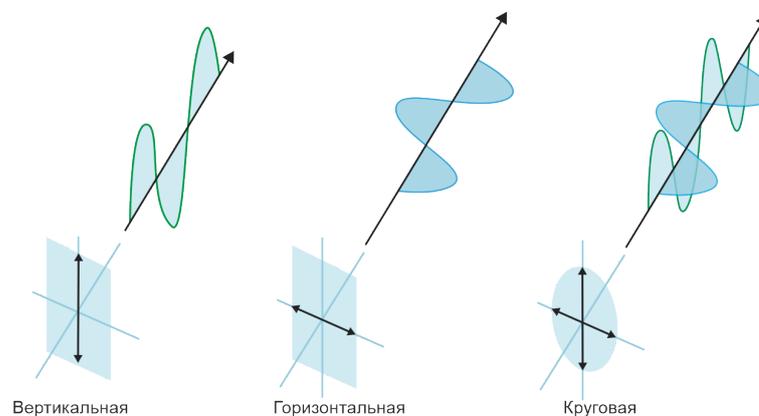


Рис. 2.9: Виды поляризации.

Для передачи и приема сигналов с линейной поляризацией в основном используются вибраторы из прямых отрезков провода. Для передачи и приема сигнала с круговой поляризацией используются турникетные и спиральные и другие типы антенн.

### 2.6.1 Линейная поляризация

Антенны линейной поляризации очень широко распространены благодаря простоте конструкции, что в самом примитивном виде дает просто кусок провода. Эти антенны имеют малый размер, низкую цену, их легко ремонтировать и собирать.

В общем случае, линейная поляризация отлично подходит для больших расстояний, т.к. вся энергия будет сосредоточена в одной плоскости. Это преимущество не всегда проявляется из-за многолучевого распространения (многократного переотражения) сигнала.

Для того, чтобы получить максимальный уровень сигнала, антенны приемника и передатчика должны быть расположены параллельно (для максимального перекрытия излучения).

В самом крайнем случае, когда антенна приемника и антенна передатчика расположены под углом 90 градусов друг относительно друга — получаем наименьший уровень сигнала.

### 2.6.2 Круговая поляризация

При круговой поляризации сигнал распространяется в обеих плоскостях (в вертикальной и горизонтальной) со сдвигом фазы на 90 градусов (можно представить в виде штопора).

Сигнал с круговой поляризацией всегда попадает на антенну, т.е. вне зависимости от угла между антеннами на передатчике и на приемнике. Именно поэтому антенны с круговой поляризацией часто используются для приема данных с движущихся объектов.

Еще одно достоинство антенн с круговой поляризацией — это возможность отсекал отраженный сигнал.

Многолучевое распространение сигнала — одна из главных причин его плохого качества. Так бывает, когда сигнал отражается от объектов и приходит с другой фазой, при этом смешиваясь с основным сигналом.

Круговая поляризация бывает как левой (ЛНСП), так и правой (РНСП). На передатчике и приемнике должны быть антенны с одним и тем же направлением, иначе будет очень сильная потеря сигнала.

Круговая поляризация хорошо защищает от переотраженных сигналов, потому что, когда сигнал отражается от объекта, меняется направление поляризации. То есть, антенна ЛНСП отсекает РНСП сигнал и наоборот (кросс поляризация).

## 2.7 Коэффициент укорочения антенны

До сих пор мы не делали различий между электрической и механической длинами антенн. На самом деле эти длины равны лишь в том случае, когда проводник антенны бесконечно тонок и находится в безвоздушном пространстве.

В реальности, скорость распространения электромагнитной волны в свободном пространстве отличается от скорости распространения электромагнитной волны вдоль проводника антенны. Скорость распространения электромагнитных волн от проводника несколько меньше, чем скорость распространения света и определяется соотношением  $l/d$  (длины антенны  $l$  к ее поперечному сечению  $d$ ).

Так же на резонансную длину проводника влияют так называемые концевые эффекты. Он действует, как концевая емкость, и обычно заметен, когда проводник антенны крепится своими концами за изолятор.

В силу этих обстоятельств приходится укорачивать механические размеры антенны, необходимые для осуществления резонанса. При одинаковой резонансной частоте тонкая антенна будет длиннее толстой.

Электрическая резонансная частота антенны для полуволнового диполя равна половине длины волны.

Например, мы хотим принять сигнал со спутника на частоте  $\omega = 137.6\text{МГц}$ . Длину волны  $\lambda$  можно рассчитать по формуле  $\lambda = \omega/c$  где  $c$  - скорость света.

$$\lambda = \frac{\omega}{c} = \frac{137 \cdot 10^8}{300 \cdot 10^8} = 2.18$$

Половина длины волны будет 1.07 метра, а длина четвертьволнового отрезка примерно 0.535 метра.

Коэффициент укорочения представляет собой отношение механической длины антенны к резонансной электрической длине. Таким образом он всегда меньше единицы.

График определения коэффициента укорочения, по данным Шелкунова и Фрииса, в зависимости от  $\lambda/d$  позволяет найти значение для вашего случая:

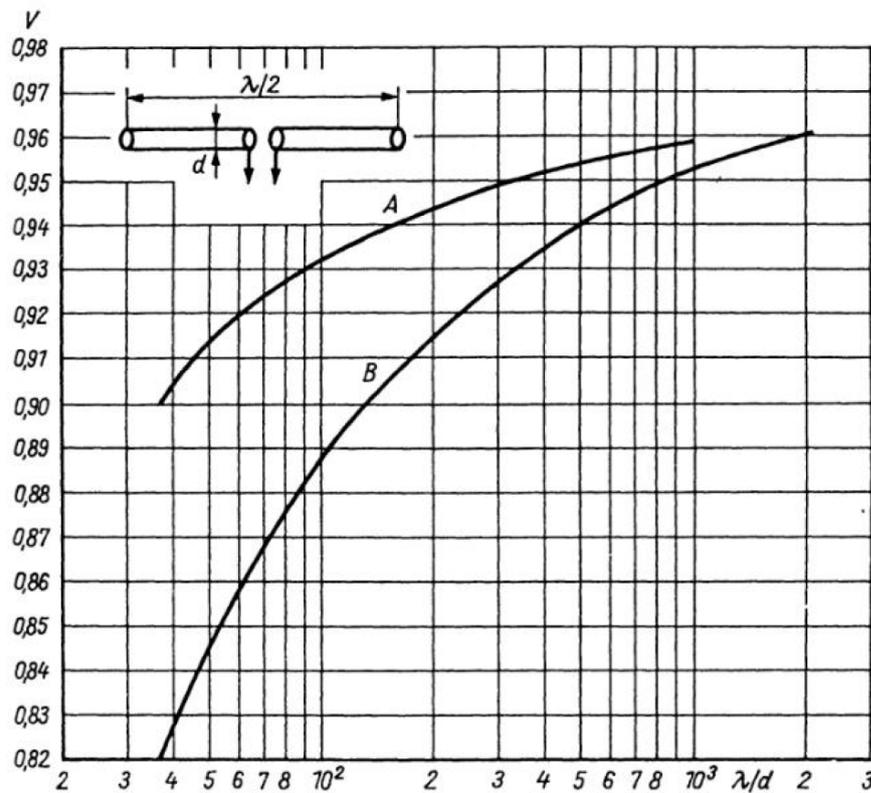


Рис. 2.10: Зависимость коэффициента укорочения полуволнового вибратора от соотношения  $\lambda/d$  без учета (А) и с учетом (В) конечного эффекта.

Таким образом, если вы используете для антенны прутки металла диаметром  $d = 6\text{мм}$ , то соотношение  $\lambda/d = 2.18/0.006 = 363.37$ , и из графика можно найти коэффициент  $v \approx 0.95$

## 2.8 Фидер

Во многих случаях практического использования радиотехнической аппаратуры антенна оказывается удаленной от передатчика или приемника на некоторое расстояние. На коротких и метровых волнах это расстояние часто оказывается значительным по сравнению с длиной волны. В таких случаях антенна соединяется с передатчиком или приемником посредством фидерной системы, состоящей из фидерной линии и переходного устройства между антенной и фидером.

Фидер - электрическая цепь (линия передачи) и вспомогательные устройства, с помощью которых энергия радиочастотного сигнала подводится от радиопередатчика к

антенне (в передаточном режиме), или от антенны к радиоприемнику (в режиме приема). Под вспомогательными устройствами понимают соединители, разъемы, вентили, фазовращатели и другие.

Фидером не является линия передачи, не соединенная с антенной. Термин «фидер» в основном используют, когда говорят о приеме-передающих трактах в радиотехнике.

Основные требования к фидеру сводятся к его электрогерметичности (отсутствию излучения энергии из фидера) и малым тепловым потерям. В передающем режиме волновое сопротивление фидера должно быть согласовано с входным сопротивлением антенны (что обеспечивает в фидере режим бегущей волны) и с выходом передатчика (для максимальной отдачи мощности).

В приёмном режиме согласование входа приёмника с волновым сопротивлением фидера обеспечивает в последнем режим бегущей волны. Согласование же волнового сопротивления фидера с сопротивлением нагрузки — условие максимальной отдачи мощности в нагрузку приёмника.

## 2.9 Коэффициент укорочения коаксиального кабеля

Коэффициент укорочения – характеристика линии передачи, показывающая, во сколько раз фазовая или групповая скорость волны в линии передачи меньше, чем скорость волны в вакууме.

Тип линии	Коэффициент укорочения $V$
Воздушная из параллельных проводников	0,95–0,98
Двухпроводная, 75 Ом	0,68–0,71
Двухпроводная, 150 Ом	0,76–0,77
Двухпроводная, 300 Ом	0,82–0,84
Коаксиальный кабель, сплошной полиэтилен	0,66
Коаксиальный кабель, фторопласт	0,71
Коаксиальный кабель, вспененный полиэтилен	0,78–0,89
Коаксиальный кабель с воздушной полостью	0,87–0,96

Рис. 2.11: Коэффициенты укорочений различных линий  $V$  в зависимости от используемого диэлектрика.

Коэффициент укорочения показывает насколько быстрее или медленнее радиоволна распространяется в различных средах и материалах, в том числе и в коаксиальном кабеле. Длина волны в кабеле обычно меньше длины волны такой же частоты, распространяющейся в воздухе. Разные типы кабеля имеют разные значения этого коэффициента.

Коэффициент укорочения необходимо учитывать для установления связи между электрической и физической (реальной) длинами линии передачи. Параметр используется при диагностике фидеров для локализации неоднородности (определения места неисправности).

## 2.10 Рефлектор

Усилить принимаемый сигнал можно за счет сложения прямой и отраженной волны в пространстве. Для этого используются рефлекторы (отражатели). Отражатель разме-

щают позади активного вибратора на расстоянии четверти длины волны. Изменение расстояния между вибратором и отражателем влияет на диаграмму направленности антенны.

Предположим, у нас есть единичный четвертьволновый вибратор. А позади него на расстоянии четверти длины волны находится сплошной бесконечный металлический отражатель (рефлектор). На эту систему падает одна волна колебаний.

Когда максимум прямой волны достигнет четвертьволнового вибратора, начало волны соприкоснется с отражателем. При отражении полярность волны меняется на противоположную. То есть, если напряженность поля прямой волны снизу вверх, то напряженность поля отраженной волны будет сверху вниз.

Когда на четвертьволновый вибратор придёт половина периода волны, максимум волны достигнет отражателя, и отражатель будет испускать отраженную волну противоположной полярности.

Когда же четвертьволнового отрезка достигнет отрицательный пик прямой волны, отрицательный максимум отраженной волны тоже сойдется с вибратором. Прямая и отраженная волна сложатся в фазе.

Таким образом, если на расстоянии четверти длины волны позади вибратора установить отражатель, это обеспечит синфазное сложение прямой и отраженной волны, что, в свою очередь, увеличит амплитуду сигнала.

Если располагать отражатель точно на расстоянии четверти длины волны от вибратора, то складываться в фазе волны будут только тогда, когда прямая волна падает исключительно ровно спереди антенны. Если же волны будут падать немного под углом, то они будут проходить большее расстояние и, соответственно, будут складываться не в фазе. Диаграмма направленности в этом случае получается очень острая.

Чтобы расширить диаграмму направленности, отражатель располагают ближе, чем на четверть длины волны. Тогда волны, пришедшие под углом к антенной системе, получают возможность складываться в фазе. Но при этом волны, приходящие ровно спереди, усиливаются уже не настолько. То есть, за счёт расширения диаграммы направленности немного теряется коэффициент усиления в прямом направлении.

Выигрыш по мощности, который получают с главного направления диаграммы направленности, зависит от расстояния пассивного элемента (рефлектора) от питаемого элемента (вибратора). Размытый максимум зависимости приходится на расстояние  $S = 0.23\lambda$ .



Рис. 2.12: Реальное усиление комбинации излучателя и пассивного рефлектора.

### 2.11 Входное сопротивление антенны

Антенна является источником сигнала, характеризующегося электродвижущей силой (ЭДС) и внутренним сопротивлением, которое называется входным сопротивлением ан-

тенны.

Входное сопротивление определяется отношением напряжения на зажимах антенны к току на входе фидера. Величину входного сопротивления антенны необходимо знать для того, чтобы правильно согласовать антенну с кабелем и приемником: только при этом условии на вход приемника поступает наибольшая мощность.

Входное сопротивление зависит от типа антенны и ее конструктивных особенностей. Входное сопротивление линейного полуволнового вибратора можно рассчитать из графика ниже:

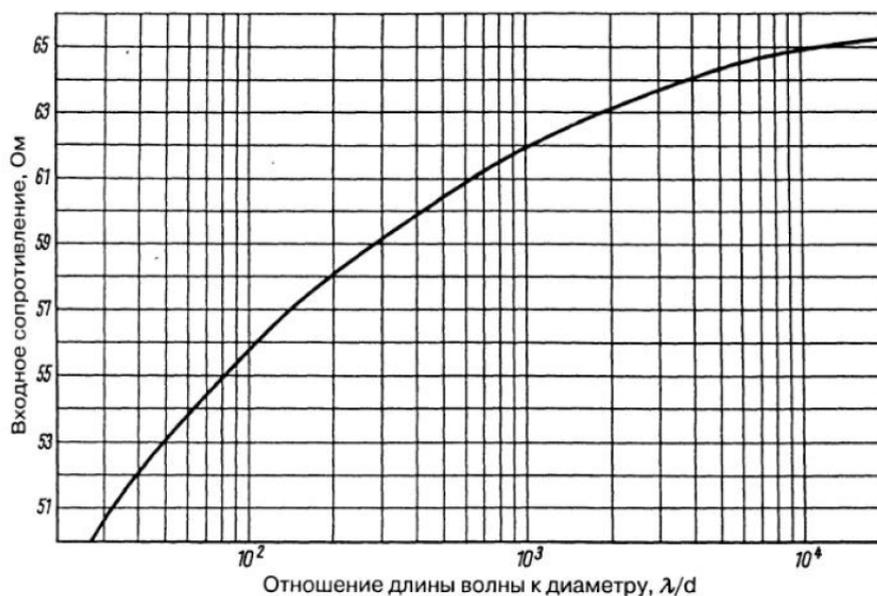


Рис. 2.13: Зависимость входного сопротивления полуволнового вибратора от соотношения  $\lambda/d$ .

При правильном согласовании входное сопротивление антенны должно равняться входному сопротивлению кабеля, которое, в свою очередь, должно быть равно входному сопротивлению приемника. Для этого существуют согласующие элементы – волновые трансформаторы.

При отсутствии идеального согласования антенны и кабеля имеет место отражение падающей волны (входного напряжения), например, от конца кабеля или другой точки, где его свойство резко меняется. В этом случае вдоль кабеля распространяются в противоположных направлениях падающая и отраженная волны. В тех точках, где фазы обеих волн совпадают, суммарное напряжение максимально, а в точках, где фазы противоположны, оно минимально.

## 2.12 Входное сопротивление приемника

Принятая антенной энергия электромагнитной волны, несущей сигнал, должна быть подведена к приемнику. Для того, чтобы волны не отражались и не теряли своей энергии, а правильно трансформировались при переходе из одного участка линии в другой, и чтобы на вход приемника поступил максимум энергии, принятой антенной сигнала, необходимо согласовать сопротивление антенны и входное сопротивление приемника.

## 2.13 Коаксиальные трансформаторы

Коаксиальные трансформаторы – это отрезки коаксиальных линий с заданными электрическими свойствами, предназначенные для согласования сопротивлений в коаксиаль-

ном тракте. Коаксиальные трансформаторы бывают двух видов — четвертьволновые и экспоненциальные. Четвертьволновой трансформатор — отрезок СВЧ линии передачи, длина которой, с учётом её коэффициента укорочения, равна четверти длины волны, возбуждаемой в этой линии. Экспоненциальный трансформатор — линия с плавно меняющимся волновым сопротивлением, позволяющая согласовывать участки СВЧ тракта с разным сопротивлением. В отличие от четвертьволновых трансформаторов, экспоненциальный трансформатор обладает более широким диапазоном рабочих частот.

### 2.13.1 Четвертьволновый трансформатор

Для согласования линии без потерь, имеющей волновое сопротивление  $Z_{B1}$ , с активной нагрузкой  $R_H$ , применяют четвертьволновой коаксиальный трансформатор. Он представляет собой отрезок линии без потерь длиной  $1/4$  длины волны с волновым сопротивлением  $Z_{B2}$ . Сопротивление  $Z_{B2}$  рассчитывают таким образом, чтобы входное сопротивление установилось равным  $Z_{B1}$ .

$$Z_{B2} = \sqrt{R_H \cdot Z_{B1}}$$

## Глава 3

# Практическая часть - конструирование антенны

Теперь, когда мы разобрались с базовыми понятиями, можно приступить к практической части – собрать свою антенну и принять на нее спутниковые данные в виде снимка.

Рассмотрим популярные метеорологические спутники NOAA и Метеор М2. Оба этих спутника поддерживают режим АРТ (Automatic Picture Transmission) – система автоматической передачи изображений, которая представляет собой аналоговую систему передачи изображений, разработанную для использования на метеорологических спутниках.

Она была представлена в 1960-х годах и с тех пор предоставляет данные изображений недорогим пользовательским станциям по всему миру. В любой точке мира можно получать локальные данные не менее двух раз в день с каждого спутника.

В настоящее время функционируют спутники NOAA 15, 18 и 19 США, а также российские Метеоры М2 LRPT (передача изображений с низкой скоростью) и HRPT (передача изображений с высокой скоростью).

Спутники передают сигналы АРТ по нисходящей линии связи, используют четырехзаходную спиральную антенну (QFH) с правой круговой поляризацией (RHCP). Популярными вариантами антенн для приема сигналов с круговой поляризацией являются турникетные антенны – именно такую мы рассчитаем и соберем.

### 3.1 Турникетная антенна

Турникетная антенна (от фр. *tournequet* — турникет, вертящаяся крестовина) — это антенна, состоящая из двух вибраторных антенн с общим центром, расположенных друг к другу под прямым углом, со сдвигом фаз на  $90^0$ . Название антенны связано с её внешним видом, напоминающим плоский турникет. Предложена Дж. Брауном в 1935 году. Одна из простейших антенн для приема сигналов с круговой поляризацией.

**Для работы понадобятся:**

- Штатив для траверсы (держатель элементов антенны)
- Крепления вибраторов к траверсе
- Алюминиевые трубки (наружный диаметр 6 мм, внутренний – 4 мм)
- Коаксиальный кабель 50 ом
- Коаксиальный кабель 75 ом
- Крепеж и инструменты

**Внешний вид антенны:**

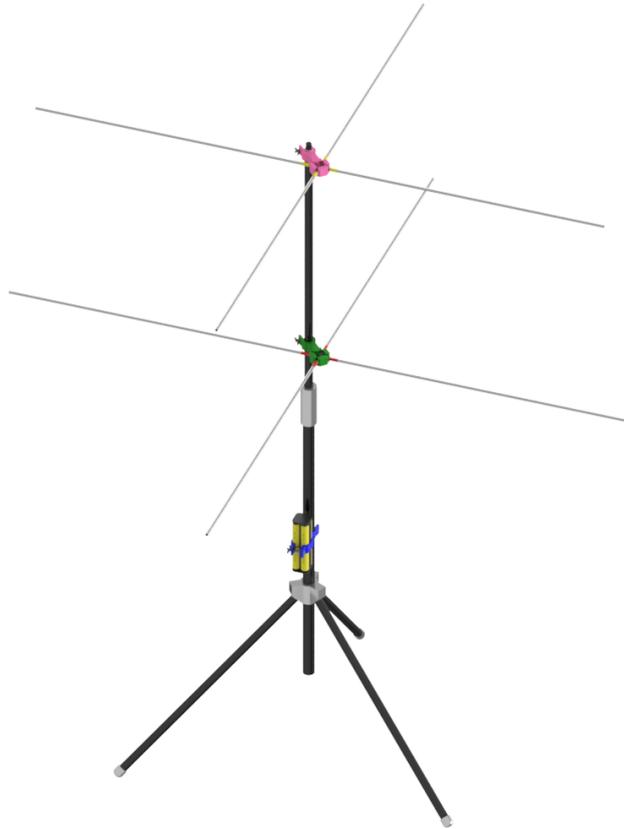


Рис. 3.1: Вид турникетной антенны из набора "Космические данные" от Братя Вольт.

## 3.2 Расчет антенны

Мы с вами знаем, что хотим принимать спутники серии NOAA и Метеор в УКВ-диапазоне. Отсюда мы получаем необходимые технические параметры нашей антенны.

- Центральная частота для расчетов 137.6 МГц (антенна под резонанс)
- Круговая поляризация - правая
- Входное сопротивление антенны 50 Ом  $\pm$ 10% (согласно с приемником)

Турникетная антенна, как мы писали выше, представляет из себя два скрещенных диполя, включенных со сдвигом фаз в  $90^\circ$ . Сдвиг фаз достигается добавлением четвертьволновой сдвигающей линии (пока сигнал проходит дополнительное расстояние в четверть длины волны, он как раз сдвигается на  $90^\circ$ ).

Принципиальная схема нашей антенны будет выглядеть вот так:

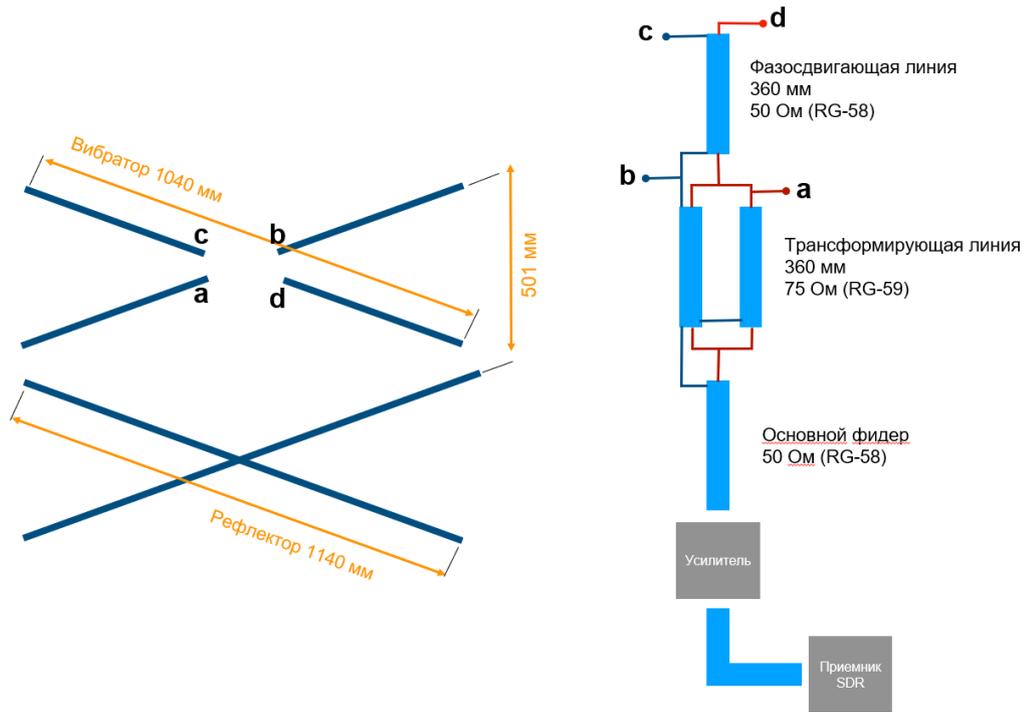


Рис. 3.2: Принципиальная схема ткникетной антенны из набора "Космические данные".

Однако, важно понимать, откуда берутся все эти цифры. Первое, что надо сделать при расчете антенны - это узнать длину волны принимаемого сигнала по формуле  $\lambda = c/\omega$ :

$$\lambda = \frac{c}{\omega} = \frac{300 \cdot 10^8}{137.6 \cdot 10^8} = 2.18$$

где  $c$  - скорость света, равная  $3 \cdot 10^8$  м/с и  $\omega$  - частота в герцах равная из условия  $137.6 \cdot 10^6$ Гц

Таким образом, поделив эти два числа мы получили что длина волны будет равна 2.18м

Значит общая длина нашего полуволнового вибратора будет:  $\lambda/2 = 1.09$  м.

Поскольку вибраторы мы изготавливаем из реальной трубки имеющей определенный диаметр  $d = 6$ мм, нам необходимо определить коэффициент укорочения. Его мы определим из графика в соответствующей главе. Для начала определим значение  $\lambda/d$ .

$$\lambda/d = \frac{2.18}{0.006} = 363.33$$

Тогда из графика мы находим коэффициент укорочения  $K \approx 0.95 - 0.96$ .

Теперь мы можем получить реальную длину полуволнового вибратора:

$$\lambda \cdot K = 2.18 \cdot 0.955 \approx 2.08$$

Таким образом, длина одного четвертьволнового вибратора соответственно составит 0.52м.

Если вы собираете антенну из набора, идущего в комплекте, то вам необходимо изготовить 4 четвертьволновых вибратора нужной длины. Однако надо учитывать, что в наборе для крепления антенны к штативу используются детали, которые позволяют легко снимать вибраторы, накручивая их на металлические винты. Поскольку эта часть с винтами имеет определенную длину, то необходимо вычесть 10 мм из длины самих вибраторов.

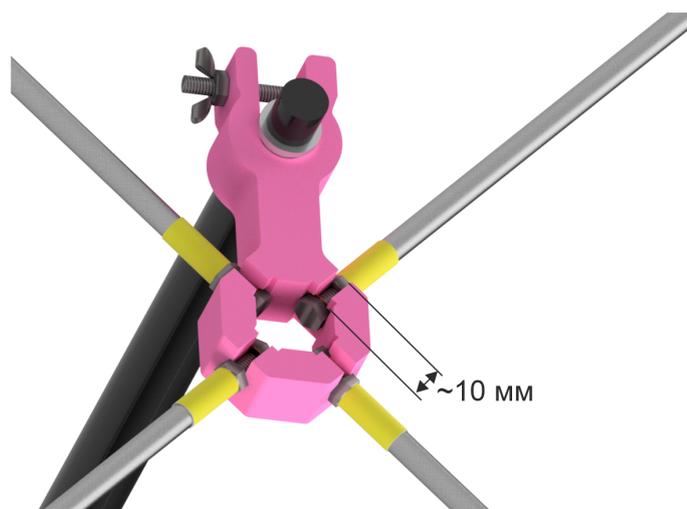


Рис. 3.3: Вид винтового крепления.

Таким образом, вам необходимо изготовить 4 вибратора длиной 0.51 м каждый. Обратите внимание, что в наборе даны трубки длиной 1 метр, и что они с одной стороны обозначены цветной лентой. С этой стороны нарезана резьба для накручивания на винт. Именно от этой стороны надо вести измерения.

**Важно!** Выбирайте 4 трубки, обозначенные одним цветом, для вибраторов. Трубки второго цвета будут использованы для изготовления рефлектора.

### 3.3 Расчёт рефлектора

Как разбиралось в разделе 2.10, для рефлектора рекомендуется увеличивать длину полуволнового вибратора на 5-10%. Таким образом,  $1,04 \cdot 1,1 \approx 1,14$  м. Мы сознательно округляем результат для удобства изготовления антенны. По аналогии с изготовлением трубок вибратора, мы получаем, за вычетом винтов креплений, длины трубок рефлектора около 0.56 м.

Расстояние между плоскостью вибраторов и рефлектора должно быть примерно 0.23-0.24 длины волны (рис. 2.12), т.е. около 0.5 м.

### 3.4 Согласование антенны

Для оптимальной работы антенны нам необходимо согласовать выходное сопротивление антенны с входными сопротивлениями усилителя и приемника, равными 50 Ом. Входное сопротивление дипольной антенны можно найти из графика в соответствующей главе.

При нашем соотношении  $\lambda/d = 363.33$  оно получается равным примерно 60 Ом. С учетом того, что наша турникетная антенна состоит из двух полуволновых диполей, включенных параллельно, то суммарное входное сопротивление такой конструкции грубо можно считать 30 Ом.

Рассчитаем необходимое сопротивление четвертьволнового трансформатора:

$$Z_{B2} = \sqrt{R_H \cdot Z_{B1}} = \sqrt{30 \cdot 50} \approx 38.7$$

Необходимое сопротивление для согласования составляет 38.7 Ом. Близкое сопротивление можно получить, включив параллельно два кабеля по 75 Ом – они есть у вас в наборе. Длина согласующих отрезков также составит 1/4 длины волны.

### 3.5 Коэффициенты укорочения кабелей

В наборе представлены коаксиальные кабели с диэлектриком в виде сплошного полиэтилена. Коэффициент укорочения для таких кабелей равен 0,66 (рис. 2.11). Соответственно, длины всех четвертьволновых отрезков можно рассчитать так:

$$L = \frac{1}{4} \lambda \cdot 0.66 = \frac{2.18}{4} \cdot 0.66 \approx 0,36$$

### 3.6 Сборка антенны

Теперь, когда мы рассчитали все цифры из схемы в начале этого раздела, надо собрать антенну. У вас в наборе есть следующие компоненты:



Рис. 3.4: Состав набора

Порядок сборки предлагается следующий:

#### 3.6.1 Шаг 1

После проведения расчетов длин трубок для вибратора и рефлектора, они обрезаются до нужного размера.



Рис. 3.5: Обрезка трубки до нужного размера

Обратите внимание, что в наборе даны трубки длиной 1 метр, и что они с одной стороны обозначены цветной лентой. С этой стороны нарезана резьба для накручивания на винт. Именно от этой стороны надо вести измерения и отпиливать другой конец трубки.

Выбирайте для вибраторов 4 трубки, обозначенные одним цветом. Трубки второго цвета будут использованы для изготовления рефлектора.

### 3.6.2 Шаг 2

В наборе есть два держателя:

- Для вибраторов - он подходит к верхней серебристой части штатива и имеет немного меньший диаметр

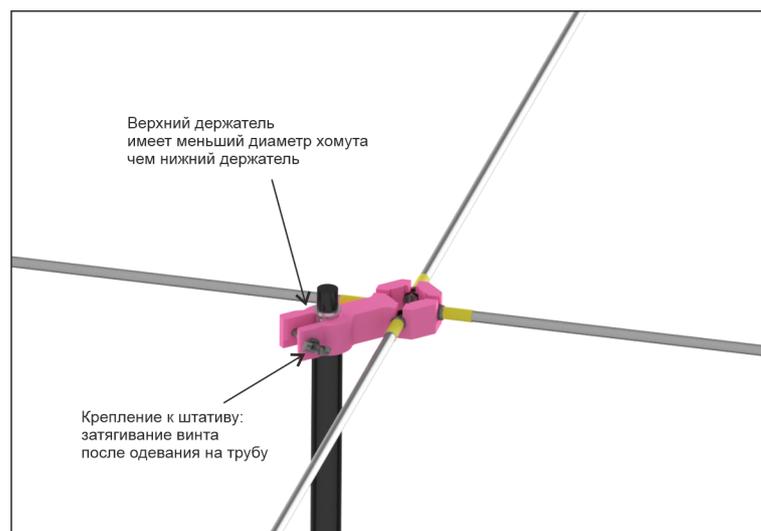


Рис. 3.6: Вид крепления вибраторов (верхнего).

- Для рефлектора - держатель закрепляется на штатив ниже вибраторов и может перемещаться по нему на необходимое расстояние, рассчитанное вами.

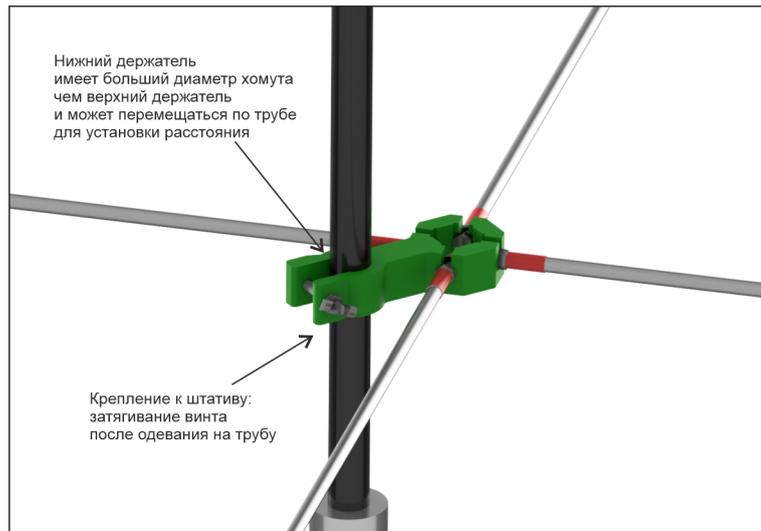


Рис. 3.7: Вид крепления рефлектора (нижнего).

Держатели фиксируются на штативе затягиванием болтов на гайки-барашки.

В держатель вибратора необходимо установить винты из набора - шляпкой внутрь (она встает в пазы), под шляпки надеть контактные лепестки. Снаружи крепления затянуть гайкой. Верхнее и нижнее крепления собираются одинаково.

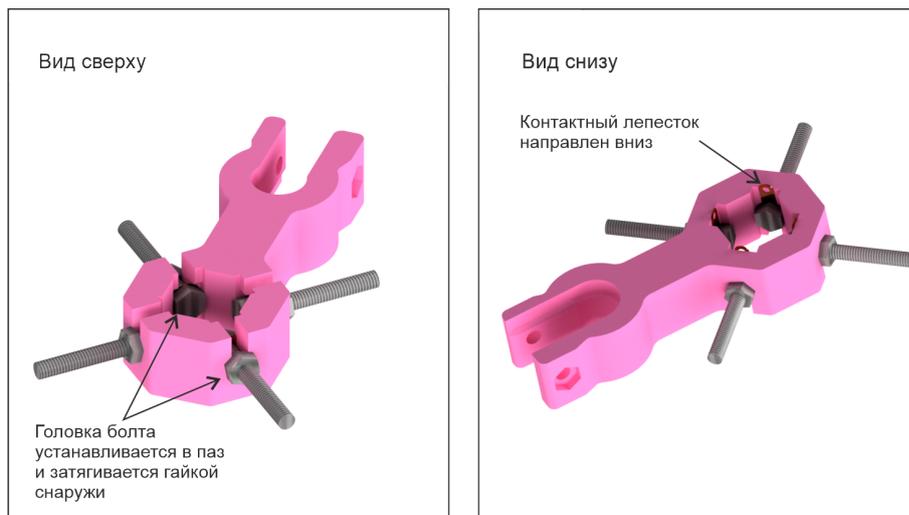


Рис. 3.8: Крепление винтов с контактными лепестками

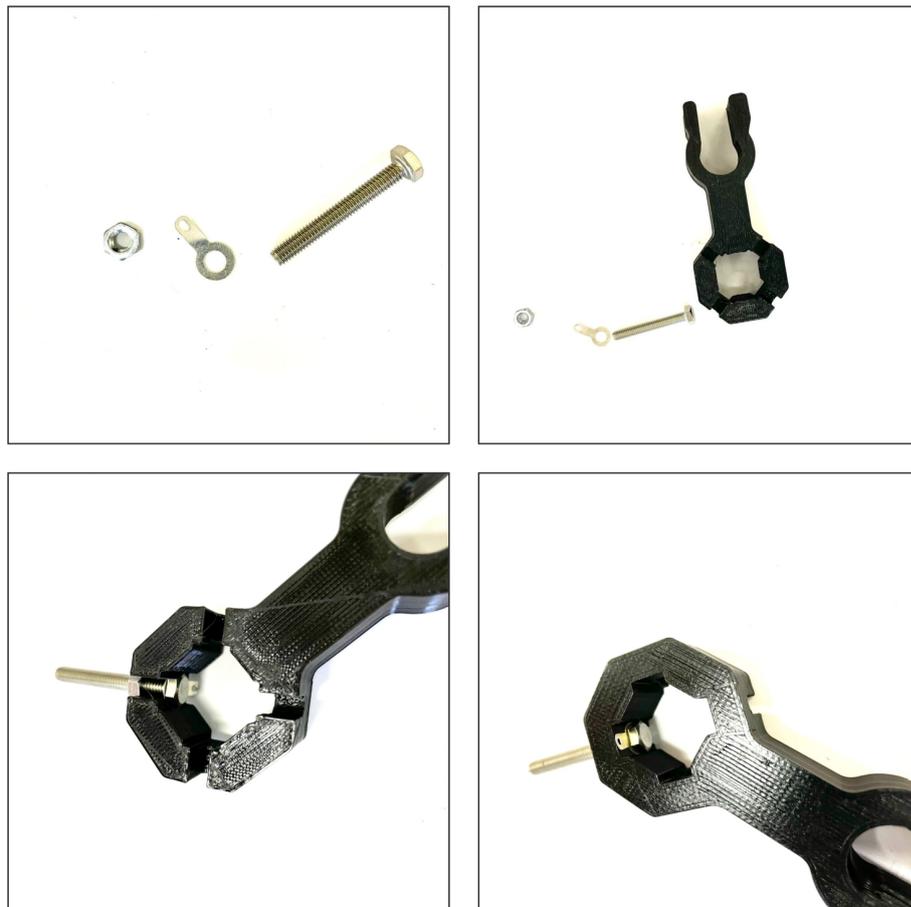


Рис. 3.9: Крепление винтов с контактными лепестками (фото)

### 3.6.3 Шаг 3

Припаять согласно схеме кабели к контактными лепесткам. Для этого необходимо сначала изготовить набор кабелей:

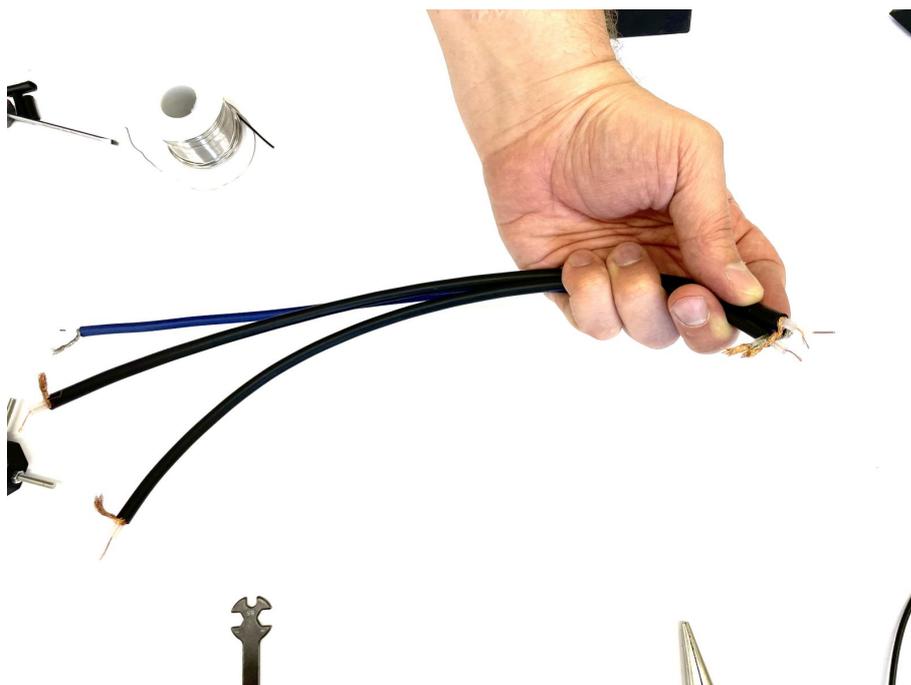


Рис. 3.10: Пайка кабелей

На конец кабеля, идущий от антенны (его рекомендуется делать кратным четверти длины волны), устанавливается SMA-58P разъем. Этим разъемом антенна подключается к усилителю сигнала.



Рис. 3.11: Готовый кабель

Припаять согласно схеме кабеля к контактным лепесткам. Для удобства можно сделать отдельный вывод для оплетки.



Рис. 3.12: Готовый кабель

**Важно! Соблюдайте последовательность а-в-с-д согласно схеме!**



Рис. 3.13: Готовое крепление вибраторов

После сборки зафиксировать провода на траверсе (штативе) можно изолентой или стяжкой.

#### 3.6.4 Шаг 4

Для отражателя лепестки спаиваются между собой.

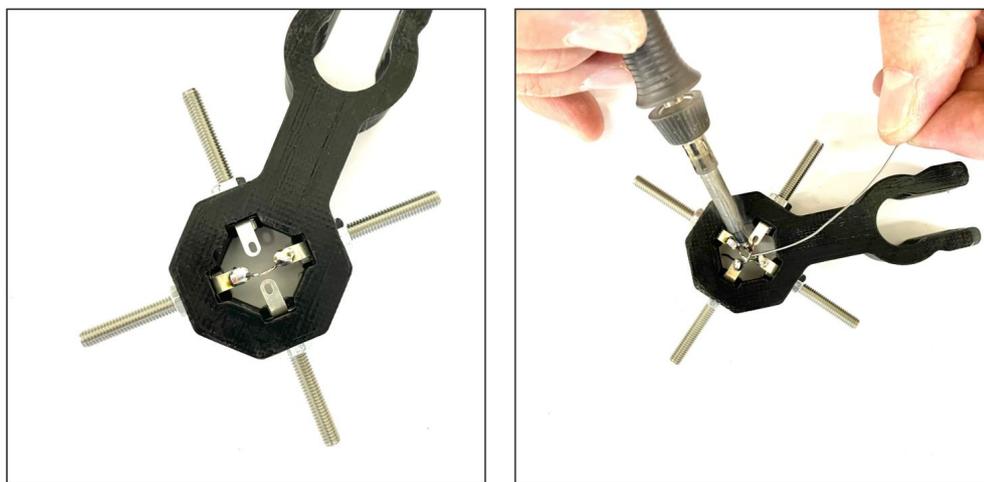


Рис. 3.14: Спаянные лепестки рефлектора.

#### 3.6.5 Шаг 5

Изготавливаем еще один провод, длиной около 2 метров, с установленными на концах разъемами. Этот провод соединяет усилитель с приемником.

Отдельно рассмотрим установку разъемов SMA-58P на кабель:

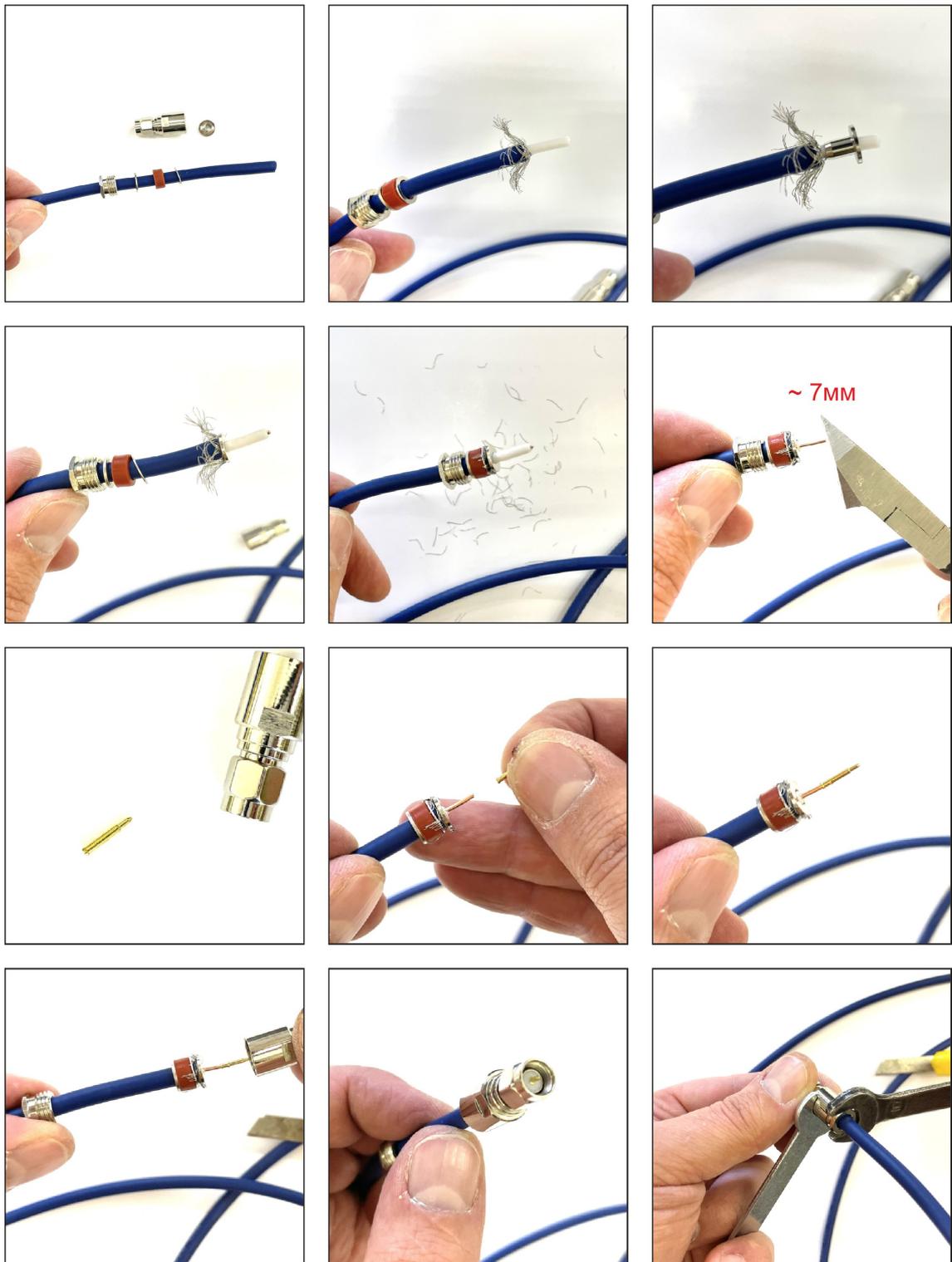


Рис. 3.15: Установка разъема SMA-58P

В результате у вас получится кабель с двумя разъемами на концах.

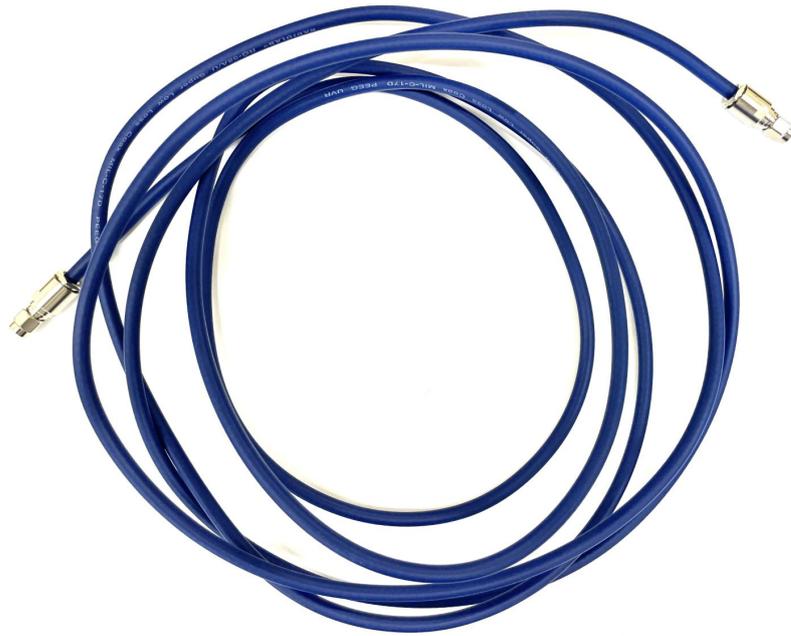


Рис. 3.16: Вид готового кабеля

### 3.6.6 Шаг 6

К усилителю необходимо припаять разъем питания из набора. Для определенности везде делаем положительную жилу в центре разъема.

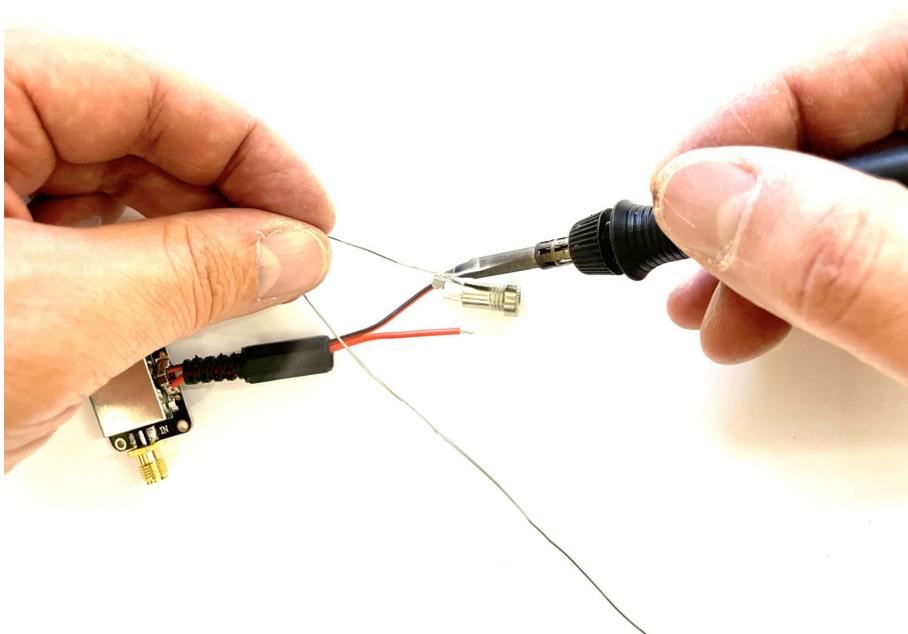


Рис. 3.17: Припаиваем разъем питания к усилителю



Рис. 3.18: Усилитель с припаянным разъемом

К блоку батарей необходимо припаять ответную часть разъема питания.

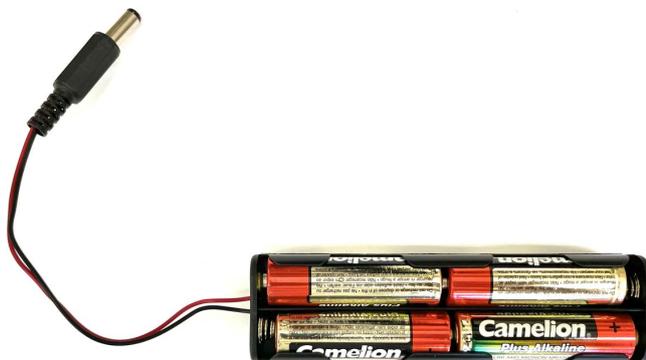


Рис. 3.19: Батарейный отсек с разъемом

Блок батарей закрепляется на второй секции штатива с помощью держателя.



Рис. 3.20: Вид турникетной антенны из набора "Космические данные" от Братя Вольт.



Рис. 3.21: Фотография собраной антенны из набора "Космические данные" от Братя Вольт.

При подключении усилителя важно соблюдать полярность питания и направление от антенны к приемнику. В некоторых случаях в зоне с очень хорошим сигналом усилитель может в том числе и мешать приему. В этом случае рекомендуется подключить приемник

к кабелю, минуя усилитель.

### 3.7 Средства радиоприема

Средства радиоприема можно классифицировать таким образом:

- Приемники прямого преобразования;
- Приемники гетеродинным смесителем частоты;
- Программно управляемые приемники.

Приемники прямого преобразования имеют в основе колебательный контур, демодулятор и усилитель. Преимущество таких приемников заключается в простоте их изготовления и малом количестве компонентов, простоте настройки. Основными недостатками приемников такого типа является большое количество интермодуляционных помех, связанных с работой усилительного каскада, а так же малой чувствительностью (слабые сигналы он не поймает). Более подробно вы можете ознакомиться с этим в литературе.

Приемники-супергетеродины представляют из себя довольно интересное схемотехническое решение, в котором используется внутренний генератор, синхронно настраиваемый на частоту приема и гасящий несущую частоту. Таким образом, остается полезный сигнал в практически неизменном виде. Данные приемники характеризуются сложностью в изготовлении и настройке, однако основной плюс данной разновидности приемников – чувствительность, что в целом является главным параметром в аппаратуре приема электромагнитных волн.

Программно управляемые приемники (SDR) представляют собой сложную схемотехническую архитектуру, в которой входной приемный каскад имеет широкополосные настраиваемые фильтры, аналогово-цифровой преобразователь, от разрядности которого зависит полоса визуализации волнового спектра, и системы квадратурной обработки информации, а также системы передачи информации на персональный компьютер, либо другое устройство контроля.

Подробнее об устройстве каждого типа приемников можно прочитать в специализированной литературе. Здесь приведена классификация для общего понимания.

Наибольший интерес, с точки зрения доступности, представляют именно программно управляемые приемники, поэтому мы будем работать с одним из таких приемников.

## 3.8 Приемное оборудование в наборе

### 3.8.1 SDR приемник (Software Defined Radio)



Рис. 3.22: Современный SDR приемник.

#### **Характеристики:**

Диапазон: 500 кГц – 1766 МГц

Ширина полосы: до 2.4 MHz

Входное сопротивление: 50 Ом

Потребляемый ток: 270 – 280 мА

Разъем: SMA

Поддержка: AM, NFM, FM, DSB, USB, LSB и CW

### 3.8.2 Малошумящий усилитель

Малошумящие усилители (Low Noise Amplifiers, LNA) - современные устройства для усиления принимаемого сигнала. Во многих случаях они могут существенно улучшать прием. В вашем наборе представлен широкополосный усилитель начального уровня.

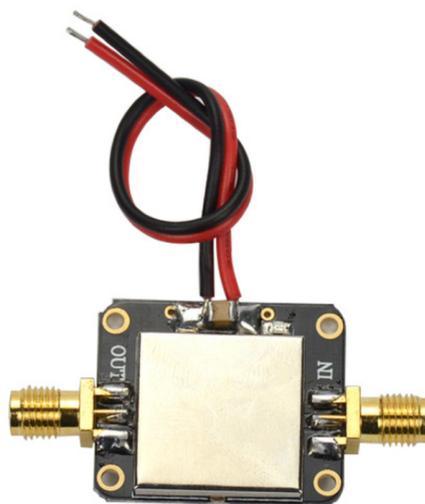


Рис. 3.23: Широкополосный малошумящий усилитель сигнала (LNA)

### Характеристики

Питание: 12В

Усиление (макс): 32dB

Входное сопротивление: 50 Ом

Рабочий диапазон частот: 1МГц - 2ГГц

Разъем: SMA

Частота ГГц	Усиление dB
0.01	20
0.05	27
0.1	20
0.5	27
0.8	25
1	23
1.5	17
2	16.5

В некоторых случаях в зоне с очень хорошим сигналом усилитель может в том числе и мешать приему за счет чрезмерного усиления сигнала. В этом случае рекомендуется подключить приемник к кабелю, минуя усилитель.

## Глава 4

# Настройка программного обеспечения

Для начала работы с приемником и получения снимков со спутников на вашу антенную станцию необходимо установить следующие программы:

- Orbitron
- SDR Sharp
- Sattelite Tracker
- DDE Tracker
- Meteor Demodulator
- Драйвер VBCable
- Декодер NOAA: WXtoImg
- Декодер Метеор M2: LRPT Meteor Decoder

Все файлы, необходимые для выполнения нижеописанных действий, мы собрали в одном архиве. Скачайте его, распакуйте и в дальнейшем используйте программы и приложения из него. Сборка проверена и описана для операционной системы Windows 10.

Ссылки на файлы ищите тут: [www.voltbro.ru/koda](http://www.voltbro.ru/koda)

### 4.1 Orbitron

Спутники - вещь подвижная, поэтому, чтобы принять с них сигнал, нужно точно знать, какой спутник и когда будет пролетать над нами. Для этих целей польский радиолобитель написал программу Orbitron, которая не только следит за спутниками в реальном времени, но и может рассчитать их положение в режиме симуляции.

Программа считается одной из лучших, обладает богатым функционалом и простотой освоения. Программа бесплатная, сайт автора: <http://www.stoff.pl>

Запускаем установку программы обязательно от имени администратора и разрешаем изменения на компьютере. Установку рекомендуется проводить, ничего не меняя от стандартных предложений.

После завершения установки программа откроется. Закрываем «Окно сообщений» и в окне «Подтверждение» про TLE нажимаем «Нет».

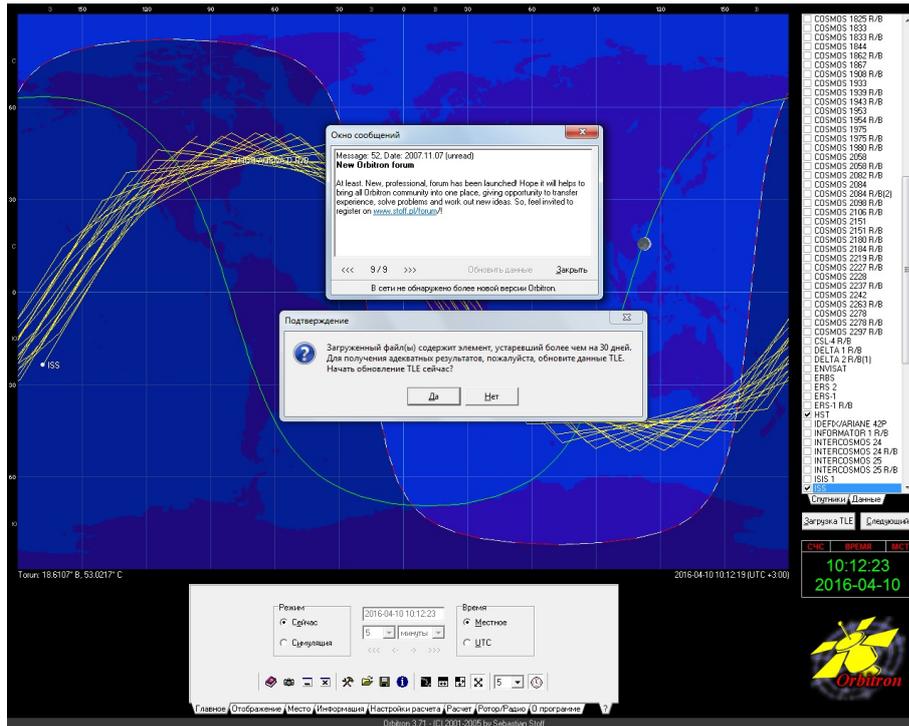


Рис. 4.1: Программа Orbitron

Внимание! Последующие запуски программы Orbitron обязательно производить от имени администратора!

Если программа запустилась в полноэкранном режиме, выйти из него можно, нажав на клавиатуре комбинацию клавиш «ALT+ENTER».

#### 4.1.1 Настройки программы

Для начала работы нужно указать свое местоположение. Перейдите на вкладку "Место". Здесь необходимо сообщить программе ваше (вашего приемного пункта) местоположение. Вместо внесенного по умолчанию Town введите Название своего местоположения, обозначение, высоту, долготу и широту.

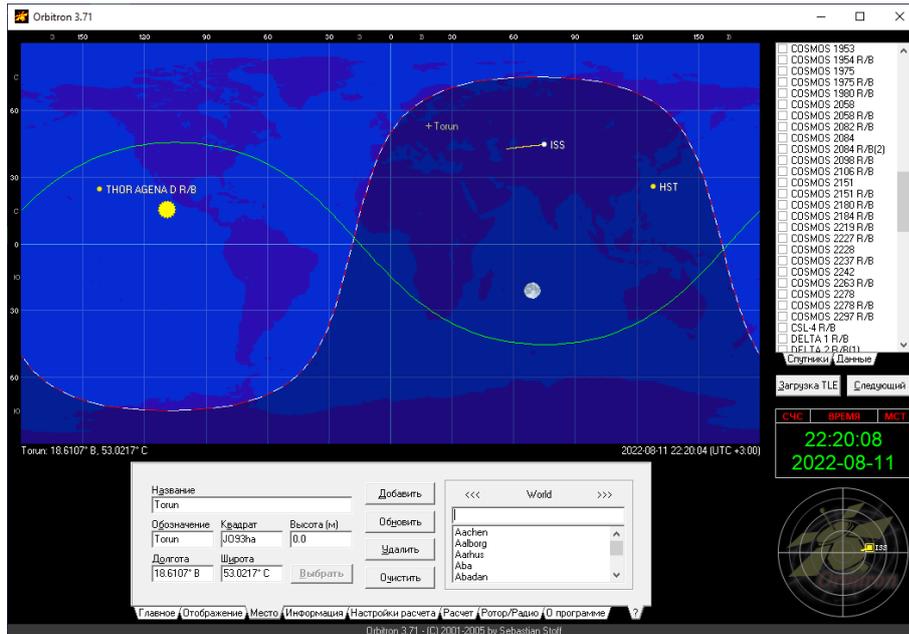


Рис. 4.2: Программа Orbitron

Узнать эти значения можно на картах Гугл, Яндекс, или в навигаторе на телефоне. Например в приложении компас:



Рис. 4.3: Приложение компас мобильного телефона

После ввода своих данных нажимаем кнопки «Добавить» и «Выбрать».

При указании координат вашей станции так же необходимо учесть особенности перевода координат из Долготы и Широты в минуты и секундах в десятичный вид. Проверить себя можно в онлайн калькуляторе <https://www.latlong.net/degrees-minutes-seconds-to-decimal-degrees>

Данные введены, и ваше положение отобразились на карте.

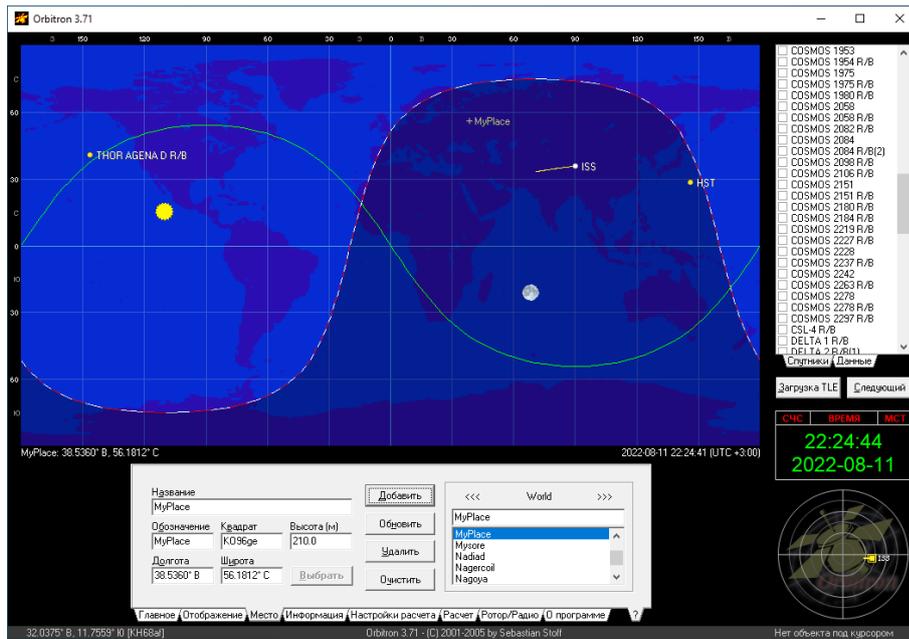


Рис. 4.4: Программа Orbitron

Открываем дополнительное меню, нажав на закладке «Главное» кнопку «Настройки» (ключ и молоток). Также можно вызывать меню, нажав на точку в правом верхнем углу экрана или нажать комбинацию клавиш «ALT+F5».

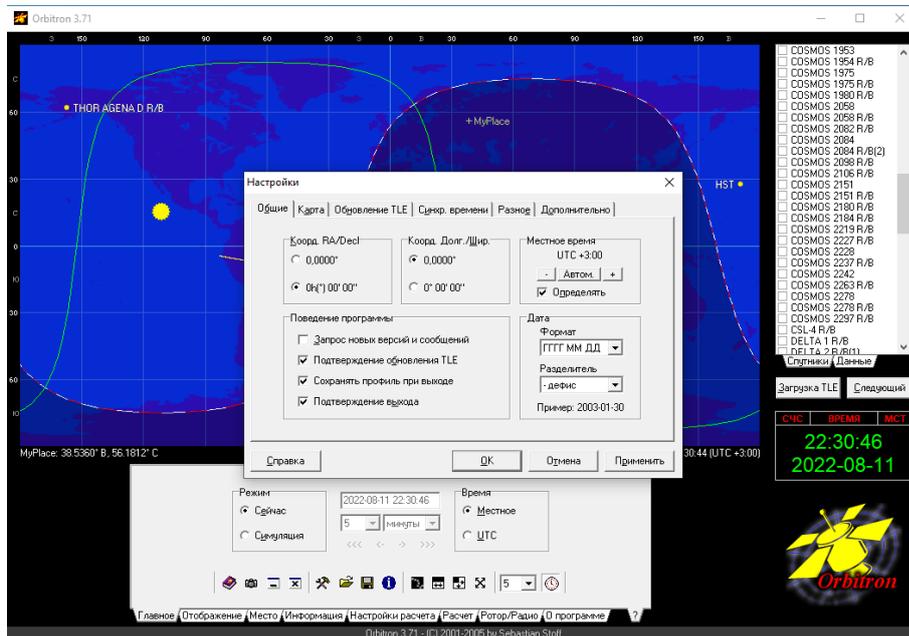


Рис. 4.5: Программа Orbitron

Переходим во вкладку «Карта» и выбираем вариант отображения «Coloured»

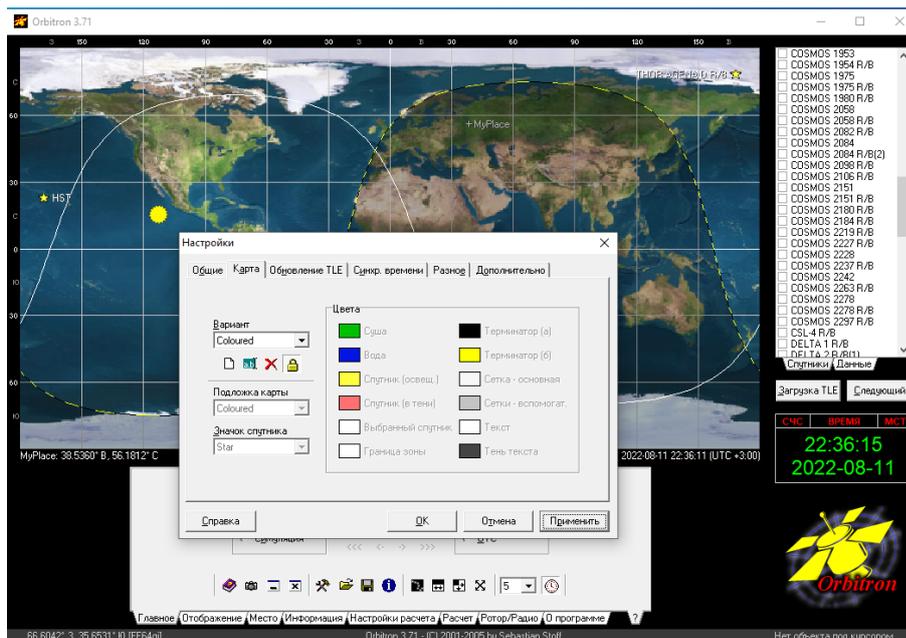


Рис. 4.6: Программа Orbitron

Нажимаем кнопку «Применить». Теперь карта приобрела привычный вид. Переходим во вкладку «Обновление TLE». TLE (аббревиатура от англ. two-line element set, двухстрочный набор элементов) — это двухстрочный формат данных, представляющий собой набор элементов орбиты для спутников Земли. Поскольку со временем происходят изменения, то данные по орбитам необходимо периодически обновлять — для наиболее точного прогнозирования положения спутников. Ставим «Срок действия TLE» 14 дней и устанавливаем галочку «Обновлять группу автоматически».

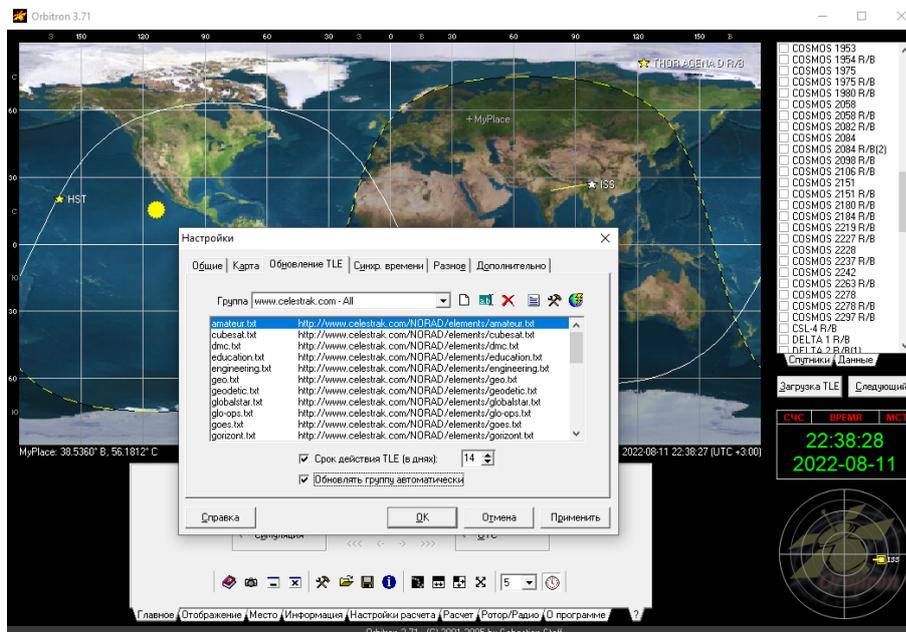


Рис. 4.7: Программа Orbitron

Теперь нам нужно отредактировать список источников обновления. Для этого нажимаем «Редактировать группу». Иконка выглядит, как лист бумаги с линиями. В открывшемся окне добавляем в конец списка новый источник: <http://r4uab.ru/satonline.txt>

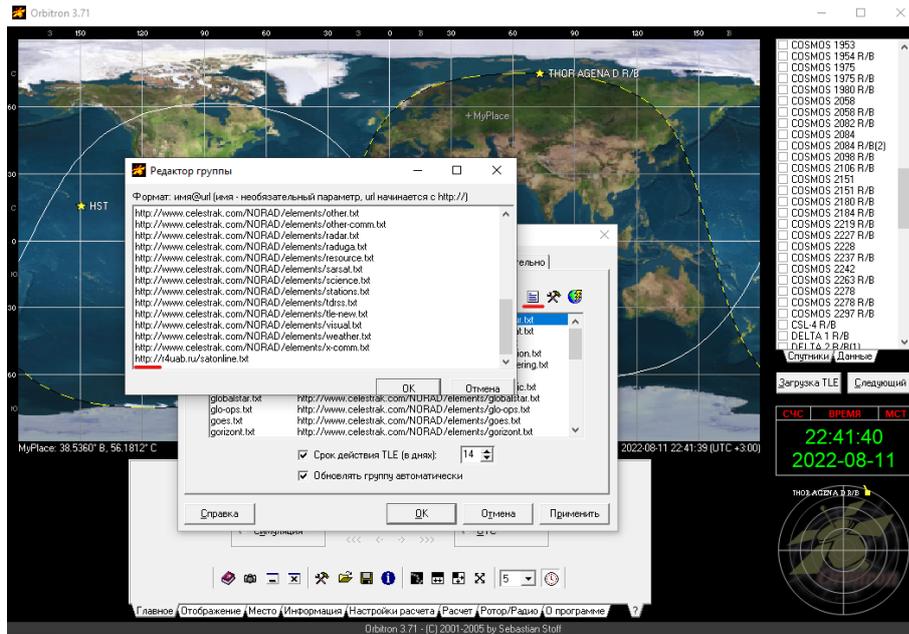


Рис. 4.8: Программа Orbitron

Нажимаем "ОК" для сохранения списка и "Применить" для сохранения настроек. Переходим во вкладку "Синхронизатор времени" и устанавливаем галочку "Синхронизировать часы компьютера при старте программы".

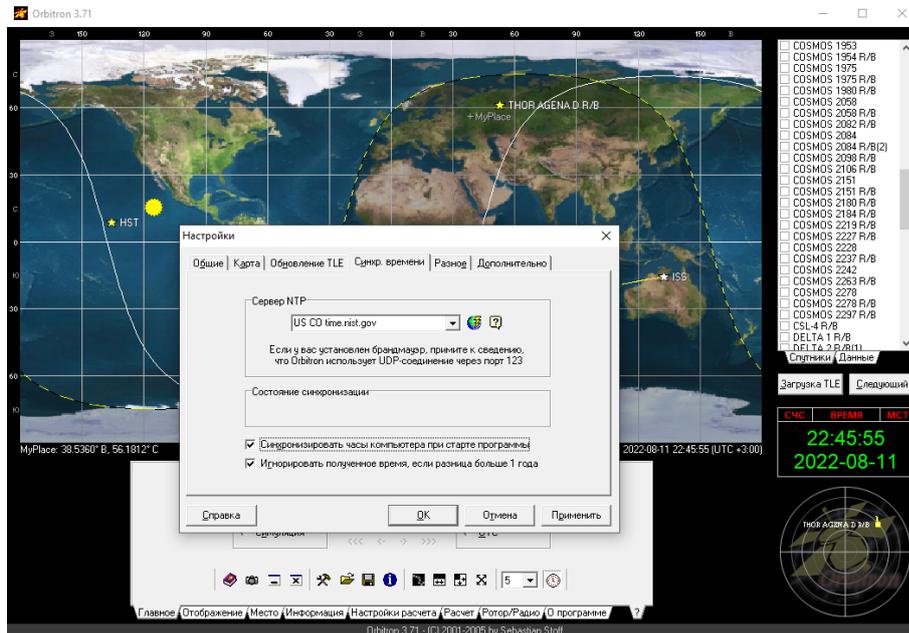


Рис. 4.9: Программа Orbitron

Сохраняем настройки, нажав "ОК" и "Применить". Теперь нам нужно обновить орбитальные параметры спутников. Для этого вызываем меню, нажав на точку в верхней правой части программы, и выбираем пункт «Автообновление TLE».

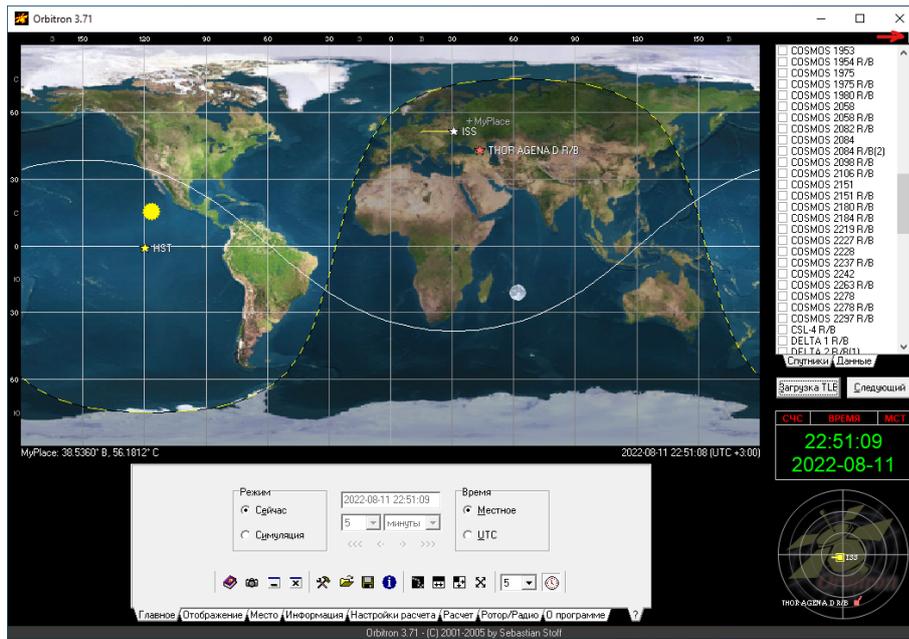


Рис. 4.10: Программа Orbitron

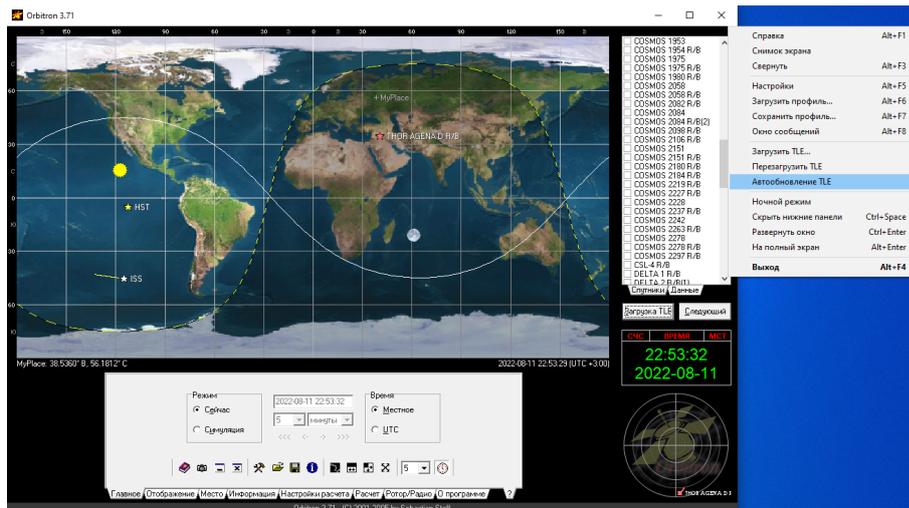


Рис. 4.11: Программа Orbitron

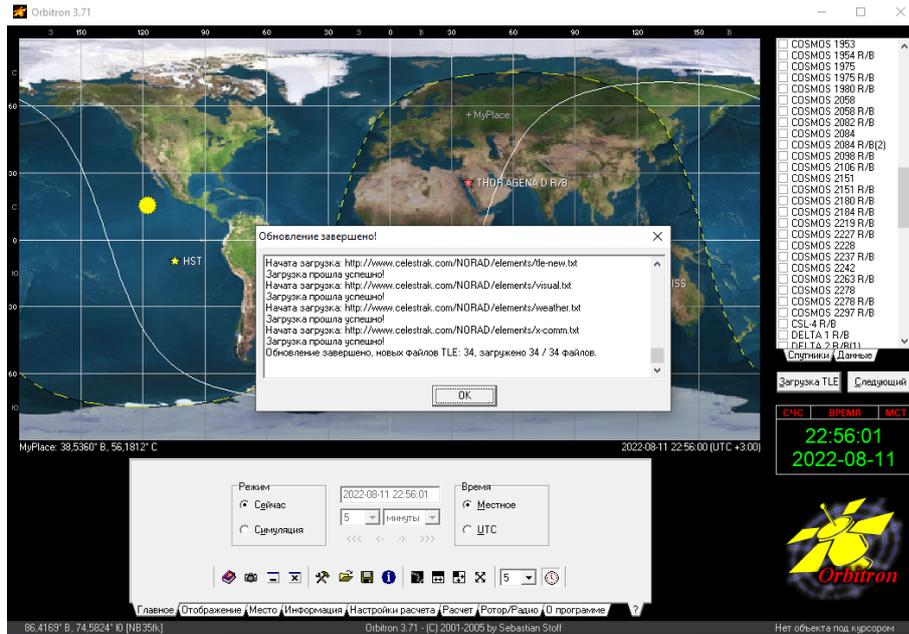


Рис. 4.12: Программа Orbitron

После окончания загрузки нажимаем «ОК». Теперь загрузим список активных для связи спутников, нажав на «Загрузка TLE».

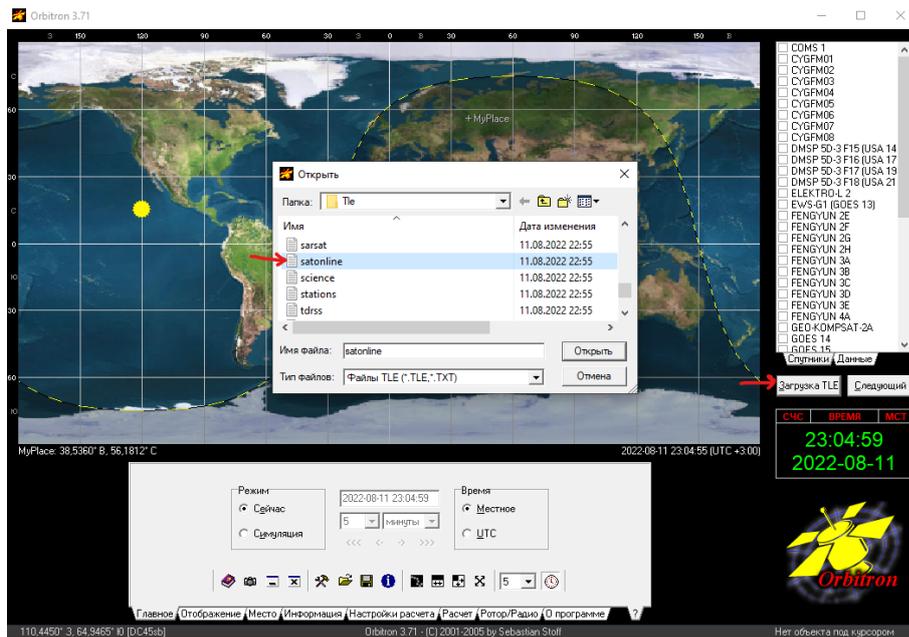


Рис. 4.13: Программа Orbitron

Выбираем satonline и нажимаем кнопку «Открыть». Справа на белом фоне загрузится список рабочих спутников.

Для включения спутника на отслеживание нужно просто установить галочку напротив его названия. Найдите и отметьте галочками спутники NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19, METEOR M2.

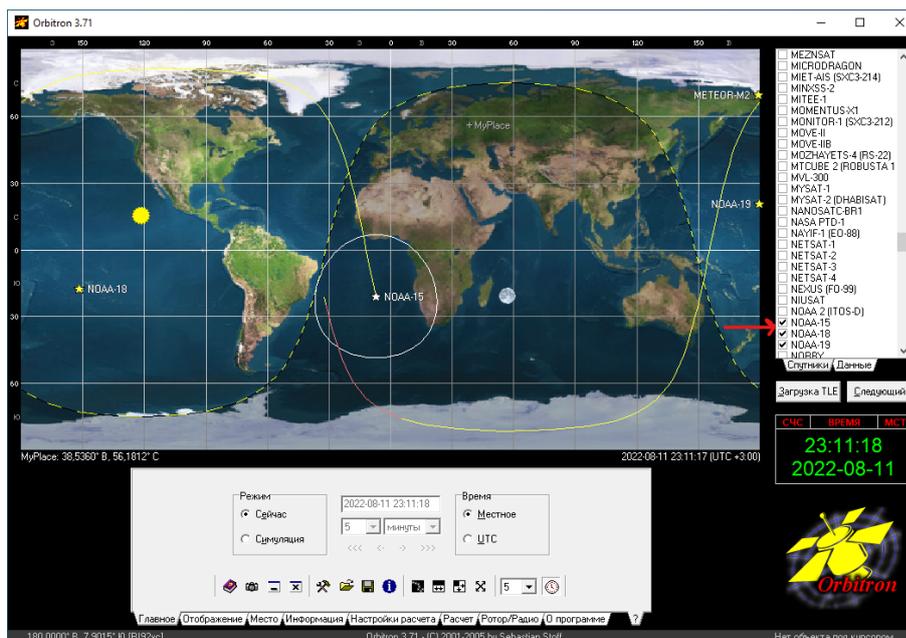


Рис. 4.14: Программа Orbitron

Теперь вы видите их отображение на карте - основная настройка завершена. Закройте программу.

#### 4.1.2 Обновление базы частот

В связи с тем, что программа Orbitron последнее время не обновляется, данные частот, на которых работают спутники, устарели – их тоже нужно обновить. Для этого запускаем программу Frequencies for Orbitron (оригинал можно скачать тут: <https://r4uab.ru/frequenciesfor-orbitron/>).

Установка крайне проста: запустите инсталлятор и далее вам только нужно выбрать каталог с установленным орбитроном и подтверждать свои действия. В WINDOWS 10 иногда на программу происходит ложное срабатывание «Защитника Windows». В файле вирусов нет!

### 4.2 Использование Orbitron для предсказания пролета спутника

Запустите программу Orbitron от имени администратора.

Одной из важных практических функций программы Орбитрон является предсказание времени, когда спутник будет проходить над вашим местоположением. Зная это время, вы сможете подготовлен- ным выйти на подходящее открытое пространство и осуществить прием информации на сделанную вами антенну.

Для работы с этим функционалом предназначены две закладки: «Настройки расчета» и «Расчет». На вкладке «Настройки расчета» необходимо указать параметры, которые необходимо учитывать при расчетах.

Для хорошего приема лучше всего выбирать те сеансы, когда спутник в момент пролета в вашей области поднимается на 40 градусов и выше.

Для приема спутников, пролетающих под низким углом, необходимо достаточно высокое место для расположения антенны и механизм направления антенны на спутник. Уберите галочки "Требуется освещение" и "Высота солнца», поставьте значение высоты спутника > 45° отметьте, чтобы включать в расчет все ведомые (выбранные справа) спутники, и сделайте прогноз на 1-2 дня.

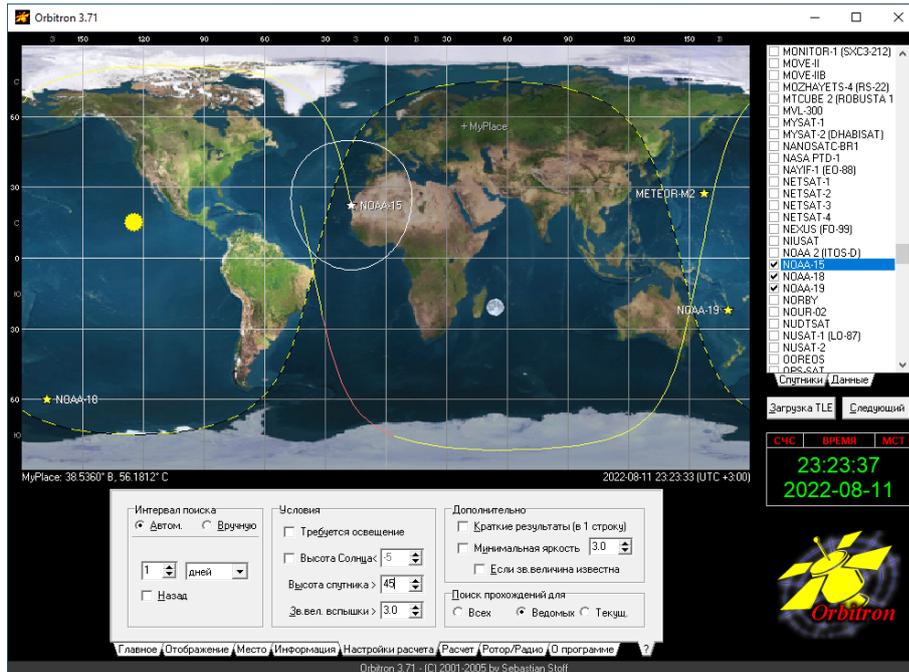


Рис. 4.15: Программа Orbitron

Перейдите на вкладку «Расчет» и нажмите «Расчет».

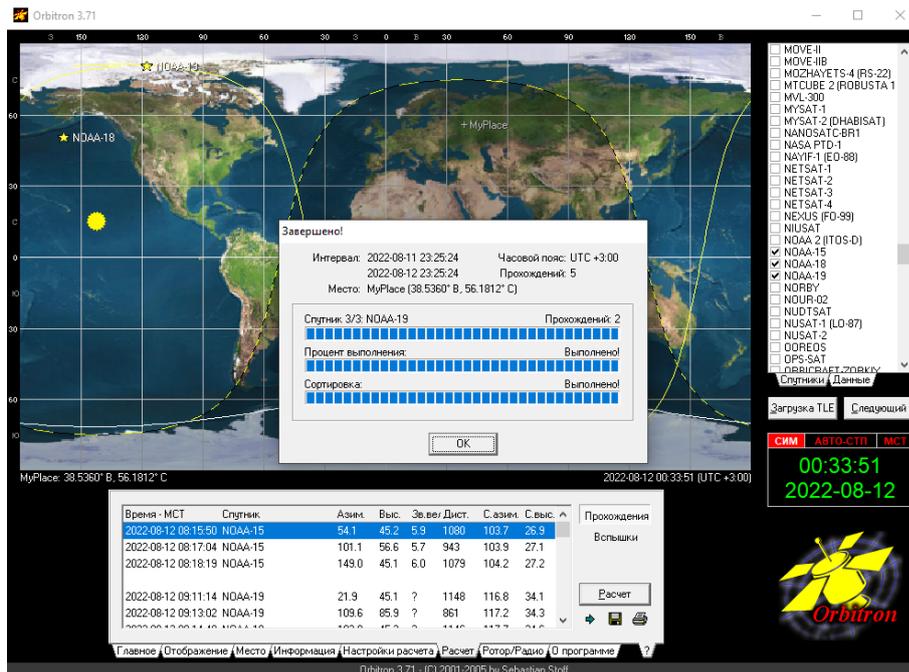


Рис. 4.16: Программа Orbitron

После завершения расчета нажмите "ОК".

В полученной таблице вы увидите прогноз времени, когда отмеченные спутники будут пролетать над вашим местом приема. Именно в это время необходимо будет осуществлять прием.

Дважды нажав на интересующий вас пролет в таблице, вы запустите режим симуляции - увидите спутник на радаре. Выключить режим симуляции можно, нажав на кнопку "СИМ".

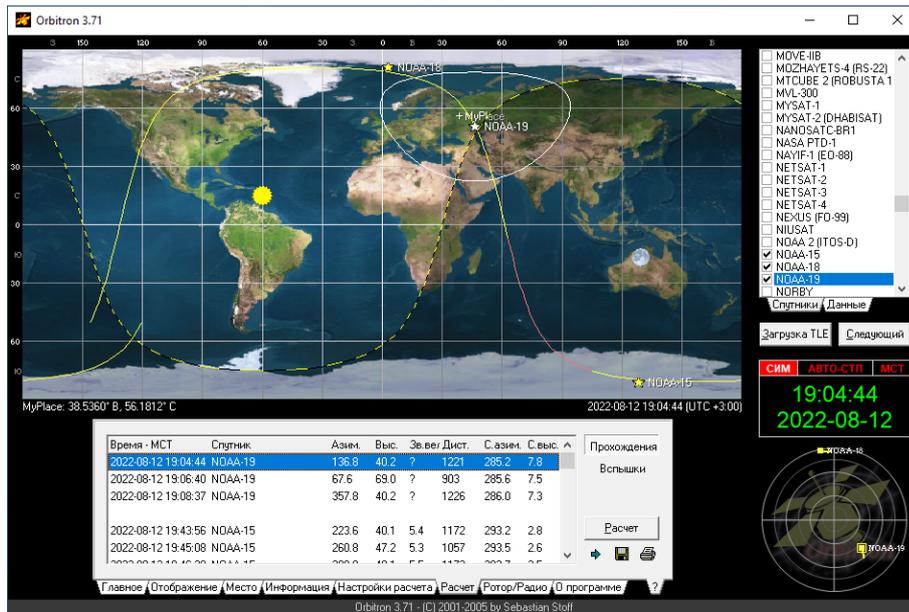


Рис. 4.17: Папка программы SDR Sharp

### 4.3 Установка SDR Sharp

Для работы SDR радиоприемником нам понадобится программа SDR Sharp, которая управляет приемом сигналов. У программы достаточно большой функционал, она поддерживает множество плагинов, но их нужно научиться устанавливать и правильно настраивать. Программа бесплатная: скачать можно тут <https://airspry.com>, однако для избежания проблем с совместимостью между версиями настоятельно рекомендуем взять версию из нашего архива (SDRSharp 1.0.0.1361).

Сама программа SDR Sharp не требует инсталляции – просто разархивируйте папку с программой в удобное место на компьютере.

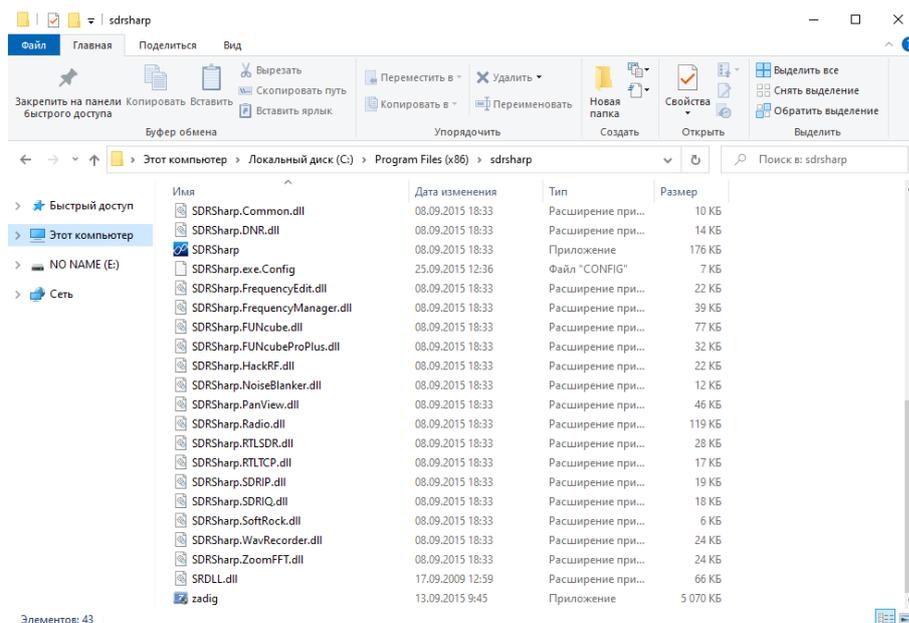


Рис. 4.18: Папка программы SDR Sharp

Теперь настроим драйвер для SDR приемника. Находим в папке файл zadig.exe Вставляем наш RTL2832 тюнер в USB 2.0 порт и запускаем Zadig.exe от имени администратора.

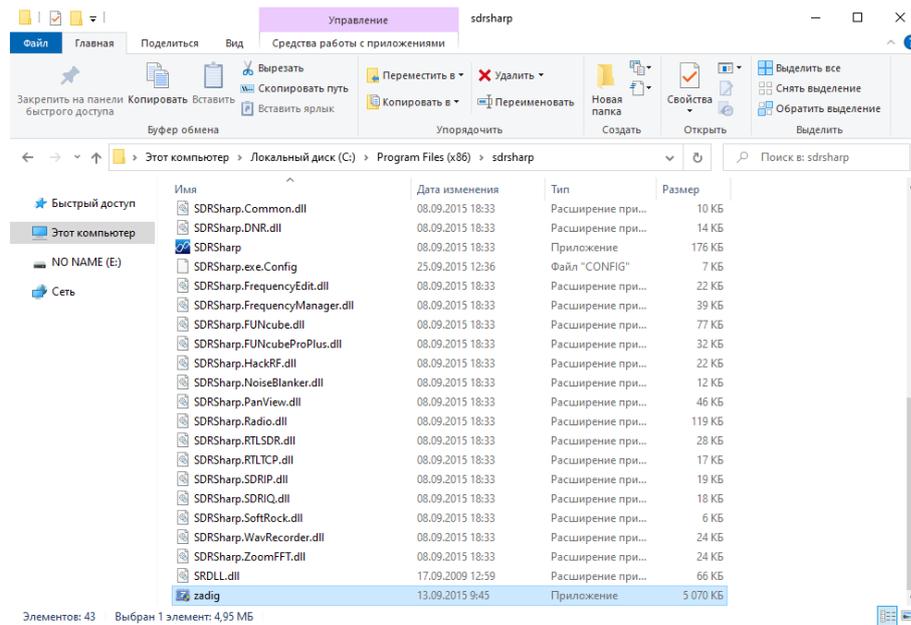


Рис. 4.19: Папка программы SDR Sharp

Замечание: В некоторых версиях вы можете не найти zadig.exe. Тогда найдите файл install-rtlSDR.bat (или install-rtlSDR.exe) и запустите его. Он скачает нужные драйверы. После его работы окно терминала можно закрыть, и в папке появится zadig.exe.

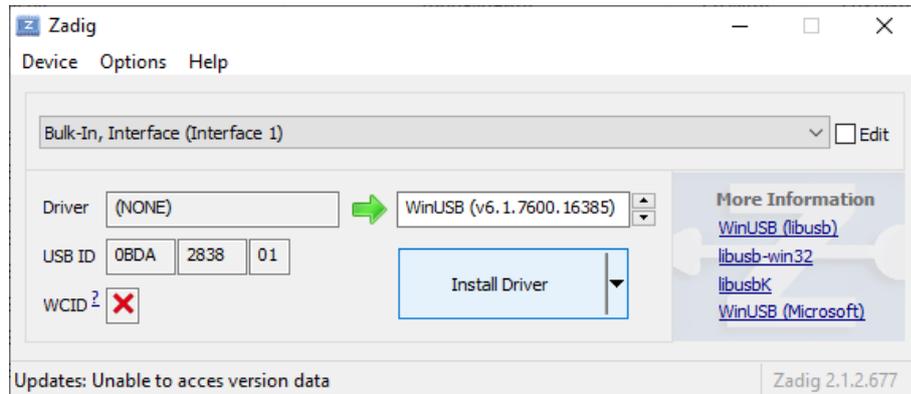


Рис. 4.20: Установка драйвера Zadig

Выберите ваше устройство в строке "Device". Устройство может иметь разные названия - Bulk In Interface 0, RTL2832UUSB или другое (можете посмотреть в диспетчере устройств, которое появляется, когда вы вставляете приемник в usb порт. Выберите WinUSB драйвер в строке "Driver"и нажмите "Install Driver".

Если установка драйвера прошла успешно, вы получите соответствующее сообщение.

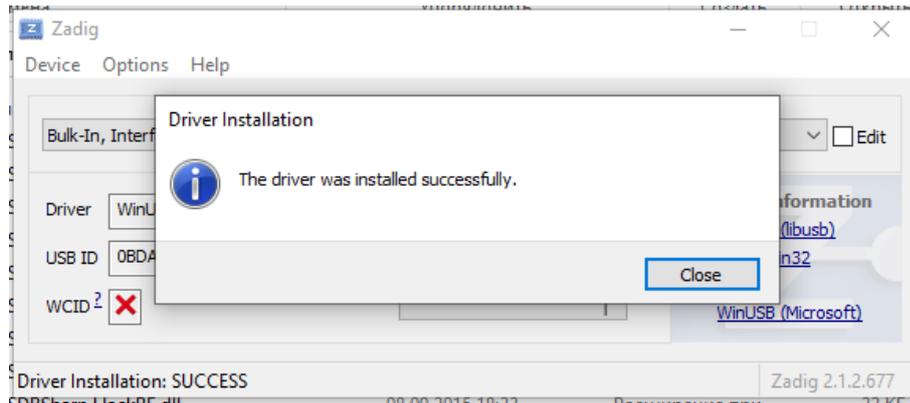


Рис. 4.21: Установка драйвера Zadig

Замечание: Если в строке нет устройств, значит, ваша система уже поставила другой драйвер для этого устройства или вы поставили родной драйвер от производителя. В этом случае зайдите в меню "Options" и установите галочку "List All Devices". Устройство должно появиться в выпадающем списке.

От имени администратора запускаем программу SDRSharp.exe – для удобства можете создать ярлык на программу на рабочем столе. Программа может попросить установить .NET Framework 3.5 - надо согласиться.

В открывшейся программе выбираем в пункте Source вариант RTL-SDR (USB).

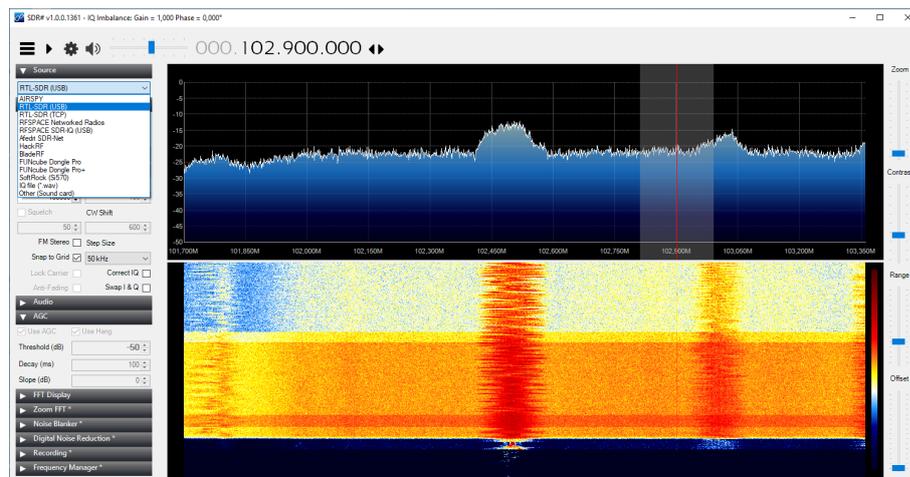


Рис. 4.22: Программа SDR Sharp

Нажимаем шестеренку (настройки) и проверяем, правильно ли выбран наш ключ Generic RTL2832U OEM. Остальные настройки пока лучше не трогать, просто проверьте, чтобы они были такие же. Однако запомните: ползунок RF Gain – это усиление сигнала. С ним периодически необходимо работать для подстройки уровня сигнал/шум.

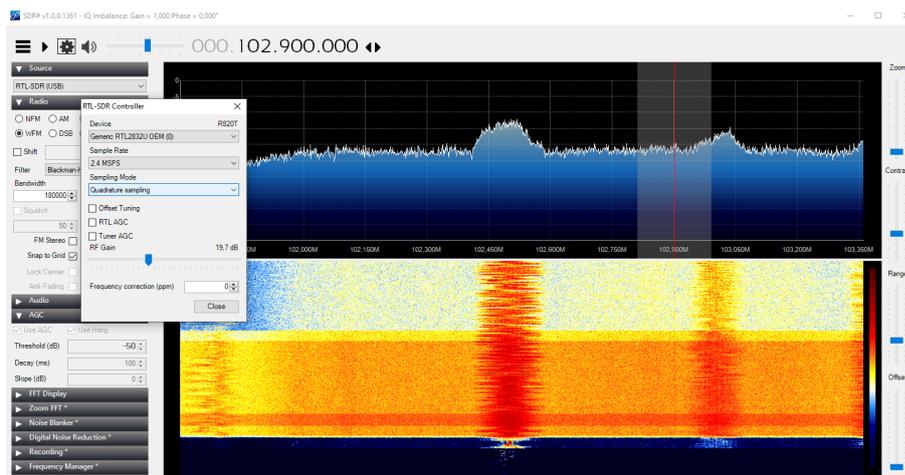


Рис. 4.23: Программа SDR Sharp

Подключив к приемнику антенну, вы сможете послушать местные радиостанции и убедиться, что все работает. Для запуска приема необходимо нажать кнопку Play. Проверьте, что на вкладке Radio выбран пункт WFM. Задайте частоту известной вам радиостанции и добейтесь ее устойчивого приема.

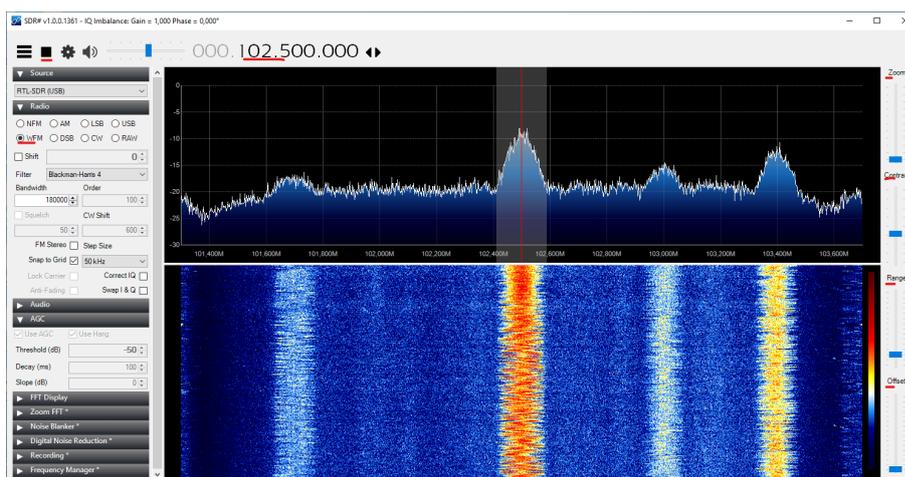


Рис. 4.24: Программа SDR Sharp

Поиграйте ползунками справа – поймите, как они работают. Посмотрите, как влияет на уровень сигнала включение и выключение усилителя LNA (подключение его к батарее). Поработайте с ползунком RF Gain в настройках.

#### 4.4 Интегрируем SDR Sharp и Orbitron

В Orbitron мы видим, какие спутники пролетают над нами. Можно включить SDR Sharp, настроиться на частоту нужного спутника и начать прием.

Но если вы в Orbitron при пролете спутника откроете вкладку Ротор/Радио, то в окошке Прием/ Доплер увидите меняющиеся цифры — это частота передачи меняется по мере приближения или удаления спутника от вас. Это называется эффектом Доплера.

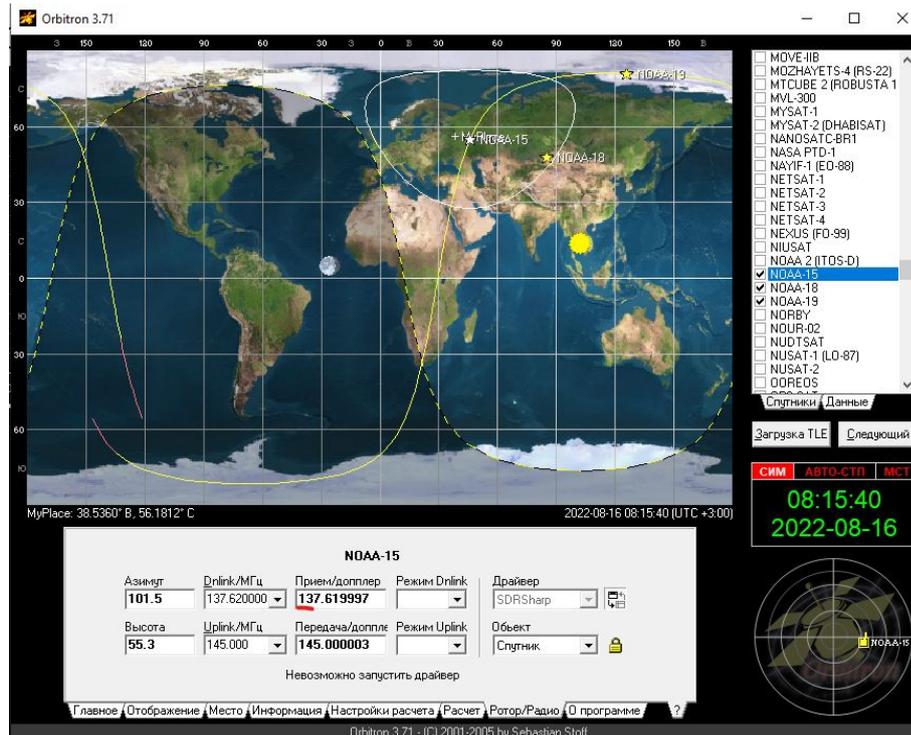


Рис. 4.25: Эффект доплера в Orbitron

Можно, конечно, во время приема вручную подстраивать частоту, но гораздо удобнее «подружить» наши программы, чтобы Orbitron передавал данные частоты в SDR Sharp, а тот уже сам делал бы необходимые поправки. Для этого нам понадобится установить плагин SDRSharp satellite tracking.

Распаковываем архив

SatelliteTracker2.zip

Обратите внимание: все, что описано ниже, есть в файле README.txt (это весьма популярный способ распространения документации к тем или иным программам).

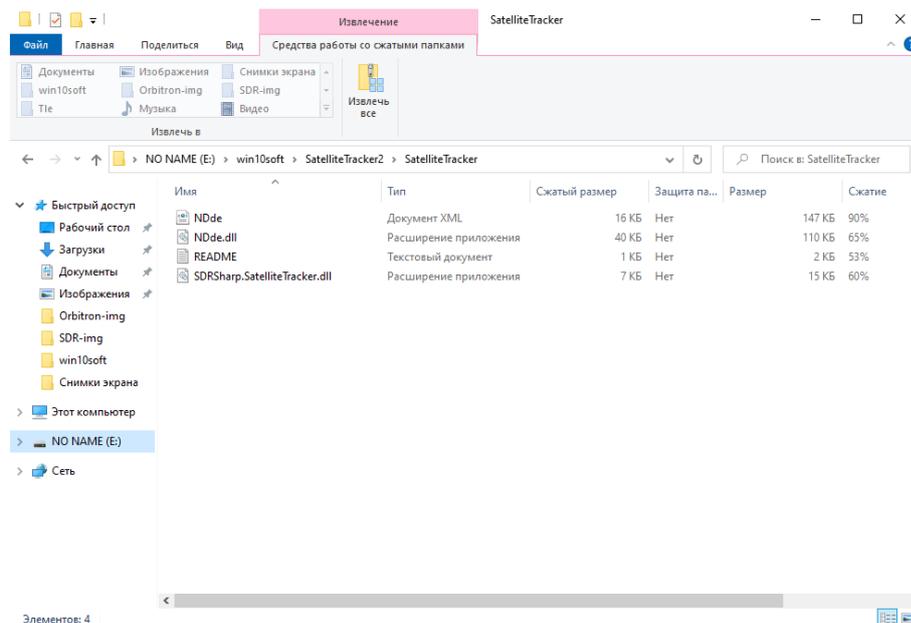


Рис. 4.26: Архив с файлами

Копируем распакованные файлы в папку программы SDR Sharp. Открываем в папке программы SDR Sharp файл Plugins.xml через текстовый редактор. Добавляем в раздел <sharpPlugins> запись:

```
<add key="SatelliteTracker" value="SDRSharp.SatelliteTracker.SatelliteTrackerPlugin, SDRSharp.SatelliteTracker" />
```

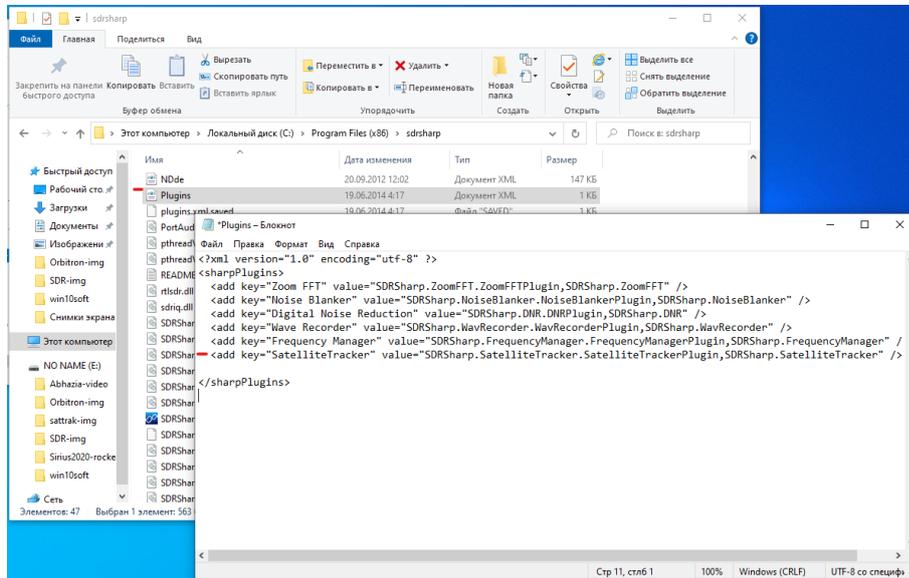


Рис. 4.27: Настройка SDR Sharp

Для проверки запускаем SDR Sharp. У вас появился новый пункт меню SATELLITE TRACKER.

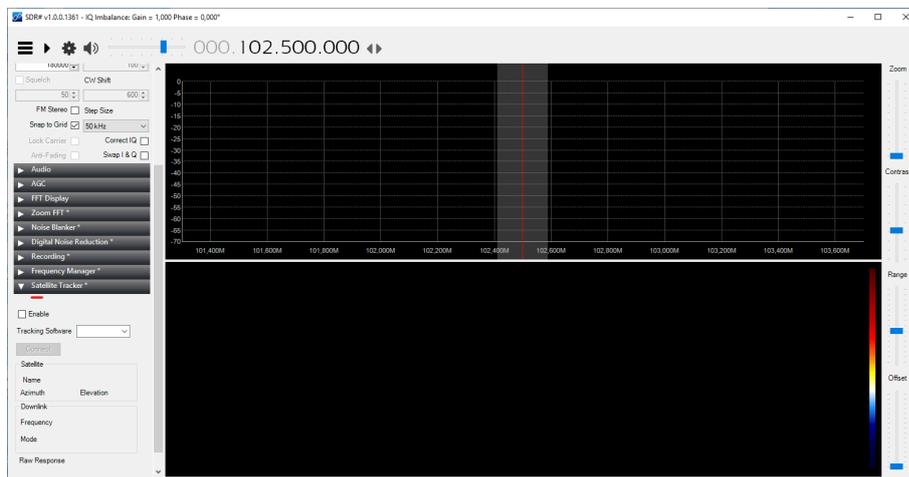


Рис. 4.28: Программа SDR Sharp

Закрываем программу SDR Sharp. Теперь переходим в папку с программой Orbitron. В директории /Config находим файл Setup.cfg.

Открываем файл через текстовый редактор и в пункте Drivers добавляем строчку SDRSharp = SDRSharp.exe (если такого пункта еще нет, то добавляем его).

```
[Drivers]
SDRSharp=SDRSharp.exe
```

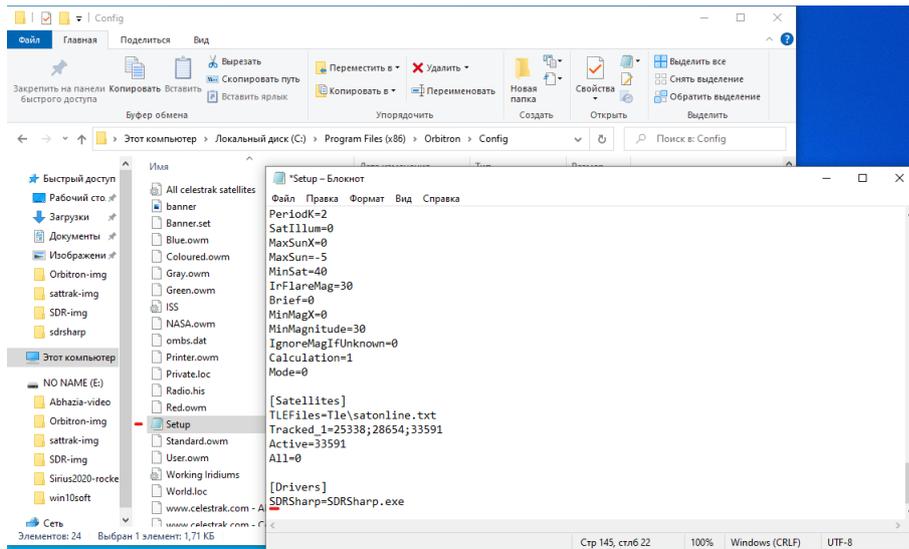


Рис. 4.29: Настройка Orbitron

Сохраняем и закрываем.

Запускаем Orbitron (от имени администратора), переходим на вкладку «Ротор/Радио» и в меню «Драйвер» выбираем появившийся SDRSharp.

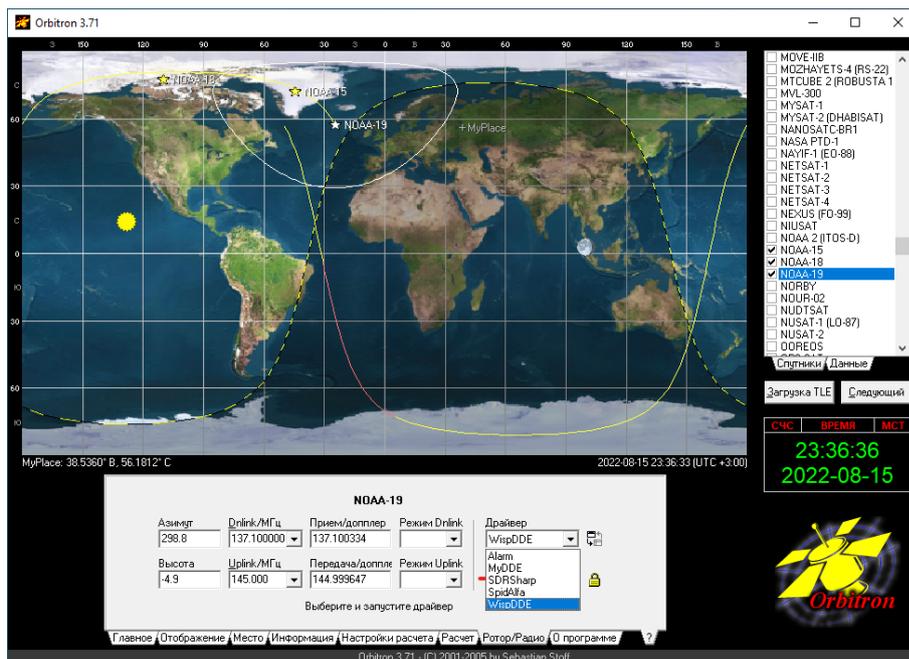


Рис. 4.30: Настройка Orbitron

Нажимаем рядом с выпадающим меню кнопку «Запустить выбранный драйвер и начать передачу данных». Программа попросит Вас найти драйвер SDRSharp. Нажимаем ДА.

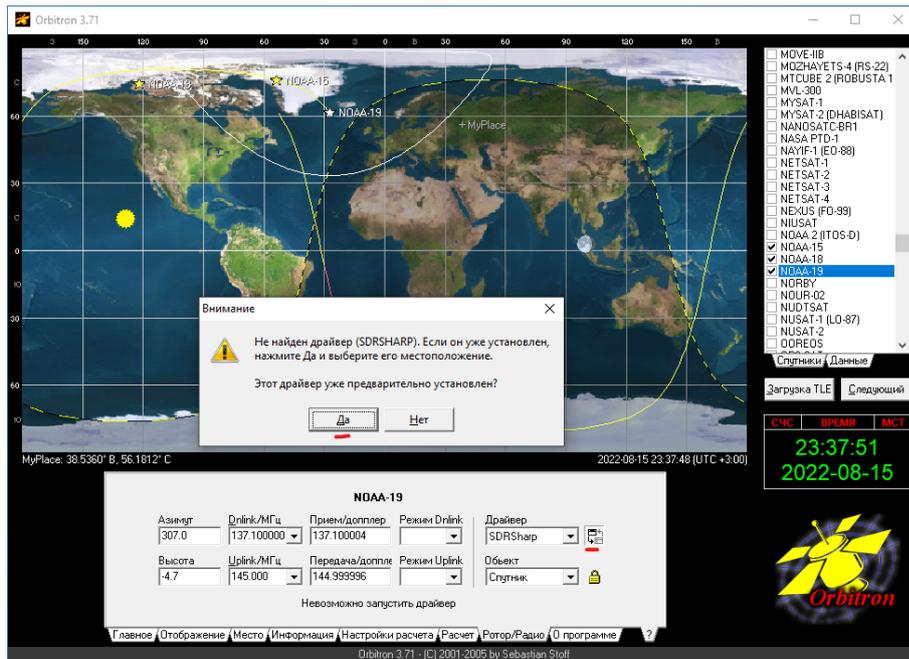


Рис. 4.31: Настройка Orbitron

Указываем путь до файла SDRSharp.exe и нажимаем «Открыть».

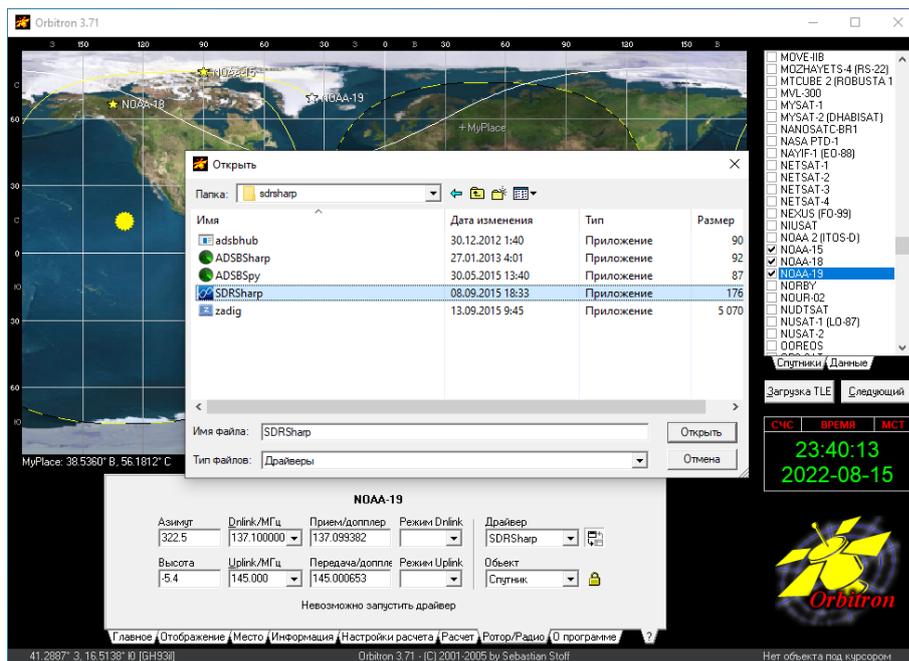


Рис. 4.32: Настройка Orbitron

После этого у вас должен запускаться SDR Sharp. Переходим на вкладку Satellite Tracker. Нажимаем «Enable» (включить плагин), из списка Tracking Software выбираем «Orbitron» и жмём «Connect».

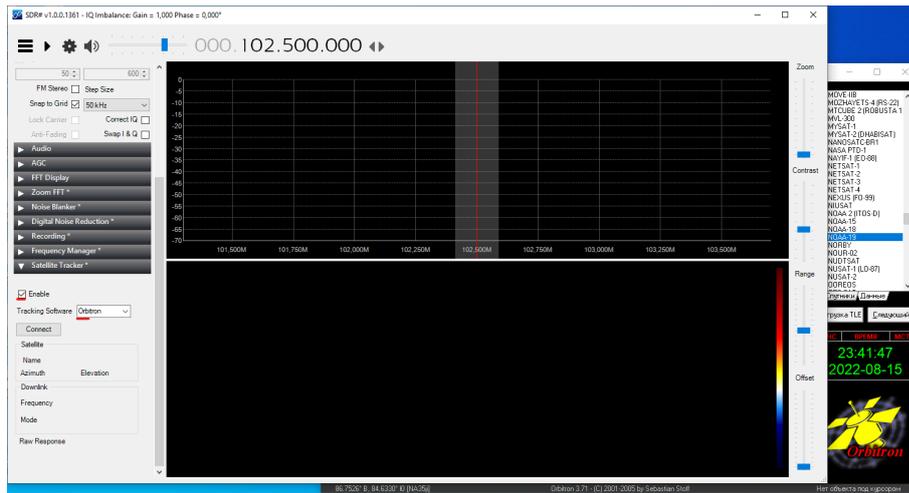


Рис. 4.33: Настройка SDR Sharp

Теперь Ваш SDR Sharp может компенсировать эффект Доплера: SDR Sharp прочитал нужную частоту и во время приема будет сам ее корректировать.

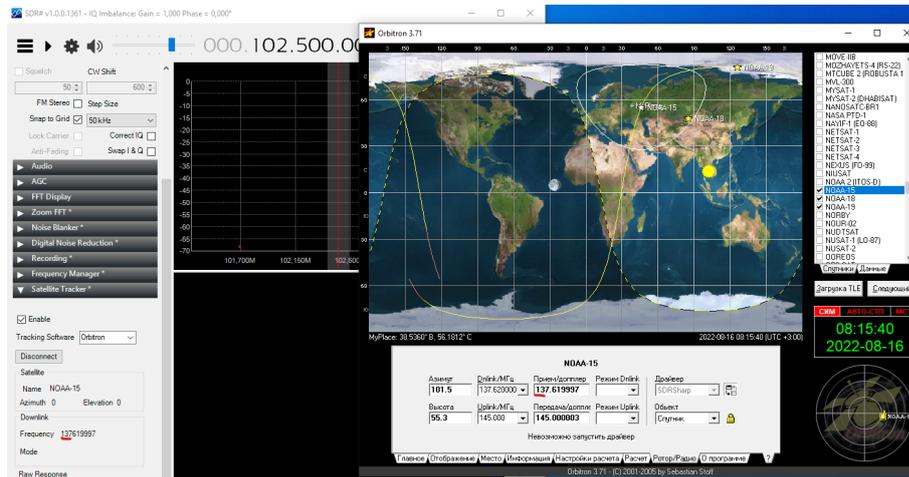


Рис. 4.34: Настройка SDR Sharp

## 4.5 Расшифровка изображения со спутников NOAA

Теперь Орбитрон следит за спутниками, и вы можете осуществлять прием с подстройкой частоты с поправкой на эффект Доплера. При прохождении NOAA мы услышим характерное пиканье. Это и есть закодированное изображение. Раскодировать и посмотреть его нам поможет программа WXtoimg.

### 4.5.1 Установка программы WXtoimg

Запускаем установщик wxinst21102-beta.exe и устанавливаем программу. После первого запуска программа попросит вас указать ваше местоположение (такая же процедура, как в Orbitron). И выдаст сообщение, что орбиты устарели (Keepers out of date) – просто закройте это окно.

При указании координат вашей станции так же необходимо учесть особенности перевода координат из Долготы и Широты в минуты и секундах в десятичный вид. Проверить себя можно в онлайн калькуляторе <https://www.latlong.net/degrees-minutes-seconds-to-decimal-degrees>. Координаты должны совпадать с данными Orbitron. В дальнейшем их всегда можно изменить в разделе "Options/Ground station".

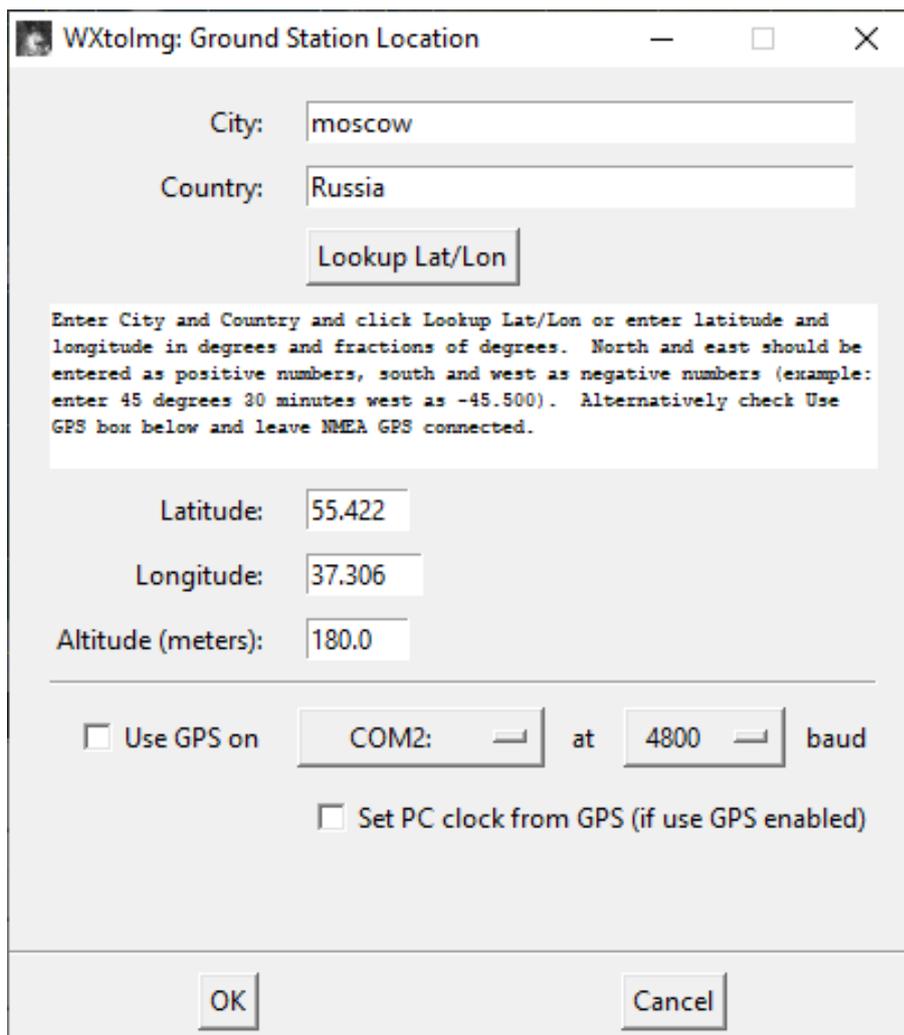


Рис. 4.35: Настройка WXtoImg

Программа установлена, но в бесплатном режиме. В связи с тем, что ее поддержка прекращена, автор сам выложил в свободный доступ регистрационные данные для перехода в профессиональный режим. Информация для регистрации доступна на сайте программы <https://wxtoimgrestored.xyz/downloads/>.

Продублируем ее тут:

2018 Professional Edition Upgrade Key  
Full Name: Kevin Schuchmann  
Email Address: Enter your email address  
Upgrade Key: CGHZ-PP9G-EAJZ-AWKK-NDNX

Выберите в верхнем меню Help -> Enter Upgrade Key и введите регистрационную информацию.

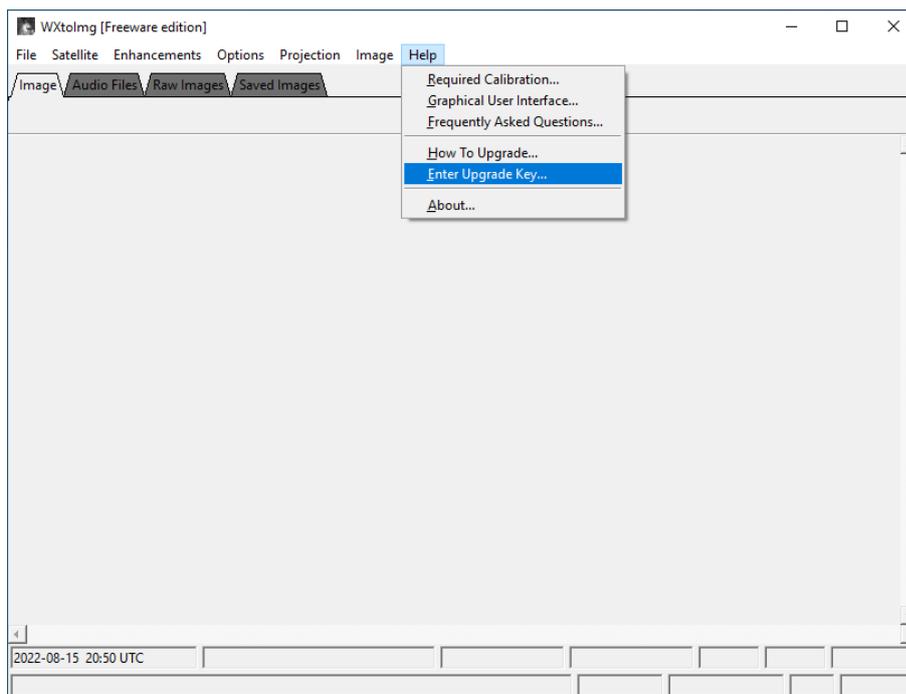


Рис. 4.36: Настройка WXtoImg

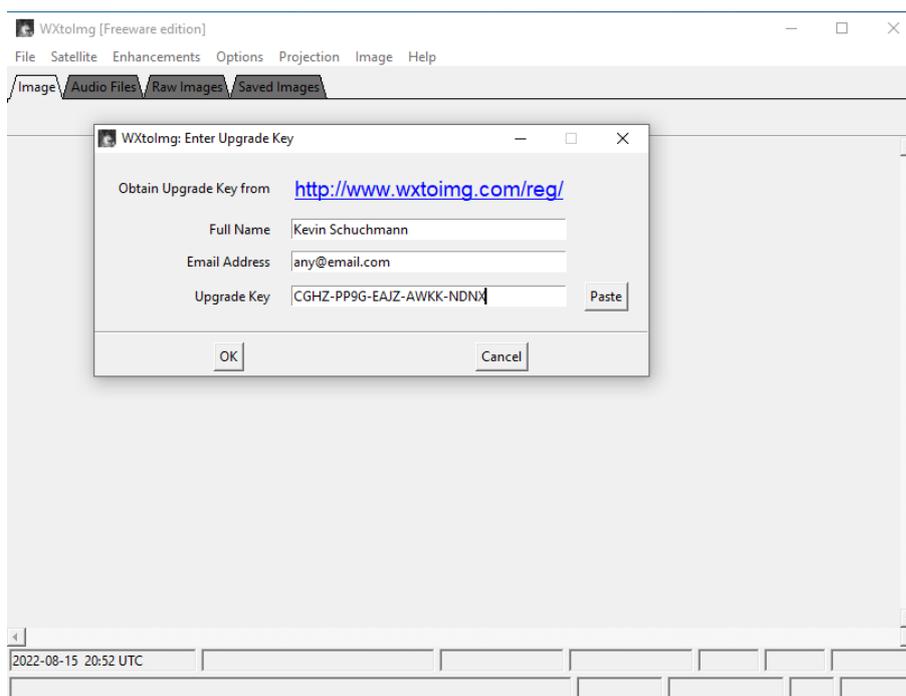


Рис. 4.37: Настройка WXtoImg

В настоящее время у программы не обновляются данные траекторий спутников (TLE/Keplers) – о чем она вам будет напоминать. На сайте программы <https://wxtoimgrestored.xyz/other-software/> указано несколько вариантов решения .

Мы подготовили .bat файл на основе способа, описанного тут <https://usradioguy.com/wxtoimg-kepler-fix>.

Скопируйте из папки программного обеспечения файл wxtleupdate.bat в папку где установлена программа WXtoImg. Запустите скрипт.

В папке C:\Users\YOURUSERNAME\AppData\Roaming\WXtoImg\ должен появиться файл weather.txt - это обновленный файл с кеплерами для программы.

Вам необходимо отключить автоматическое обновление кеплеров в программе в разделе options/GUI options:

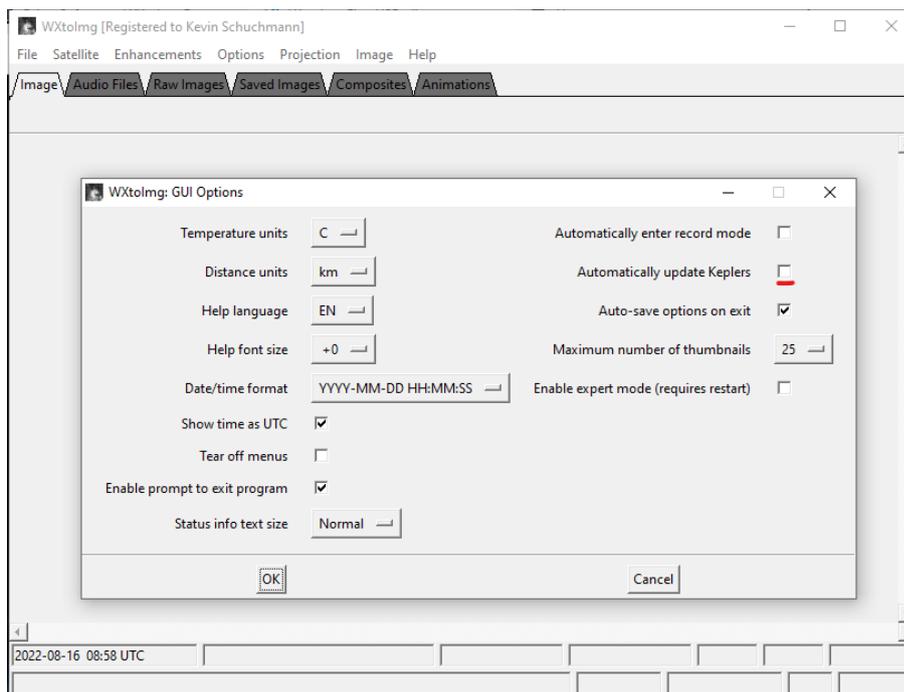


Рис. 4.38: Настройка WXtoImg

и периодически обновлять кеплеры, запуская скрипт (при закрытой программе WXtoImg).

Для осуществления приема в ручном режиме вы в меню File выбираете функцию Record в открывшемся окне нажимаете Manual Test. После этого программа начнет записывать звук и расшифровывать его в изображение. В разделе Options/Auto process options необходимо отметить галочками "создание изображения" и "создание композитного изображения".

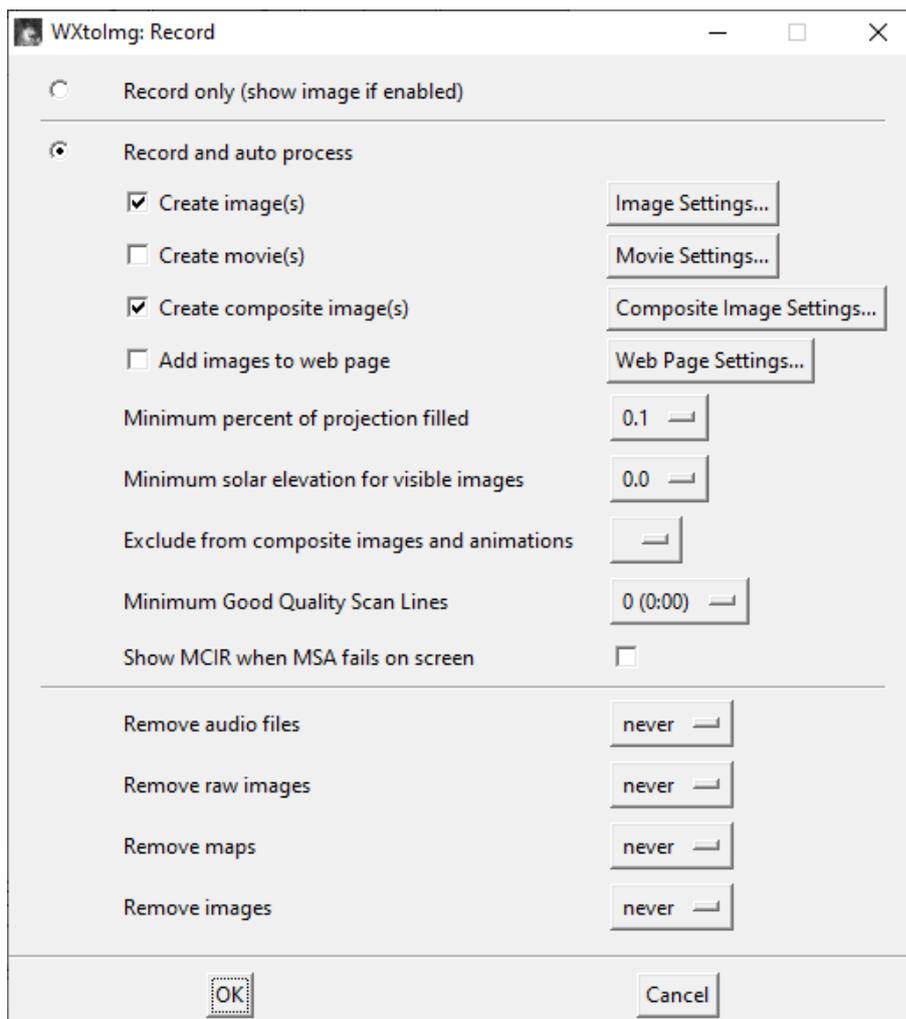


Рис. 4.39: Настройка WXtoImg

Поскольку спутник NOAA17 в настоящий момент недоступен, то рекомендуем в разделе Options/Active APT Sattelites убрать его из списка.

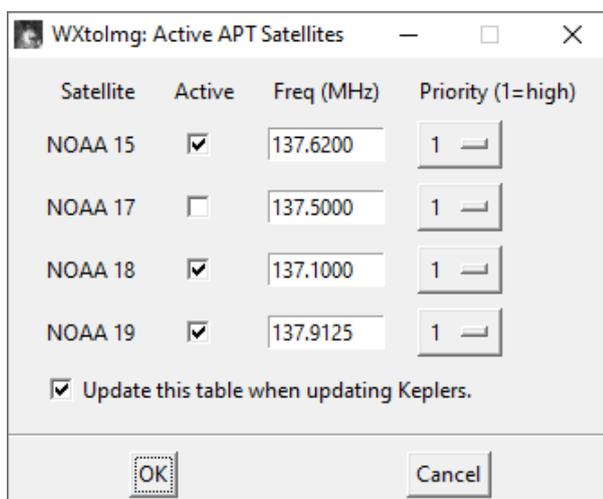


Рис. 4.40: Настройка WXtoImg

## 4.6 Порядок работы во время приема

Запоминаем порядок работы во время приема: запускаем Orbitron (от имени администратора), переходим на вкладку «Ротор/Радио», нажимаем на кнопку «Запустить выбранный драйвер и начать передачу данных». Автоматически запускается SDRSharp. В SDRSharp переходим на вкладку Satellite Tracker, нажимаем «Enable» (включить плагин), из списка Tracking Software выбираем «Orbitron» и жмём «Connect». Запускаем прием кнопкой Play. Открываем программу WXtoImg, запускаем в ней запись File/Record.

Теперь принятый в аудио диапазоне сигнал проигрывается через динамики компьютера и через его же микрофон попадает в программу расшифровки. При подобном режиме работы у вас, естественно, будет происходить некоторая потеря информации за счет внешнего шума и прочего. Чтобы этого не происходило, можно поставить виртуальный аудио драйвер, который передаст звук из SDR Sharp в WXtoImg без потерь.

## 4.7 Установка виртуального аудио кабеля

Распаковываем архив VBCable\_Driver\_Pack43.zip. В разархивированной папке находим файл VBCABLE\_Setup\_x64 и запускаем его от имени Администратора. Программа бесплатная, сайт производителя <https://vb-audio.com/Cable/>

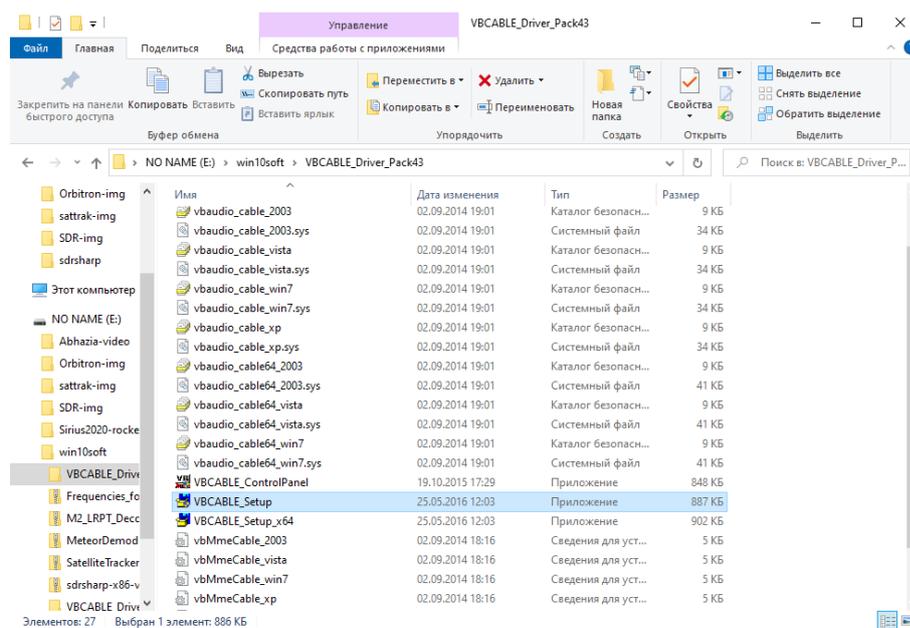


Рис. 4.41: Настройка Virtual cable

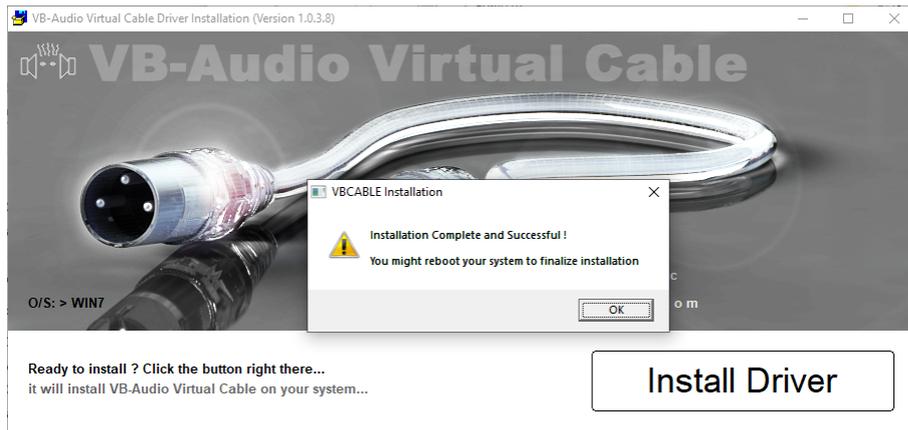


Рис. 4.42: Настройка Virtual cable

Подтверждаем установку, соглашаемся с предупреждением, что мы понимаем свои действия, завершаем установку. Программа попросит перезагрузить компьютер. Теперь запускаем SDR Sharp (прием должен быть выключен) и устанавливаем вывод звука на кабель. Для этого в меню во вкладке AUDIO, пункт OUTPUT выбираем MME CABLE Input

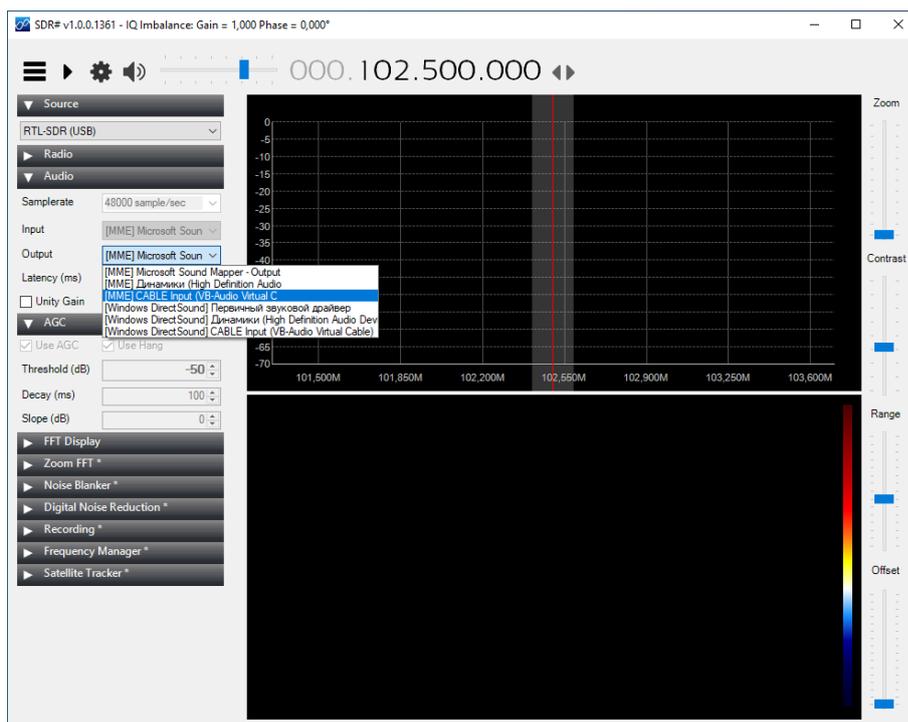


Рис. 4.43: Настройка Virtual cable

Теперь соединяем кабель с WXtoimg. Для этого заходим в пункт меню File / mixer control

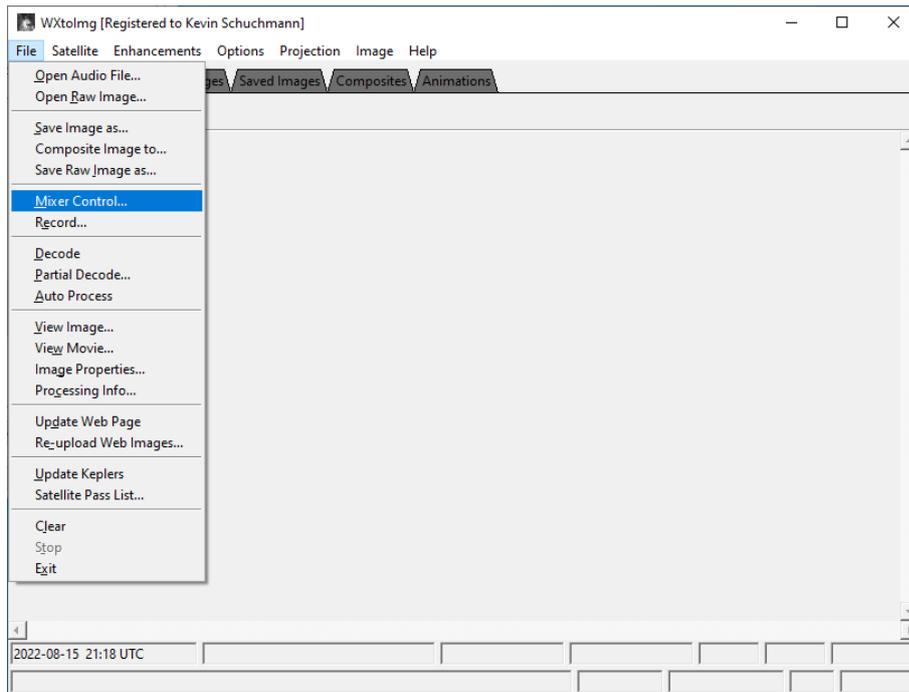


Рис. 4.44: Настройка Virtual cable

и в открывшемся окне во вкладке ЗАПИСЬ выбираем линию виртуального кабеля. Ставим как устройство по умолчанию, сохраняем.

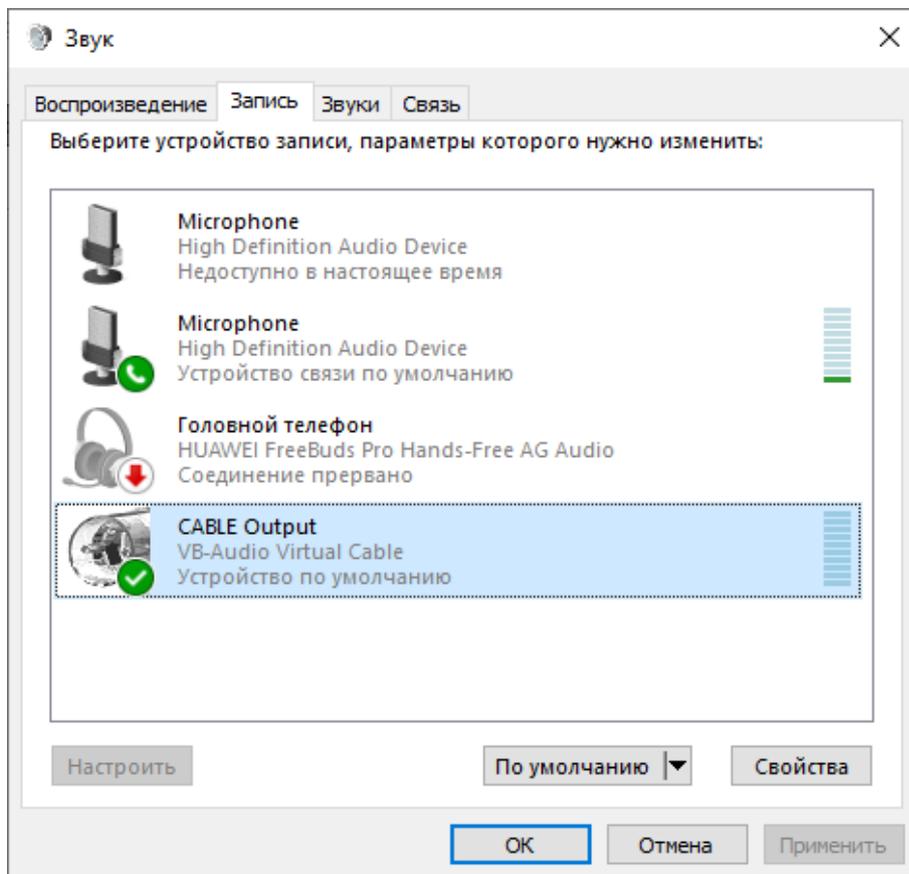


Рис. 4.45: Настройка Virtual cable

Осталось отрегулировать уровень сигнала. Это делается регулировкой громкости в Sharp или, если предела не хватает, то в трее, где регулировка громкости, во время при-

ема (работы кабеля) будет отображаться второй ползунок регулировки . Старайтесь не ставить на максимум до упора - могут возникать искажения, которые испортят картинку.

Уровень сигнала записи нужно регулировать во время приема спутника. Выставьте значение уровня 55 - 80% . Полоса должна быть зеленая.

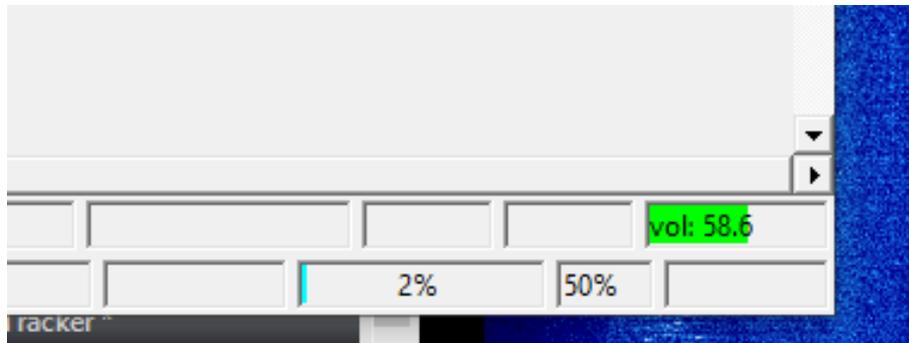


Рис. 4.46: Настройка Virtual cable

Обратите также внимание на то, чтобы стоял режим автоматического детектирования типа спутника.

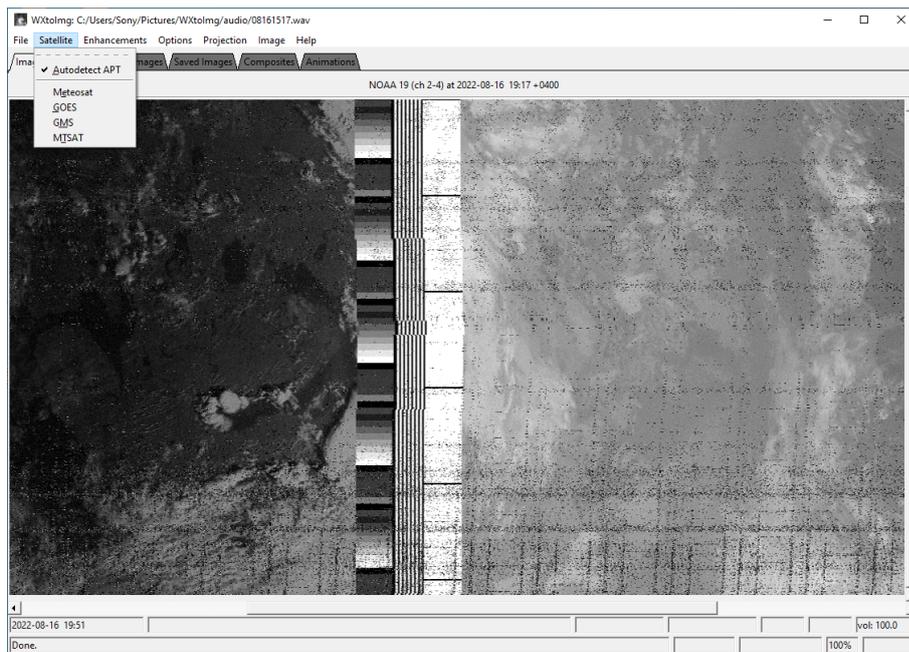


Рис. 4.47: Настройка WXtoImg

Теперь при прохождении спутника, Orbitron через драйвер передает актуальную информацию в плагин-планировщик Sharp, тот включает прием, настраивает частоту, которую получил, выставляет нужную модуляцию и ширину пропускания, изменяет частоту согласно поправки на доплер. Сигнал пошел по виртуальному кабелю в WXtoimg. Включите запись самостоятельно File / Record и далее в ручном режиме Manual test.

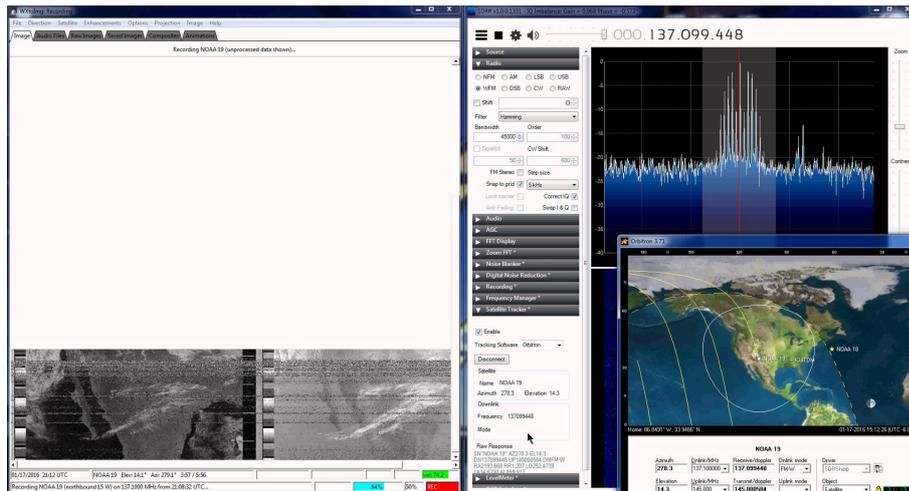


Рис. 4.48: Примерный вид экрана в процессе приема

Во время приема желательно не трогать программы, все ваши снимки сохраняются на диск, в папке images. Её местоположение можно найти и при необходимости изменить в разделе Options/File names and locations. Ваше местоположение будет отмечено желтым крестиком.

Для получения различных постобработок для снимков используйте меню Enhancements:

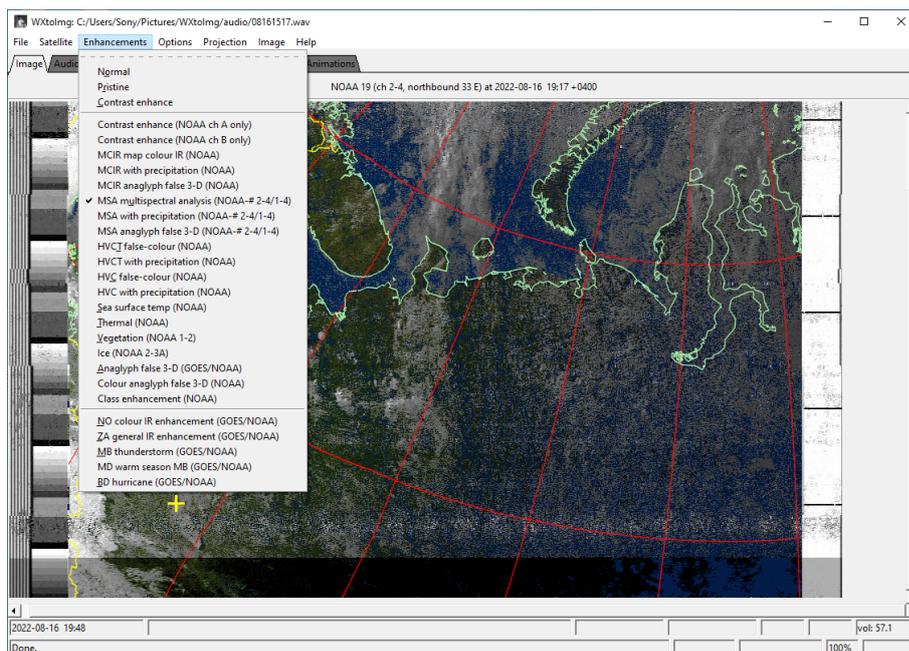


Рис. 4.49: Обработка снимков в WXtoImg

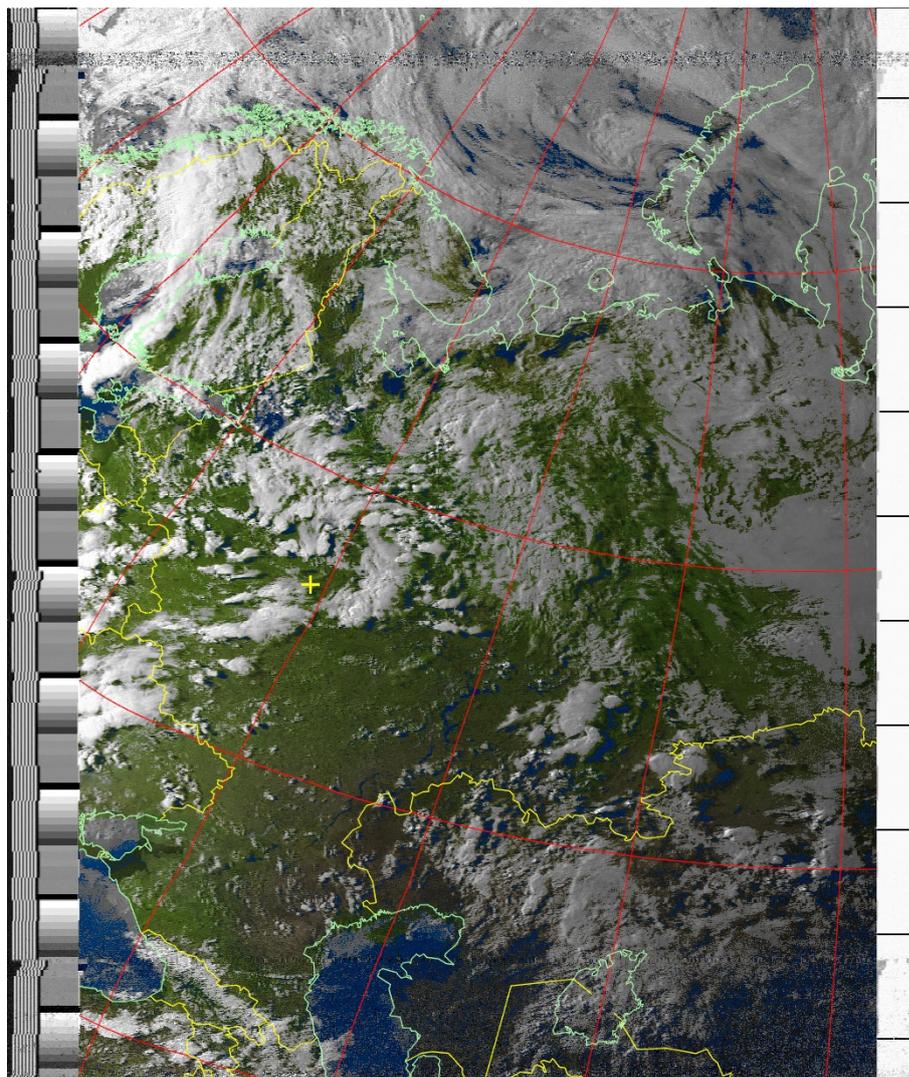


Рис. 4.50: Изображение со спутника NOAA

Если подождать несколько проходов, программа из нескольких снимков соберет композитный снимок.

## 4.8 Прием спутника Метеор М2

Для приема и расшифровки данных со спутника Метеор М2 понадобится программа, которую предоставили разработчики спутника: M2\_LRPT\_Decoder и дополнительные плагины для SDR Sharp.

Установим плагин Meteor Demodulator для SDRSharp. Для этого распаковываем архив

MeteorDemodulatorNet3.5\_v1.9.zip

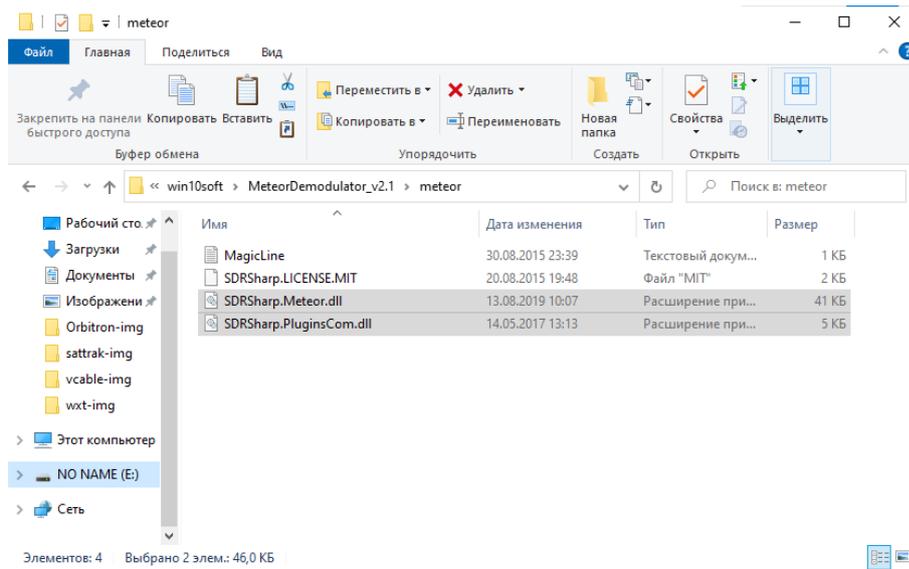


Рис. 4.51: Установка Meteor Demodulator

Копируем файлы SDRSharp.Meteor.dll и SDRSharp.PluginsCom.dll в папку с программой SDRSharp.

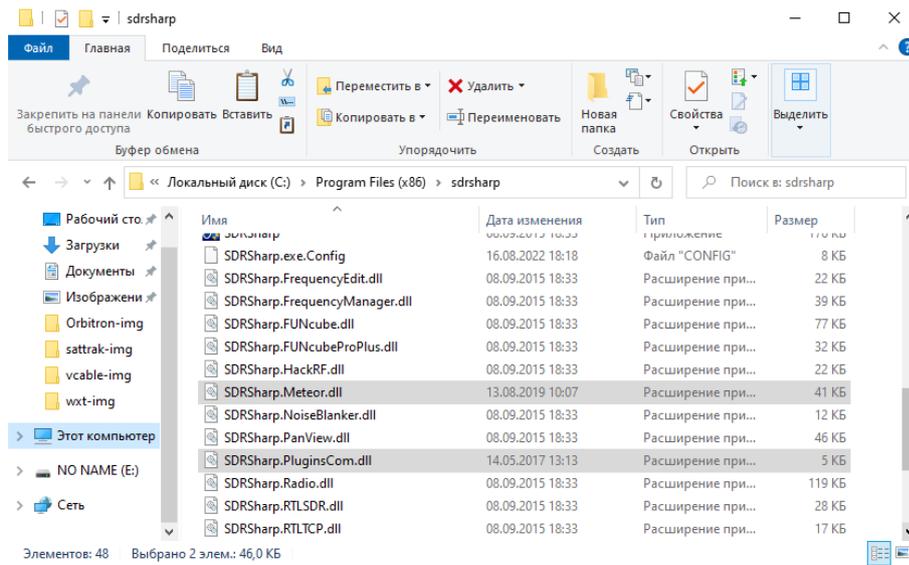


Рис. 4.52: Установка Meteor Demodulator

Открываем в папке программы SDRSharp файл Plugins.xml через текстовый редактор. Добавляем строку:

```
<add key="Meteor" value="SDRSharp.Meteor.MeteorPlugin,SDRSharp.Meteor" />
```

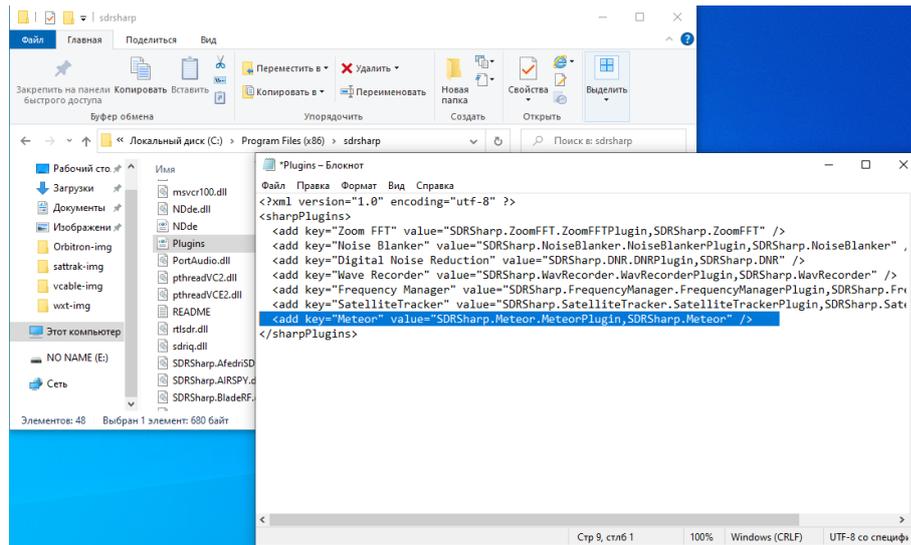


Рис. 4.53: Установка Meteor Demodulator

Запускаем программу SDRSharp – появился новый пункт «Meteor Demodulator».

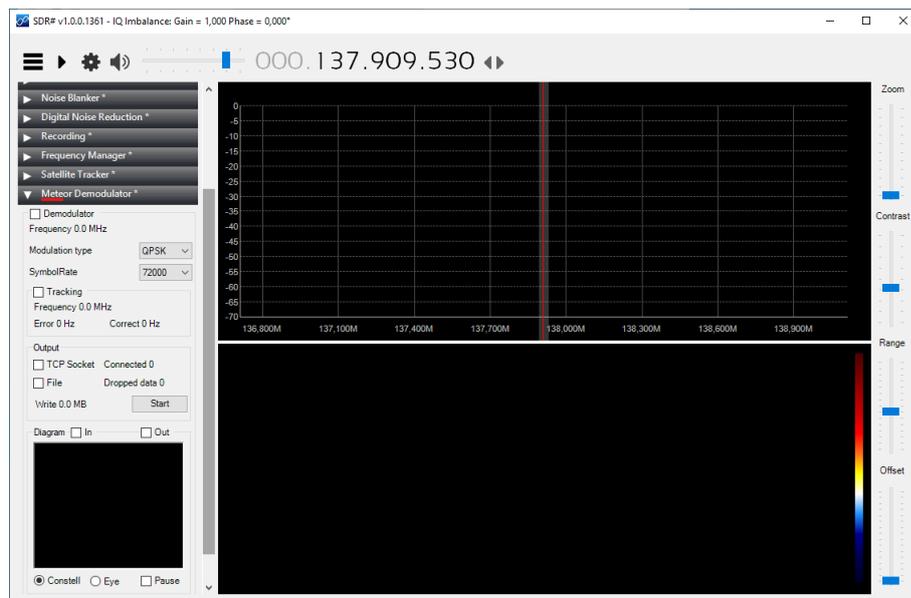


Рис. 4.54: Установка Meteor Demodulator

Meteor Demodulator — осуществляет синхронизацию по фазе и по символьной скорости с сигналом со спутников из серии Метеор-М и сохраняет итоговый сигнал в 8-битном формате в файл или выдает на TCP порт для дальнейшего декодирования.

Основные настройки:

- Demodulator — чекбокс для запуска демодулятора.
- Frequency — отображает частоту фазовой автоподстройки плагина. Во время поиска сигнала спутника эта частота постоянно меняется в определенных пределах. После захвата сигнала со спутника загорается индикатор Locked, и этот параметр отображает несущую частоту сигнала.
- Modulation type — выбор модуляции QPSK или OQPSK. Действующие на данный момент спутники серии Метеор-М используют модуляцию QPSK, последующие спутники будут использовать OQPSK.

- SymbolRate — символьная скорость, 72К или 80К.
- Tracking — включение первоначальной подстройки частоты по коррекции с трэкера для более быстрого захвата несущей спутника. Подстройка работает только совместно с планировщиком и если включена передача коррекции плагинам. Этот параметр имеет значение только при отсутствии захвата несущей. После захвата синхронизации коррекция по данным от трэкера не осуществляется. Параметр Frequency показывает частоту, полученную от трэкера, Error отображает разницу между частотой, полученной от трэкера, и частотой, захваченной фазовой подстройкой. Параметр Correct показывает значение коррекции для фазовой подстройки плагина.
- Output — выбор устройства для вывода сигнала. В файл или в TCP порт или одновременно в файл и порт. Connected отображает количество подключенных клиентов к TCP порту. Dropped data — количество потерянных буферов, в нормальных условиях этот параметр всегда должен быть равен нулю, но если быстродействие компьютера недостаточно для работы плагина, будет отображаться количество потерянных внутри плагина буферов.
- Diagram окно отображения сигнала.

### 4.8.1 Установка плагина DDETracker

Установим плагин DDETracker в SDRSharp. Для этого распаковываем архив

ddetracker\_net35.zip

*Замечание: данная инструкция предполагает, что ранее вы устанавливали плагин Sattelite Tracker для приема спутников серии NOAA.*

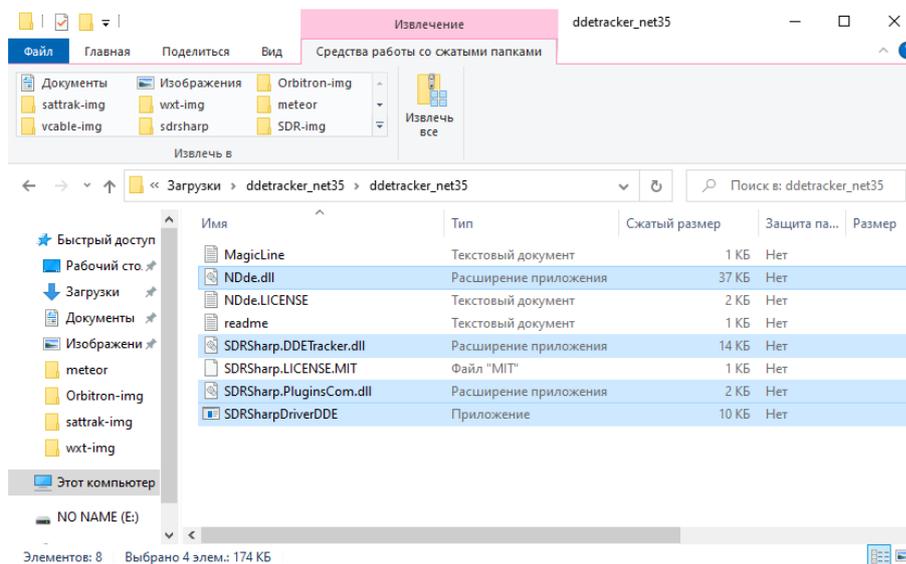


Рис. 4.55: Установка DDE Tracker

Копируем файлы SDRSharp.DDETracker.dll, SDRSharp.PluginsCom.dll и SDRSharpDriverDDE.exe в папку с программой SDR Sharp.

Открываем в папке программы SDR Sharp файл Plugins.xml через текстовый редактор и добавляем в список строку:

```
<add key="DDE Tracking Client" value="SDRSharp.DDETracker.DdeTrackingPlugin,SDRSharp."
```

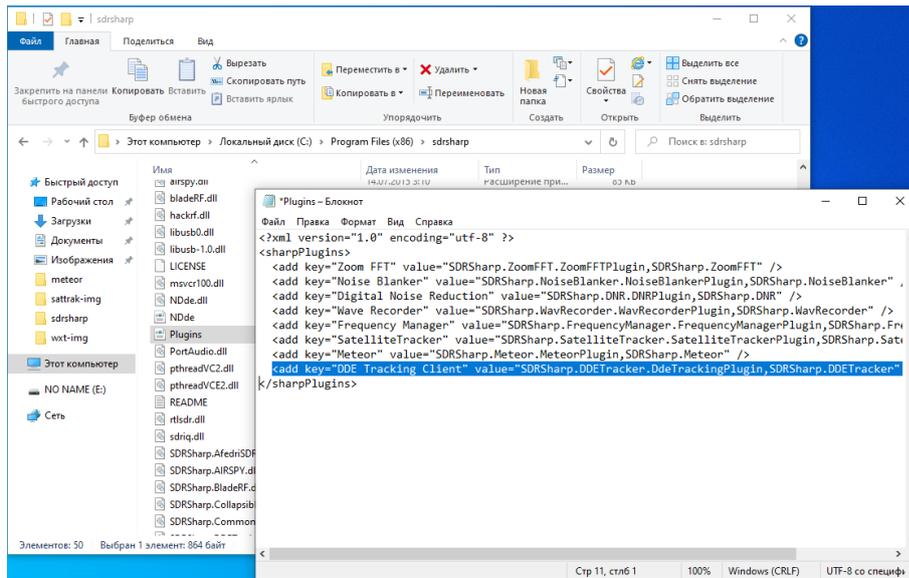


Рис. 4.56: Установка DDE Tracker

Запускаем программу SDRSharp. Появился новый пункт «Tracking DDE Client v1.2».

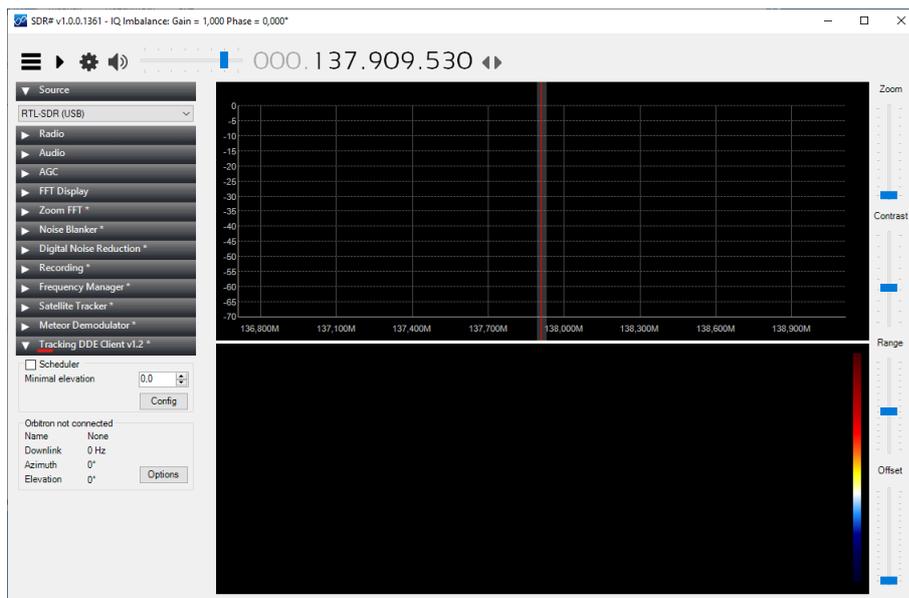


Рис. 4.57: Установка DDE Tracker

«Свяжем» программу SDRSharp и программу Orbitron через SDRSharpDriverDDE для отслеживания спутников и коррекции доплеровского сдвига частоты сигнала. Для этого открываем папку с программой Orbitron. Переходим в папку /Config и находим файл Setup.cfg.

Открываем файл Setup.cfg через текстовый редактор. Добавляем в пункт «Drivers» строку

SDRSharpDDE = SDRSharpDriverDDE.exe

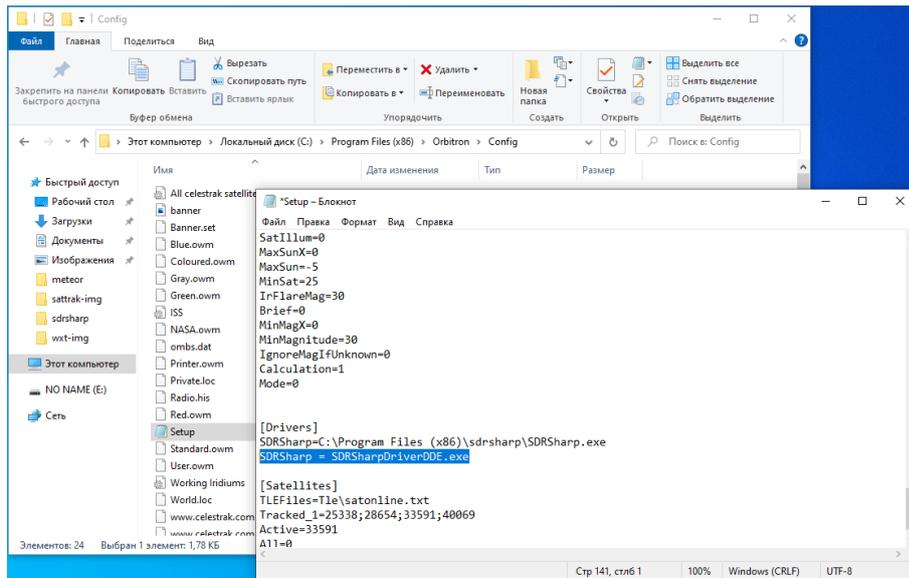


Рис. 4.58: Установка DDE Tracker

Запускаем программу Orbitron и переходим на вкладку «Ротор/Радио». В пункте «Драйвер» выбираем «SDRSharpDDE».

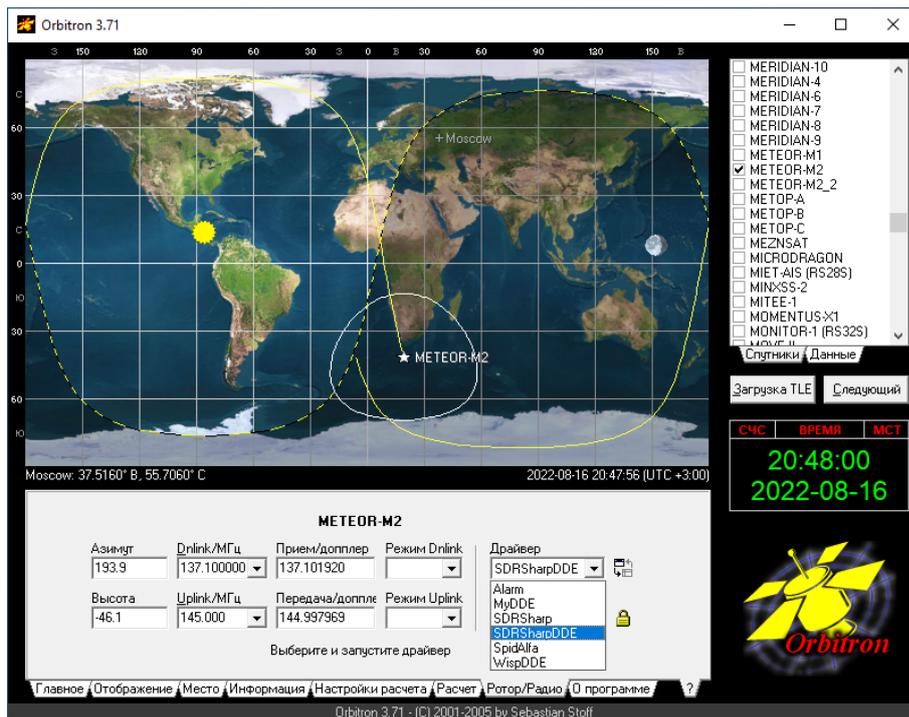


Рис. 4.59: Установка DDE Tracker

Нажимаем на кнопку «Запустить выбранный драйвер и начать передачу данных». Если понадобится, укажите путь к SDRSharpDriverDDE.exe -ф аналогично, как мы это делали в главе «Интегрируем SDR Sharp и Orbitron»

Если все верно, то в tree windows появился значок SDRSharp DDE Driver.

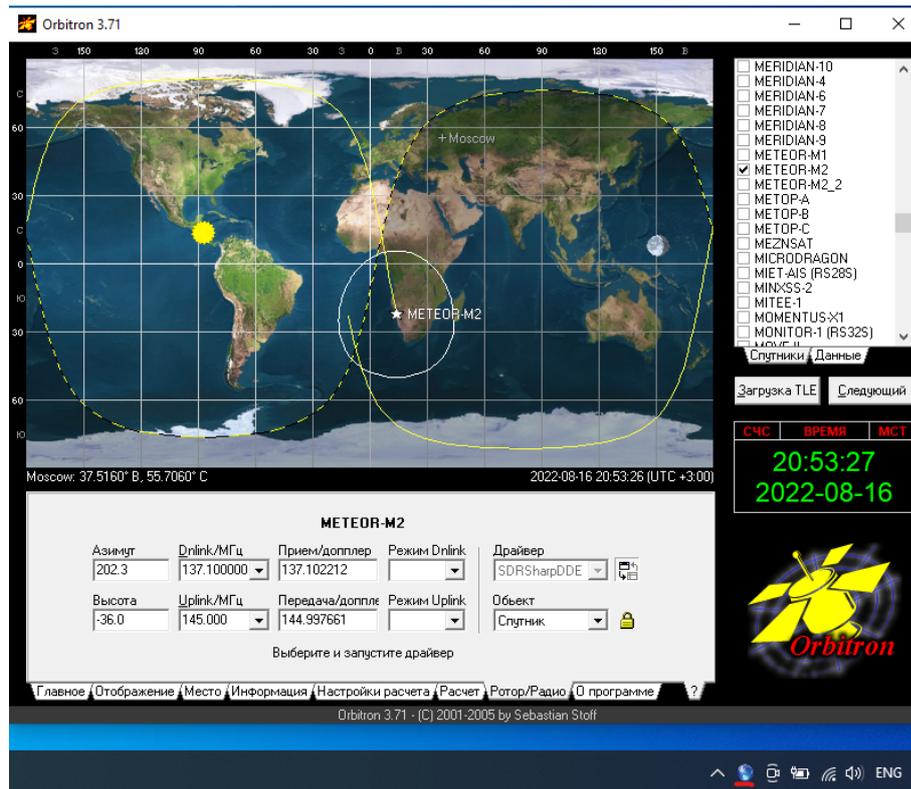


Рис. 4.60: Установка DDE Tracker

Выбираем в Orbitron отслеживание спутника METEOR-M2.

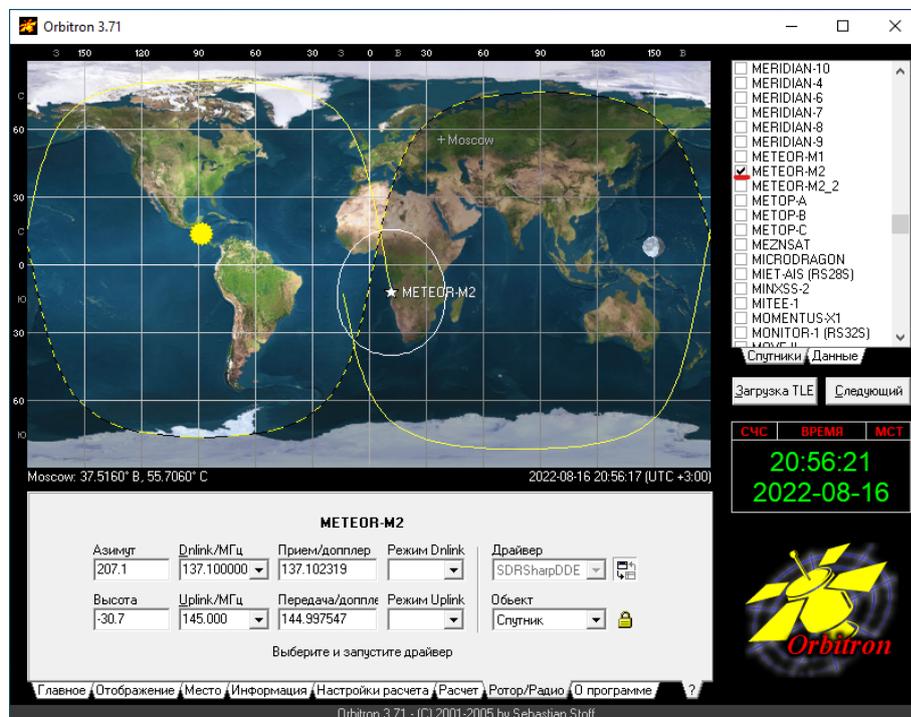


Рис. 4.61: Установка DDE Tracker

## 4.8.2 Установка программы декодера

Распаковываем программу декодер

2\_LRPT\_Decoder\_2015.7.1.33\_meteor\_m2.zip

для расшифровки данных со спутника МЕТЕОР-М2.

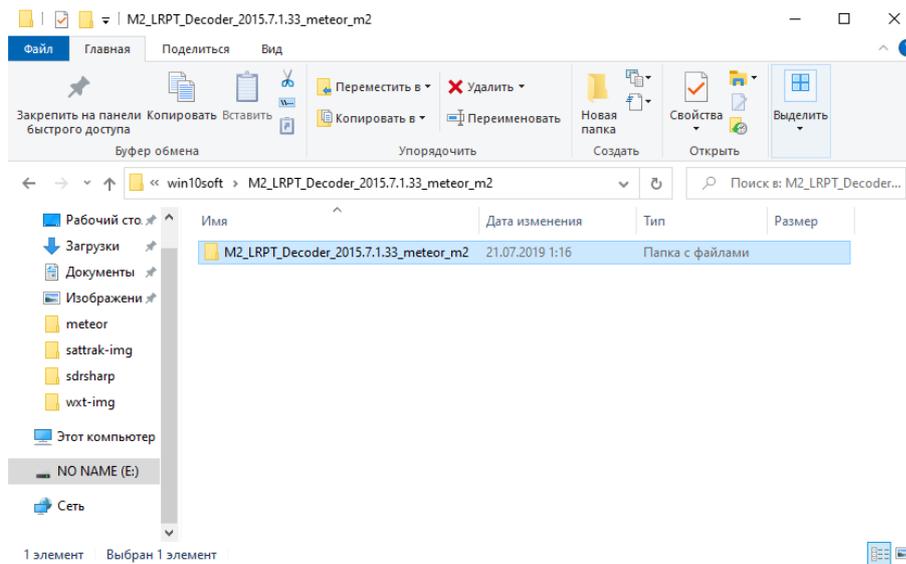


Рис. 4.62: Установка LRPT Decoder

Копируем папку с программой в удобное для вас место. Например, к остальным программам \Program Files(x86)\M2\_LRPT\_Decoder\_2015.7.1.33\_meteor\_m.

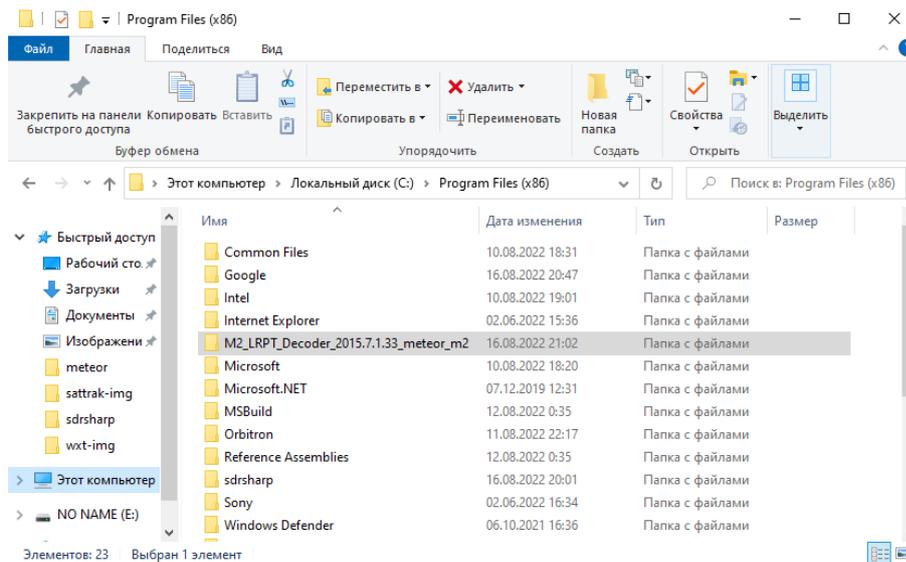


Рис. 4.63: Установка LRPT Decoder

Открываем файл M2\_LRPT\_Decoder.ini через текстовый редактор Меняем путь сохранения изображений со спутника, если необходимо. По умолчанию в архиве настроен путь C:\МЕТЕОР-М2.

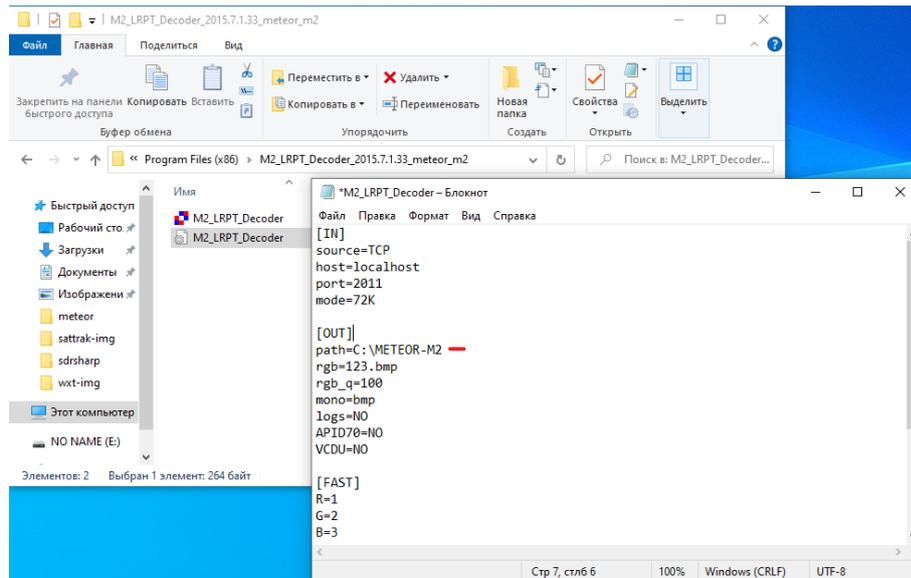


Рис. 4.64: Установка LRPT Decoder

**Важно!** Программа сама не создаст указанную папку - вам необходимо это сделать вручную до начала приема.

### 4.8.3 Настройка плагина Tracking DDE Client

Открываем программу SDRSharp и переходим к настройке плагина и планировщика событий «Tracking DDE Client v1.2». Нажимаем кнопку «Config».

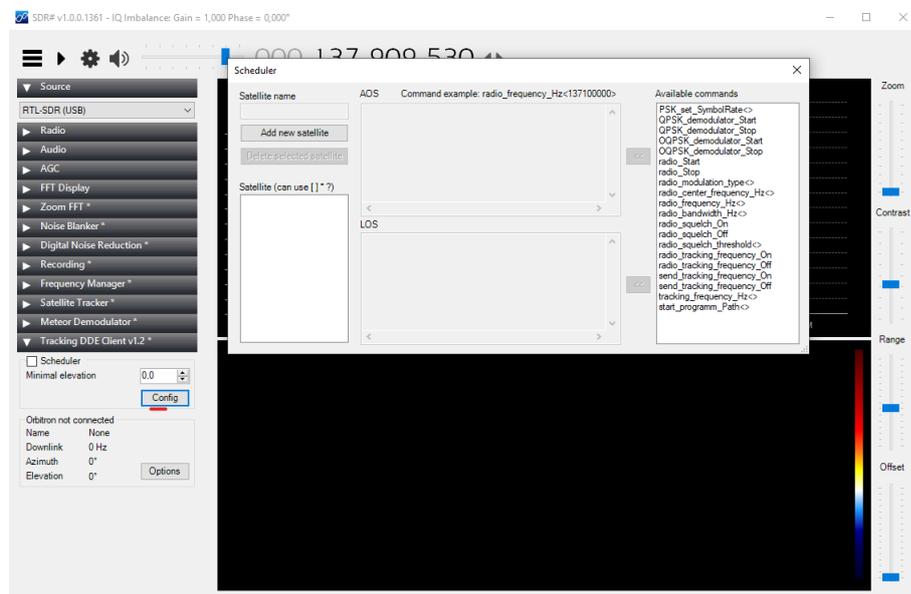


Рис. 4.65: Настройка плагина Tracking DDE Client

Планировщик (Tracking DDE Client v1.2) получает данные о местоположении спутника от программ отслеживания положения спутников (Orbitron и т.д.) и при появлении спутника в зоне приема или уходе из зоны выполняет соответствующий перечень команд, заданных пользователем по управлению SDRSharp и другими плагинами.

Программы отслеживания отправляют плагину имя спутника, его положение и коррекцию частоты. Если имя спутника присутствует в планировщике и его возвышение над горизонтом превышает установленное, в Minimal elevation начинает выполняться соот-

ветствующий набор команд. Имя спутника в настройках планировщика должно точно соответствовать имени, получаемому от трекера и отображаемому в окне плагина.

Команды, выполняемые при появлении спутника, добавляются в окно **AOS**, а при уходе в окно **LOS**. В окне Available commands отображаются все доступные команды. Кнопки «предназначены для добавления выбранной команды из окна доступных команд в соответствующее окно планировщика.

Добавим в планировщик спутник МЕТЕОР-М2. Для этого нажимаем кнопку «Add new satellite».

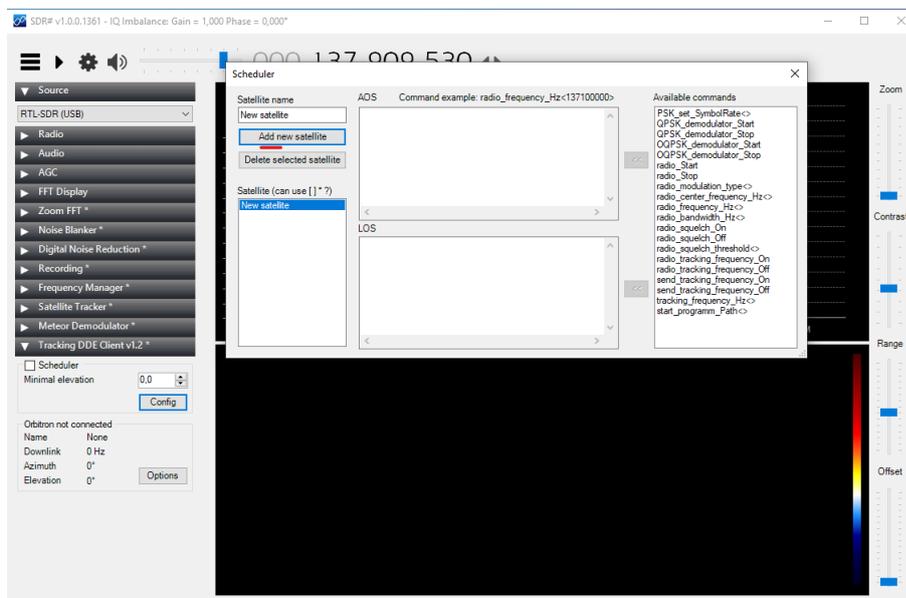


Рис. 4.66: Настройка плагина Tracking DDE Client

Вводим имя спутника «МЕТЕОР\_М2» (Написание важно!).

**В окно AOS добавляем следующие команды:**

```
radio_modulation_type<WFM>
radio_center_frequency_Hz<137100000>
radio_frequency_Hz<137100000>
radio_bandwidth_Hz<110000>
send_tracking_frequency_On
PSK_set_SymbolRate<72000>
QPSK_demodulator_Start
start_programm_Path<C:\Program Files (x86)\M2_LRPT_Decoder_2015.7.1.33_meteor_m2\
M2_LRPT_Decoder.exe>
```

**ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ:** путь к программе-декодеру для МЕТЕОР-М2 должен быть правильным (совпадать с тем где у вас расположена программа).

**В окно LOS добавляем следующие команды:**

```
QPSK_demodulator_Stop
send_tracking_frequency_Off
```

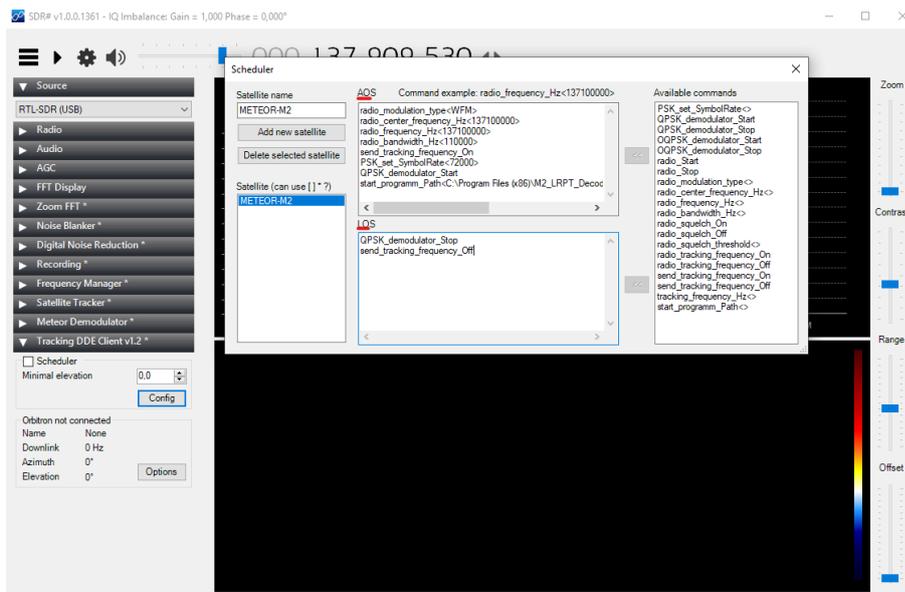


Рис. 4.67: Настройка плагина Tracking DDE Client

Рассмотрим действия планировщика в соответствии с заполненными нами командами. При появлении спутника выполняются команды из окна AOS.

- Выставляем вид модуляции `radio_modulation_type<WFM>`
- Устанавливаем центральную частоту и частоту приема `radio_center_frequency_Hz<137100000>` `radio_frequency_Hz<137100000>`, частота везде задается в герцах.
- Далее устанавливаем полосу сигнала `radio_bandwidth_Hz<110000>`. После выполнения этих команд мы запустили SDRSharp и настроили прием на нужную нам частоту спутника и полосу сигнала. Внимание: очередность выполнения команд для настройки радио имеет значение. В окне доступных команд они расположены в правильном порядке сверху вниз.
- Далее идет команда `send_tracking_frequency_On`, остановимся на ней подробнее. В планировщике доступны две похожие команды: `send_tracking_frequency_On` включает отправку коррекции частоты спутника другим плагинам и `radio_tracking_frequency_On` включает подстройку частоты приема тюнера. Для приема Метеоров нельзя включать подстройку частоты приема тюнера. При смене частоты тюнера сбивается фазовая синхронизация сигнала на приеме. Плагин для демодуляции сигнала с метеора сам осуществляет подстройку по частоте и для этого ему необходимо отправлять данные о коррекции с помощью команды `send_tracking_frequency_On`. Команду `radio_tracking_frequency_On` нужно использовать для приема других спутников (NOAA, МКС и т.д.)
- Далее в планировщике идут команды настройки и запуска плагина демодулятора. `PSK_set_SymbolRate<72000>` — установка символьной скорости сигнала 72К. `QPSK_demodulator_Start` — запуск плагина демодулятора.
- И последней запускаем внешнюю программу декодер `start_programm_Path<path to decoder>`

При уходе спутника ниже параметра Minimal elevation начинается выполнение команд из окна LOS:

- QPSK\_demodulator\_Stop останавливаем демодулятор сигнала,
- send\_tracking\_frequency\_Off отключаем отправку коррекции частоты. На этом настройка закончена программ завершена.

#### 4.8.4 Порядок действий при приеме спутника Метеор М2

- Запускаем программу Orbitron от имени Администратора
- Переходим в программу Orbitron на вкладку «Ротор/Радио» и запускаем драйвер «SDRSharpDDE». В трее появится значок SDRSharp DDE Driver.
- Выбираем спутник METEOR-M2.

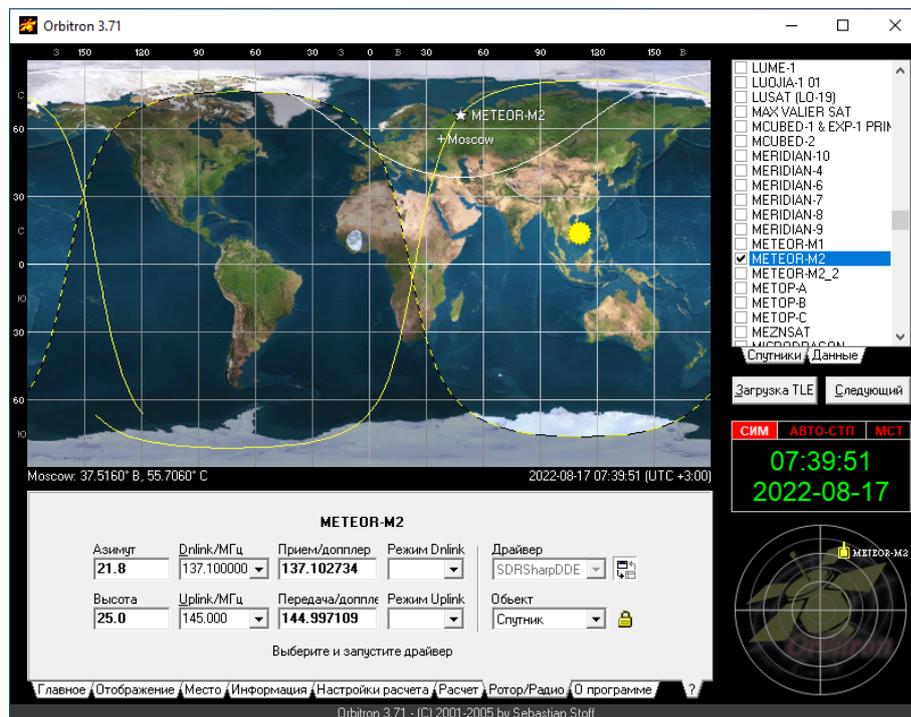


Рис. 4.68: Прием Метеор-М2

- Запускаем программу SDRSharp от имени администратора.
- Запускаем прием данных кнопкой "Play"
- В плагине «Tracking DDE Client v1.2» устанавливаем галочку «Scheduler».
- Затем В плагине «Meteor Demodulator» ставим галочки "Demodulator"и «TCP Socket».

Если SDRSharp соединился с программой Orbitron, то в плагине «Tracking DDE Client v1.2» в пункте «Orbitron connected» появится информация об отслеживаемом спутнике. В нашем случае это METEOR-M2.

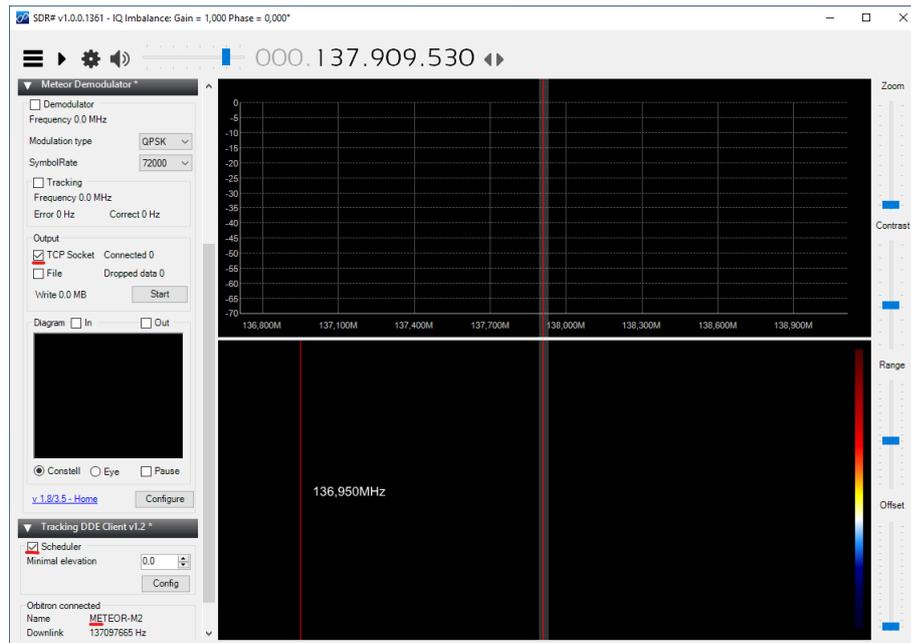


Рис. 4.69: Прием Метеор-М2

Система готова к приёму метеорологических снимков!  
 Во время прохода спутника автоматически запустится плагин «Meteor Demodulator» и программа для декодирования.

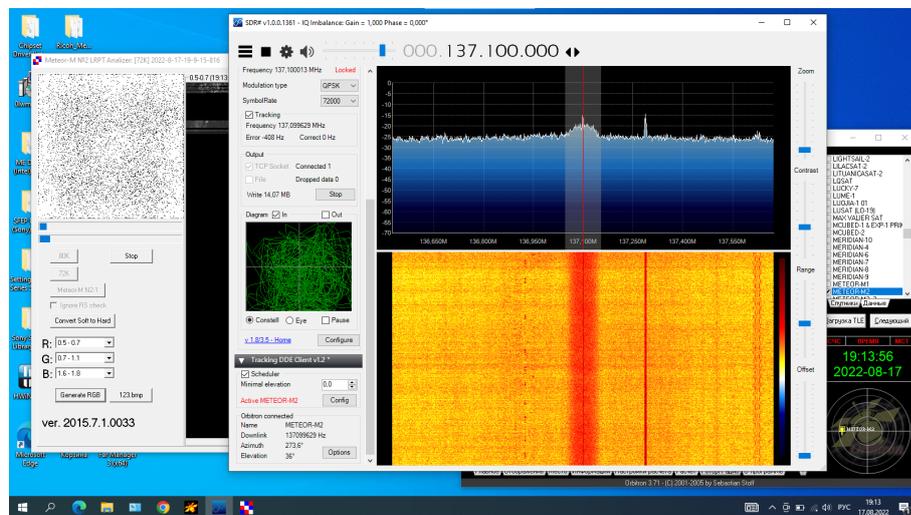


Рис. 4.70: Прием Метеор-М2

Как только плагин «Meteor Demodulator» захватит сигнал со спутника, появится надпись Locked. Если сигнал пропадает или ухудшается, то надпись гаснет.

Плагин «Meteor Demodulator» по протоколу TCP будет отдавать данные, принятые со спутника МЕТЕОР-М2 в LRPToffLineDecoder v2014.11.13.0014.

Сам процесс получения изображения отображается в LRPToffLineDecoder v2014.11.13.0014.

Полученные снимки сохраняются в нашу папку, которую мы указали при настройке программы LRPToffLineDecoder v2014.11.13.0014.

## Глава 5

# Заключение

Мы надеемся, что вы дошли до конца настоящего методического пособия, освоили базовые понятия по конструированию простых антенн и успешно приняли данные со спутников.

Конечно, это пособие не обладает достаточной глубиной погружения в антенную технику. Если вас заинтересовало это направление, обратите внимание на литературу, список которой указан в конце. Из этих работ вы сможете почерпнуть более обширные сведения о принципах радиопередачи и радиоприема.

В этом пособии, поскольку оно посвящено инженерным вопросам, также опущена такая важная часть, как работа с данными, полученными с метеоспутников. Если вас заинтересовала эта тематика – обязательно изучите ее.

Кроме того, приглашаем вас участвовать в конкурсах программы «Дежурный по планете», посвященных разработкам в области приема и обработки сигналов со спутников <https://www.spacecontest.ru/>.

# Литература

- [1] Карл Ротхамель, *Антенны*, том 1, издание одиннадцатое.
- [2] Карл Ротхамель, *Антенны*, том 2, издание одиннадцатое.
- [3] Бессонов Л.А. , *Теоретические основы электротехники Электрические цепи*, Москва, 2007
- [4] Тимур Гаранин, *Видеокурс и материалы*, <http://crit1.ru/Antennas/>
- [5] Дмитрий Пашков, *Сайт*, <https://r4uab.ru>
- [6] Кубанов В.П., Ружников В.А., Сподобаев М.Ю., Сподобаев Ю.М., *Основы теории антенн и распространения радиоволн, под редакцией В.П. Кубанова*, Самара 2016