

Тема 5: Особенности
распространения радиоволн
различных частотных диапазонов

Распространение метровых волн (УКВ)

- метровые волны занимают участок от 10 до 1 м (частоты 30-300 МГц)
- как правило, эти частоты превышают значения МПЧ и не испытывают регулярных отражения от слоя F₂.
- метровые волны слабо дифрагируют вокруг поверхности Земли
- дальность их распространения в качестве земных волн незначительно превышает дальность прямой видимости

Распространение метровых волн (УКВ)

- * распространение за счет отражений от регулярных слоев ионосферы и спорадического слоя E_s возможно в годы высокой солнечной активности
- * распространение за счет рассеяния в ионосфере на локальных неоднородностях слоя D (ночью – в нижней области слоя E)

Распространение метровых волн (УКВ)

Распространение за счет отражений от ионизированных следов метеоров (возможно только в метровом диапазоне)

- средняя протяженность ионизированного следа – 25 км
- средняя высота расположения ионизированных следов – 90 км
- длительность существования ионизированного следа метеора - 0,1 – 100 с

Использование отражений от ионизированных следов метеоров

- Радиолокационные наблюдения метеоров способствовали созданию радиолиний, использующих явление отражения радиоволн от следов метеорных тел.
- Метеорные следы существуют в ионосфере короткое время, поэтому применяемая на этих радиолиниях аппаратура работает так, что передача информации происходит только во время присутствия достаточно интенсивных метеорных следов.

Использование отражений от ионизированных следов метеоров

- В таких радиоперелиниях используются волны частотой 40-80 МГц, дальность радиосвязи составляет 1600-1800 км
- Применяются антенны с коэффициентом направленного действия 6-18 дБ, излучающие под таким углом к горизонту, чтобы их диаграммы направленности пересекались на высоте около 100 км над земной поверхностью

Использование отражений от ионизированных следов метеоров

- * Распространение радиоволн путем отражения от следов метеоров используется также для передачи неподвижных изображений, дистанционной синхронизации эталонов времени, передачи сводок погоды с автоматических метеорологических станций.
- * Такие радиолинии не подвержены нарушениям, связанным с ионосферно-магнитными бурями, в отличие от КВ - радиосвязи.

Распространение КВ и УКВ



Квазиоптическое распространение ВОЛН

Увеличение дальности уверенной связи описывается формулой

$$d = 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

где d — дальность устойчивой связи, км;

h_1 — высота передающей антенны, м;

h_2 — высота приемной антенны, м.

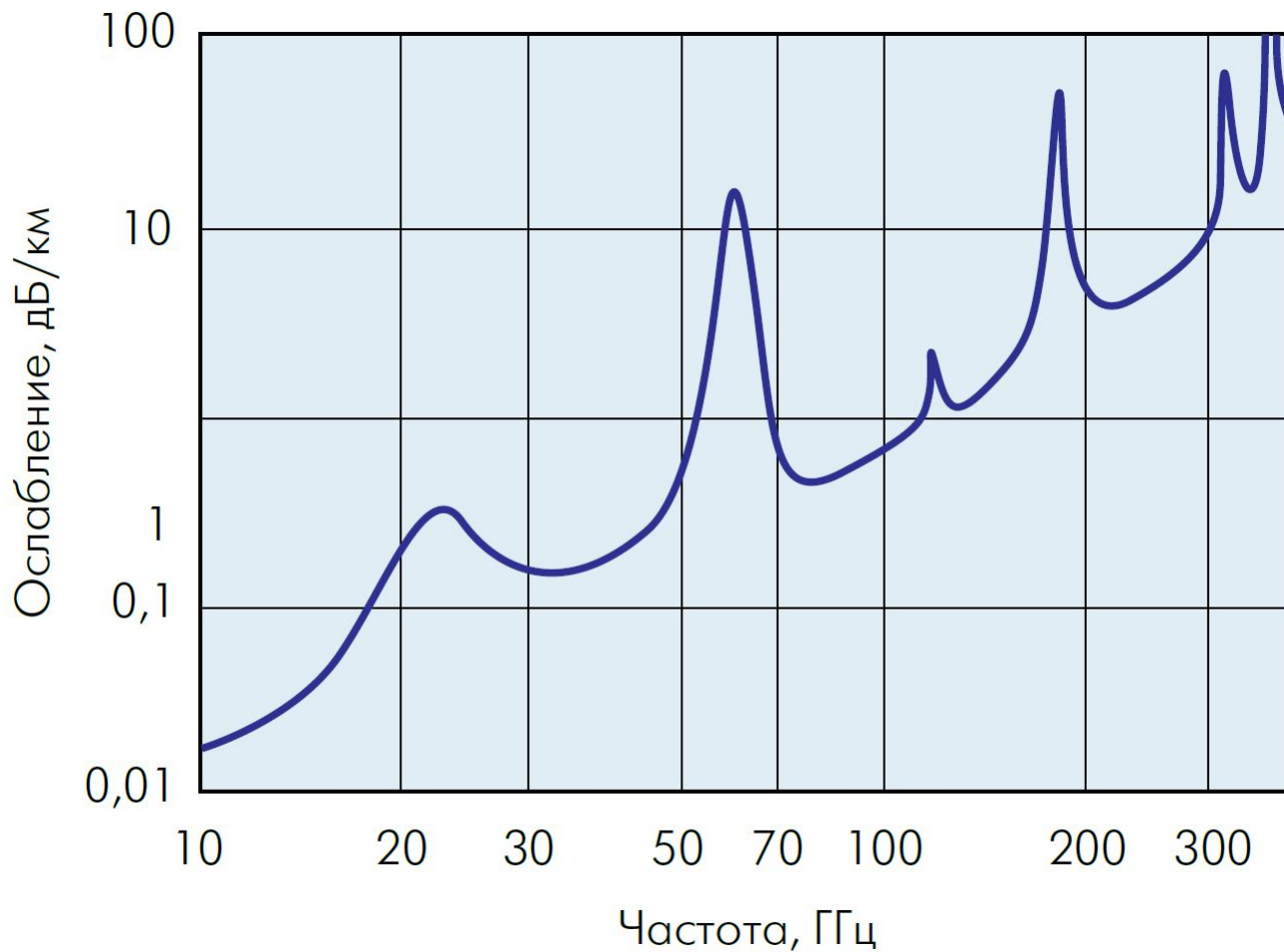
Особенности распространения ДМ- и см-радиоволн

- * волны этих диапазонов не отражаются от ионосферы и не рассеиваются в ней, т.е. ионосфера является для них прозрачной средой, следовательно могут использоваться в космической связи
- * распространяются как земные волны на небольшие расстояния
- * преимущественно распространяются как тропосферные, главным образом, за счет рассеяния на неоднородностях, в меньшей степени за счет волноводного действия тропосферы

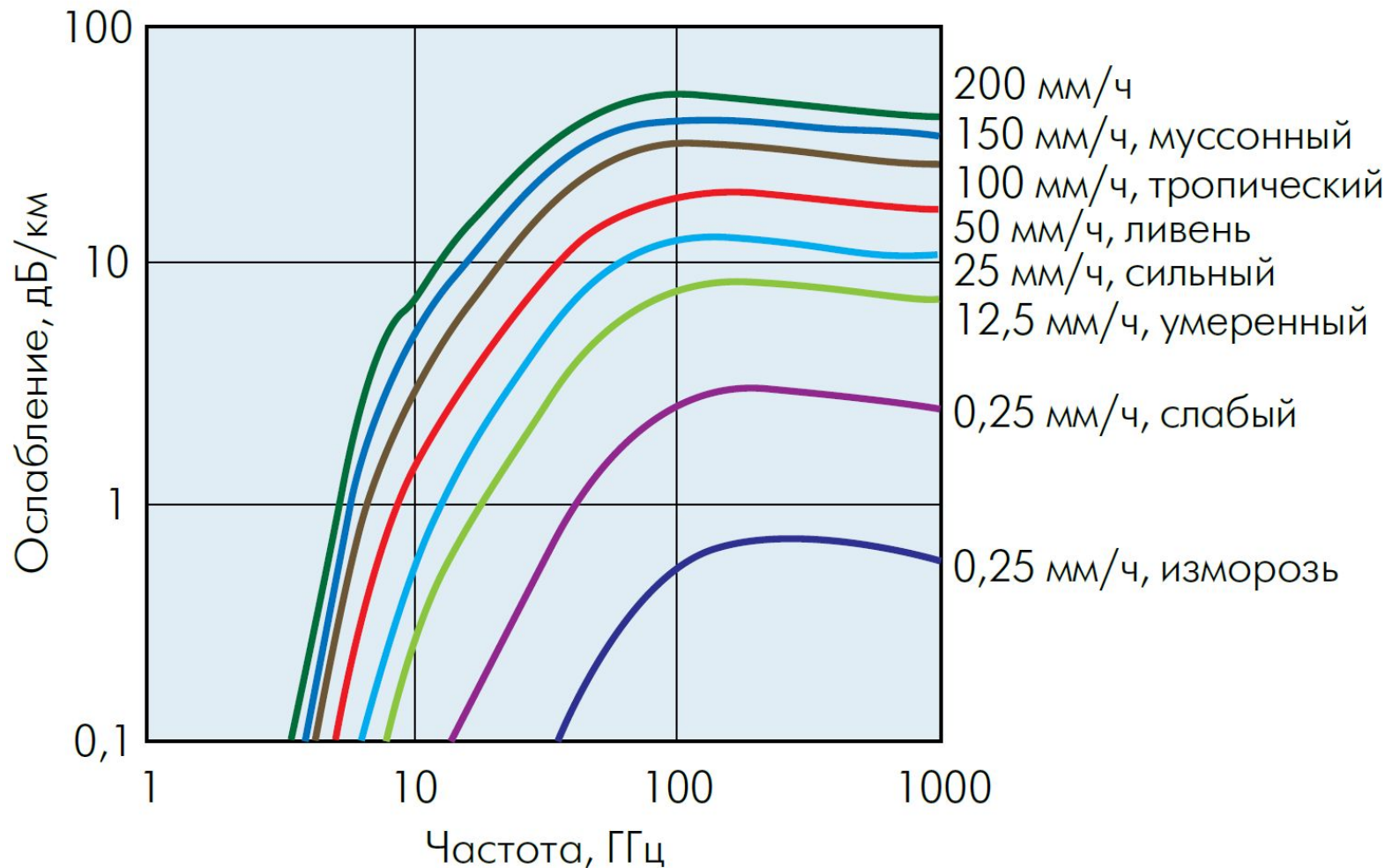
Особенности распространения дм- и см-радиоволн

- * Волны дм- и см-диапазонов не испытывают значительного поглощения в гидрометеорах и молекулярного поглощения в атмосферных газах

Распространение мм-волн. Поглощение в атмосферных газах



Распространение мм-волн. Поглощение в дожде



Сверхдальняя связь

Иногда на УКВ реализуется сверхдальняя связь на 1000 км и более, не объяснимая закономерностями нормального квазиоптического распространения.

Такие аномалии чаще всего обусловлены особым состоянием атмосферы:

- отражение от северного сияния
- отражение от метеоритных следов
- распространение УКВ с отражением от Луны и спутников Земли

Особенности распространения средних волн

- Средние волны – это радиоволны в диапазоне от 300 кГц до 3 МГц.
- При распространении в ионосфере в нижних участках траектории испытывают постепенное преломление, в вершине траектории претерпевают полное отражение
- Средние волны заметно поглощаются в ионосфере

Особенности распространения средних волн

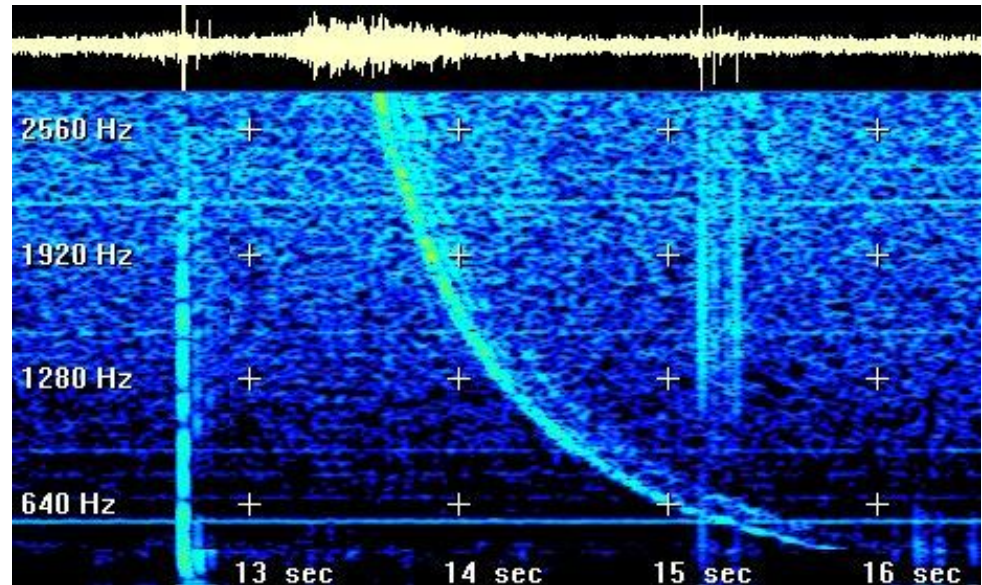
- Средние волны могут распространяться как земные и как ионосферные, в связи с чем в ночные часы в точке приема возможно сложение земной и ионосферной компонент и наблюдается интерференционная картина поля
- В случае, если ЗС расположена вне зоны действия земных волн возможна интерференционная картина поля, обусловленная интерференцией лучей, претерпевших разное число отражений от ионосферы

Особенности распространения сверхдлинных и длинных волн

- * радиоволны этих диапазонов распространяются как ионосферные в результате последовательных отражений между Землей и нижней границей слоя D в дневные часы и слоя E – ночью
- * сверхдлинные и длинные радиоволны характеризуются постоянством условий распространения, т.к. слои D и E являются наиболее устойчивыми образованиями в ионосфере

Особенности распространения сверхдлинных волн

- Низкочастотные сверхдлинные волны — *атмосферики* — связаны с электрическими разрядами в атмосфере и слышны в приемнике как пощелкивания, потрескивания и клеткот.
- Атмосферики - это недолго живущие ЭМ поля, распространяющиеся между земной поверхностью и нижней границей ионосферы (слоем D).



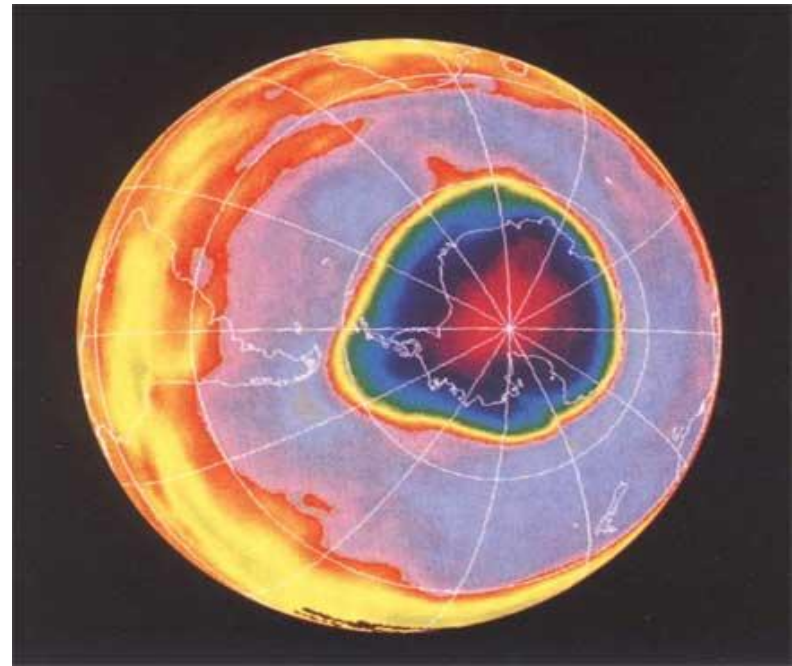
Распространение сверхдлинных ВОЛН

Грозовой разряд (молния) порождает атмосферерики вместе с побочными явлениями:

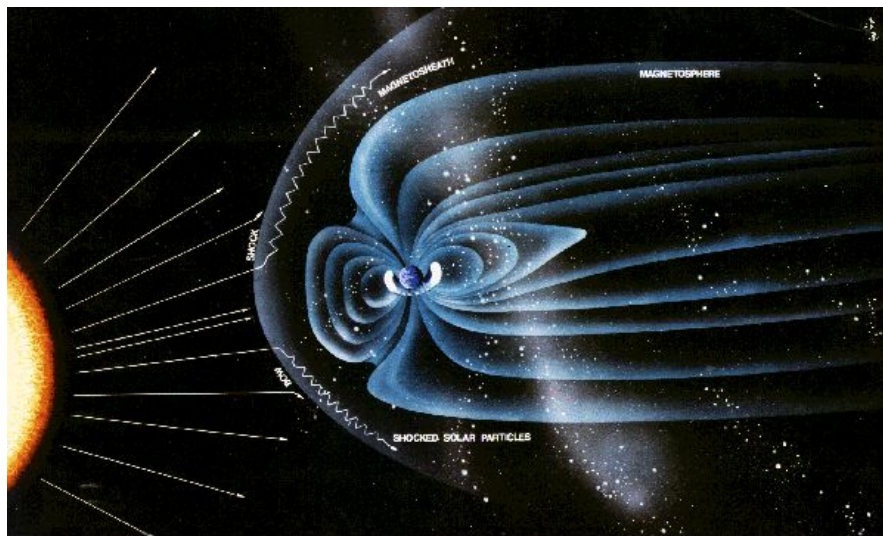
- * **Tweeks** — напоминают звучание музыкального инструмента. Видимо, возникают вследствие многократных отражений атмосферериков между земной поверхностью и слоем D
- * **Птичий щебет** — похоже на пение птиц. Эффект появляется ранним утром, его часто называют предрассветным хором. Полоса частот 1-5 кГц

Распространение сверхдлинных волн

- **Шепот** — воспринимается как шепот и обычно сопровождает северное сияние; занимает частоты 2-30 кГц
- **Свист** — звучит как свист меняющейся высоты.
- Слышен ночью или в предрассветные часы преимущественно в умеренных географических широтах.



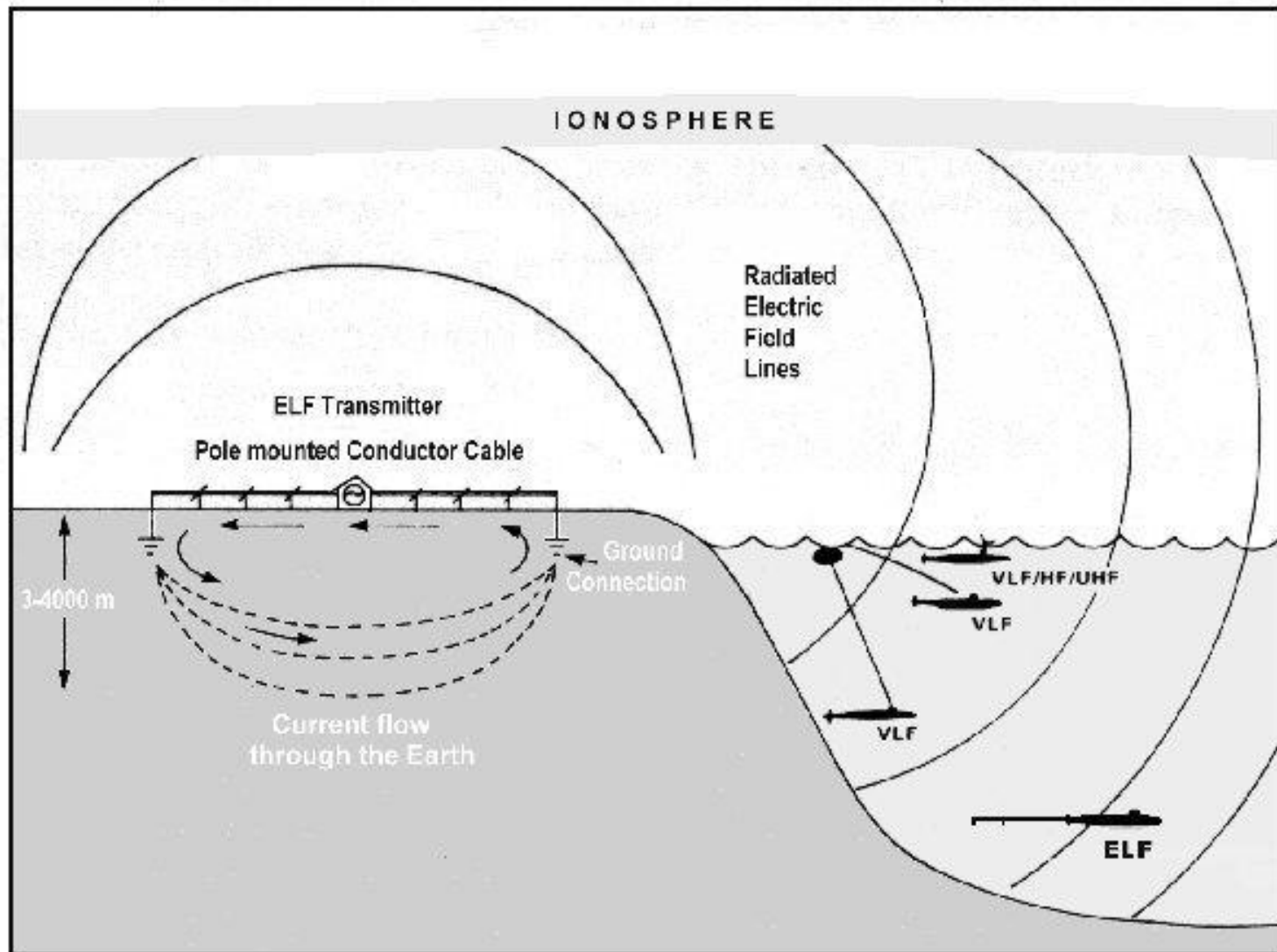
Распространение сверхдлинных ВОЛН



- В отличие от атмосфериков, эти побочные явления развиваются не в ионосфере, а вне её, в области, которая расположена вдоль магнитосферных волноводов, вытянутых «подковой» в космическое пространство на расстояние до 10 тыс. км.

Применение радиоволн СДВ диапазона





- * Зависимость глубины проникновения радиоволн от их частоты
 VLF (very low frequency) - очень низкие частоты
 ELF (extremely low frequency) - крайне низкие частоты
- * Сверхдлинные волны – радиоволны с длиной волны свыше 10 километров.

Голиаф (1943 г.)

антенна Александерсена

Передающая ОНЧ-антенна состоит из трех зонтичных частей, смонтированных вокруг 3 центральных опор высотой 210 м, углы полотна закреплены на 15 решетчатых мачтах высотой 170 метров.

Каждое антенное полотно, в свою очередь, состоит из 6 правильных треугольников со стороной 400 м и представляет из себя систему стальных тросов в подвижной алюминиевой оболочке.

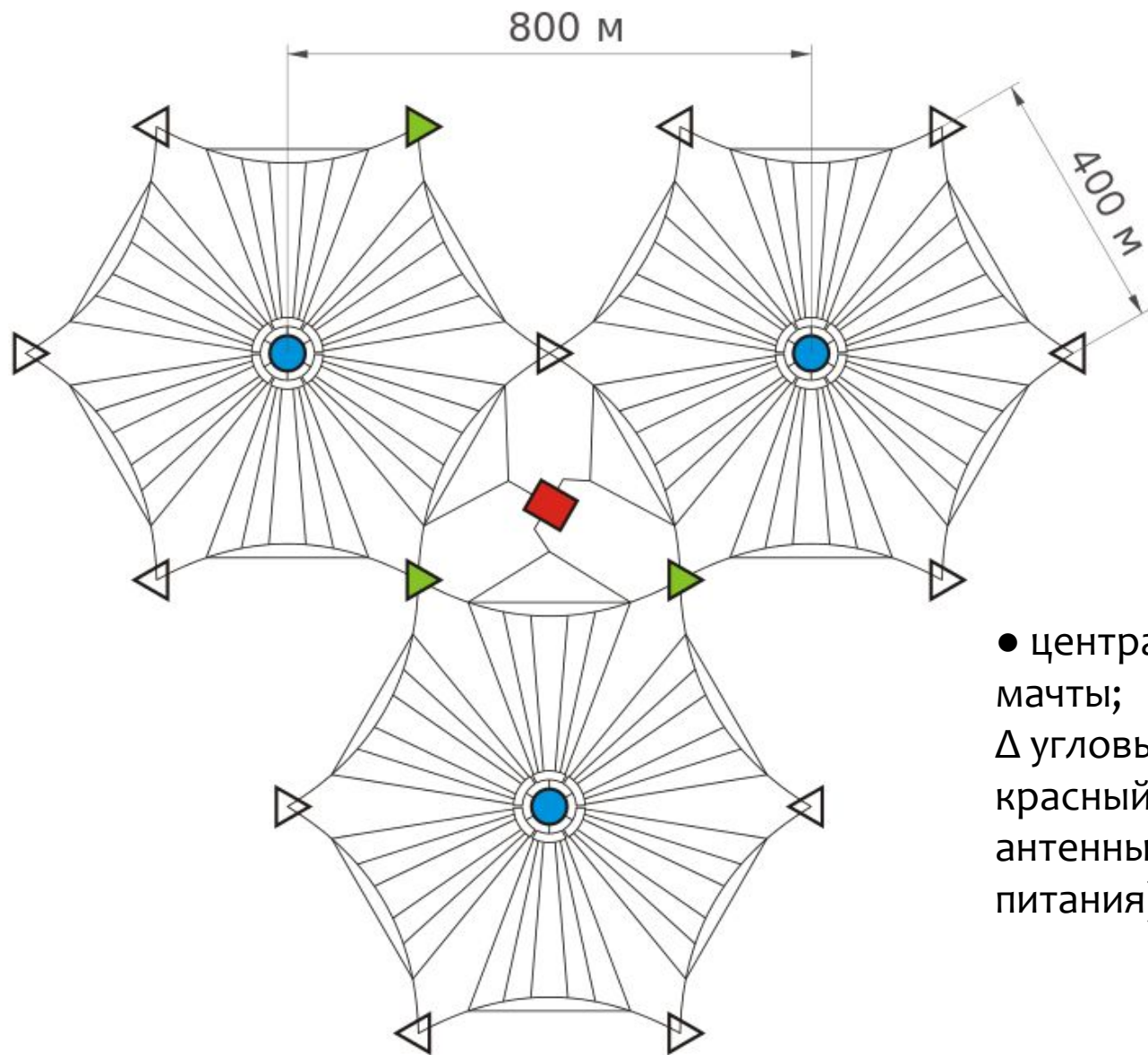
Натяжение антенного полотна производится 7-тонными противовесами.

Максимальная мощность передатчика – 1,8 МВт

Рабочий диапазон 15 – 60 кГц,
длина волн 5000 - 20 000 м.

Скорость передачи данных 300 бит/с
Дальность связи 4000 км





- центральные (трубчатые) мачты;
- Δ угловые (решетчатые) мачты;
- красный квадрат - центральный антенный павильон (точка питания)

ОНЧ-радиопередатчик «Антей» (Беларусь)

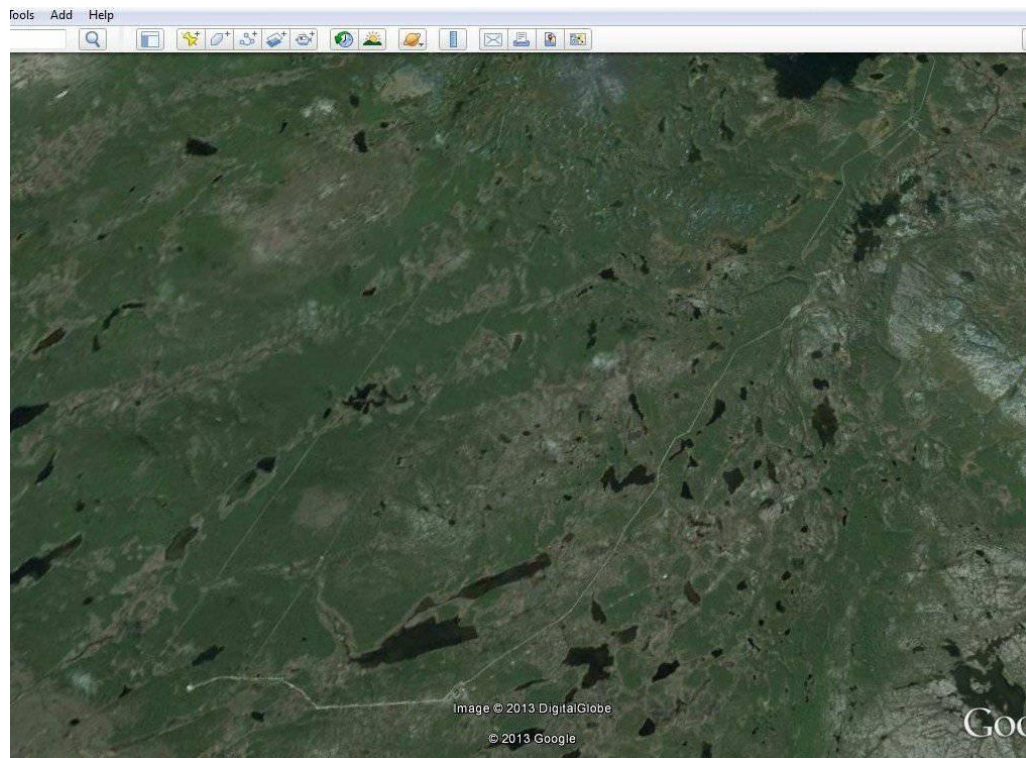


- * высота центральных опор до 305 м, высота боковых решетчатых мачт 270 м
- * обеспечивает связь с атомными лодками, несущими боевое дежурство в акваториях Атлантического, Индийского и северной части Тихого океана
- * Дальность связи 10000 км

Самолеты-ретрансляторы Ту-142МР «Орел» дальний противолодочный самолет

- * составная часть резервной системы управления морскими ядерными силами
- * на месте первого грузового отсека находится бобина с буксируемой 8600-метровой антенной ОНЧ-радиопередатчика «Фрегат» (ВАУ – выпускное антенное устройство)
- * имеется комплекс аппаратуры связи для работы в обычных диапазонах радиоволн (при этом самолет способен выполнять функции мощного КВ-ретранслятора даже без подъема в воздух)

ЗЕВС (Кольский полуостров)



Просеки с электродами 30 МВт

Частота сигнала 82 Гц, КНЧ
диапазон, длина волны 3660 км

Скорость передачи за один сеанс
три знака каждые 5-15 минут

Прием на ходу на глубинах до 200м
на буксируемую антенну
длиной 1 км

Технические характеристики

- * низкая удельная проводимость грунта – при глубине контактных скважин 2-3 километра, электрические импульсы проникают глубоко в недра Земли, пронизывая планету насквозь. Импульсы гигантского КНЧ-генератора отчетливо фиксируются даже научными станциями в Антарктиде.
- * низкий КПД, выходная мощность – несколько ватт

Перспектива


- * применение лазеров сине-зеленого спектра (0,42-0,53 мкм), чье излучение с наименьшими потерями преодолевает водную среду и проникает на глубину до 300 метров
- * Нейтринная связь

Нейтринная связь



В качестве источника частиц может быть применено накопительное мюонное кольцо, способное выдавать поток с интенсивностью 10^{14} нейтрино в секунду. Большинство из них пронзит всю планету без взаимодействия, очень малая доля столкнётся на своём пути с атомами и совсем уж крошечный процент прореагирует с веществом в непосредственной близости от субмарины.

- * По предварительной оценке, около подлодки будет происходить два столкновения в секунду.
- * Основная идея – детектором нейтрино является морская вода.
- * Нейтрино, столкнувшись с веществом, произведут высокоэнергетические мюоны, а те в свою очередь вызовут в воде черенковское излучение — слабое сияние, которое могут зарегистрировать высокочувствительные фотодетекторы на субмарине.
- * Канал будет обладать скоростью около 10 бит в секунду.

- 
- * Чигирь В.В. Антенны подводных лодок. Принципы построения, история создания.