



Всегда в
согласии с
природой
и с самим
собой
Ксенократ

Владивостокский
государственный университет
экономики и сервиса
Кафедра информационных технологий
и систем

**ЭЛЕКТРОДИНАМИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ
РАДИОВОЛН**

ЛЕКЦИЯ № 6

***Особенности распространения
радиоволн коротковолнового
диапазона***



ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕКЦИИ

1. Физические процессы при распространении коротких волн.

2. Процессы, затрудняющие работу КВ-канала передачи.

3. Влияние солнечной активности и геомагнитных возмущений на короткие волны.



Литература для самостоятельной работы

Основная литература

1. Дементьев С.Г., Левашов Ю. А. Электродинамика и распространение радиоволн. Стр. 73-82.
2. Халаев Н.Л. Презентация к лекции № 6 «Особенности распространения радиоволн коротковолнового диапазона».
3. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. Стр. 324-331, 135-146.

Дополнительная литература

4. ГОСТ Р 52002-2003. Электротехника. Термины и определения.
5. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. Стр. 268-306.



ВВЕДЕНИЕ

Декаметровые или короткие волны (КВ) занимают диапазон 10 – 100 м (3 – 30 МГц). Они широко используются для радиосвязи в земных условиях по ряду причин:

- отражение их от ионосферы сопровождается малым поглощением;
- многократно отражаясь от ионосферы и поверхности Земли, волны распространяются на очень большие расстояния.

Областями использования коротких волн являются радиовещание, мобильная радиосвязь, любительская радиосвязь (на частоте 27 МГц).

Однако КВ имеют ряд недостатков. Радиоприем зависит от регулярных и нерегулярных процессов в ионосфере, связанных с солнечной активностью, временем года и суток. Для радиосвязи с космическими объектами КВ не могут быть использованы, так как ионосфера для них непрозрачна.



Вопрос 1

Физические процессы при распространения радиоволн КВ-диапазона.

Другим механизмом распространения КВ является поверхностная волна. Однако при умеренной мощности передатчика поверхностная волна КВ-диапазона быстро затухает и дальность действия связи составляет всего несколько десятков км.

Особенности распространения КВ вынуждают выделять из всего диапазона *наименее применимые частоты* (НПЧ) и *максимально применимые частоты* (МПЧ).

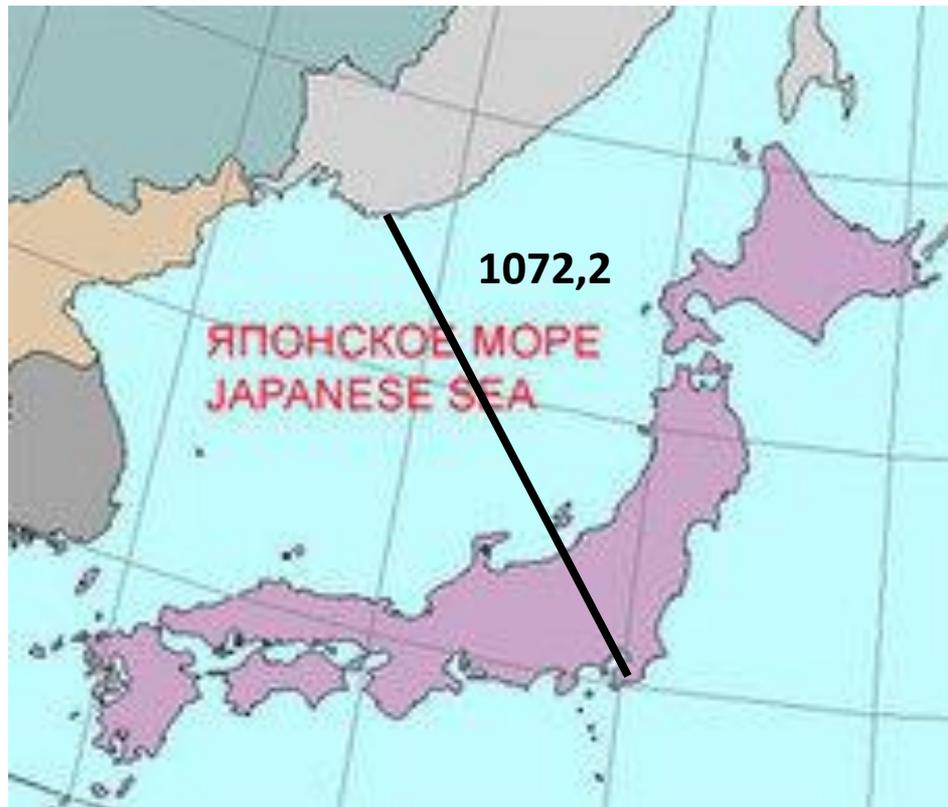
Короткие волны имеют *зону молчания* или *мертвую зону*. Этим волнам присущ *эффект замирания* интерференционного типа и поляризационного типа.

Эффективность использования радиоволн зависит от знания всех перечисленных особенностей и от умения своевременно принимать меры поддержания канала связи к использованию.



КВ – поверхностные волны

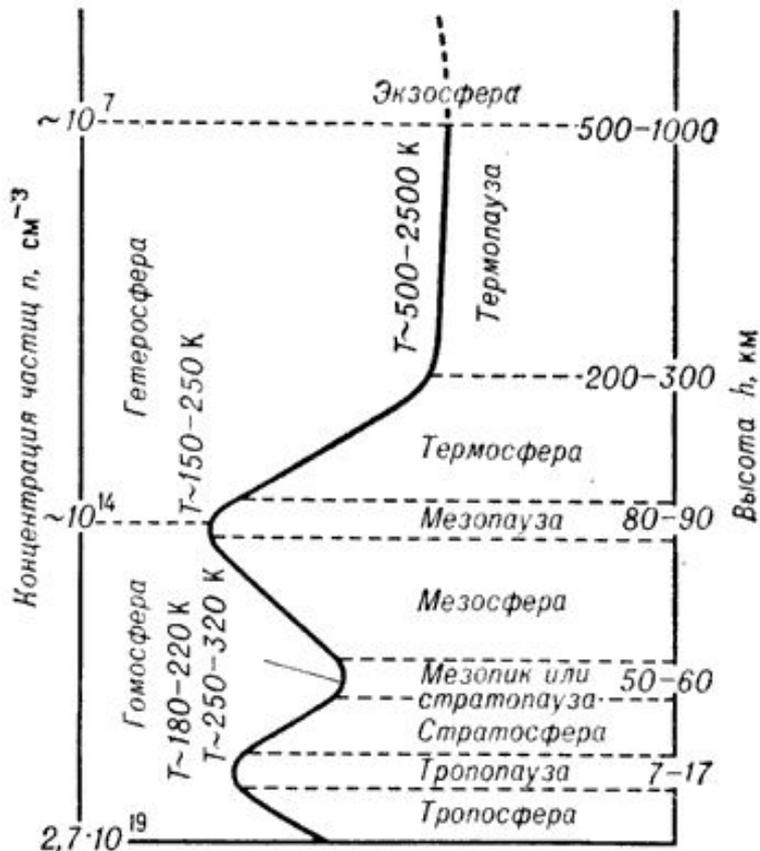
Протяженность поверхностных КВ-линий передачи не превышает нескольких сотен километров над сушей, а над морем - около тысячи километров. Небольшие дальности распространения поверхностных волн объясняются полупроводящими свойствами земной поверхности. Поглощение земной поверхностью волн КВ-диапазона больше чем в диапазоне средних и длинных волн.





КВ – ионосферные волны

Распространение коротких волн как ионосферных требует более тщательного анализа



Гетеросфера - атмосферные слои выше 80-90 км с составом воздуха, меняющимся с высотой вследствие гравитационного разделения (по плотности) газов воздуха и диссоциации молекул газов).

Гомосфера - нижние слои атмосферы до 80 км с составом воздуха, мало меняющимся с высотой (кроме водяного пара, углекислого газа и озона).

Ионосфера — верхняя часть атмосферы Земли, состоящая из мезосферы, мезопаузы и термосферы, сильно ионизированная вследствие облучения космическими лучами, идущими, в первую очередь, от Солнца.



Состав и строение

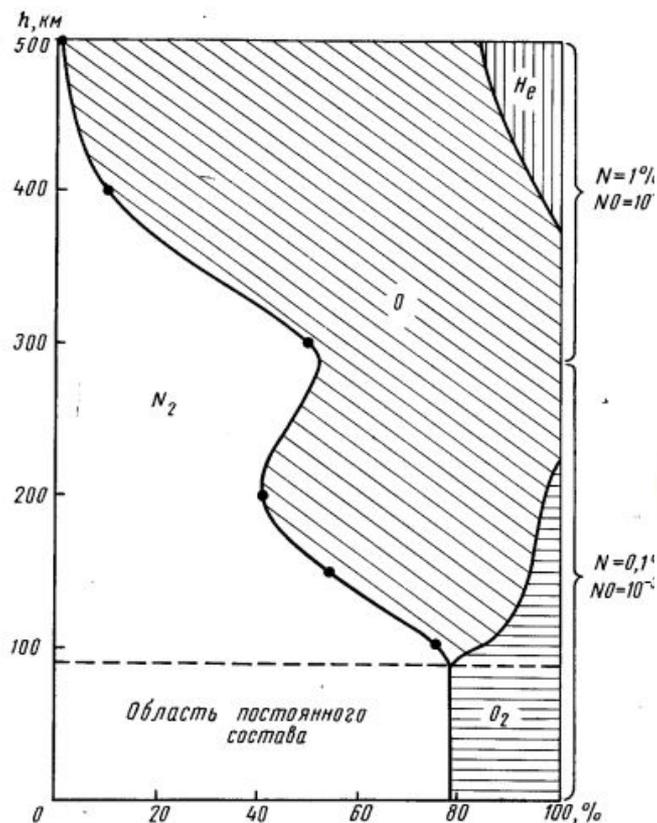
Данные наблюдений показывают, что до высот около 90 км ионосфера имеет такой же состав, как и у поверхности Земли:

- азот молекулярный (N_2) – 78, 09 %;
- кислород молекулярный (O_2) -20, 95 %;
- аргон атомарный (Ar) – 0, 93 %;
- углекислый газ (CO_2) – 0,03%;
- неон атомарный (Ne) – $1,8 \cdot 10^{-3}$ %;
- гелий атомарный (He) – $5, 24 \cdot 10^{-4}$ %;
- водород молекулярный (H_2) – $5 \cdot 10^{-5}$ %.

Господствующие в нижней области атмосферы течения, восходящие и нисходящие потоки воздуха настолько хорошо перемешивают атмосферу, что обеспечивают постоянство ее состава до мезопаузы.



Влияние солнечной радиации на молекулы воздуха



На больших высотах различие в массах газов приводит к стратификации атмосферы по молекулярному признаку: CO_2 (44,0) \rightarrow Ar (39,9) \rightarrow O_2 (32,0) \rightarrow N_2 (28,0) \rightarrow Ne (20,0) \rightarrow He (4,0) \rightarrow H_2 .

В разреженной атмосфере под действием солнечной радиации происходит диссоциация кислорода и азота, то есть их молекулы расщепляются на атомы, которые перемещаются в более высокие атмосферные слои. Однако диссоциация азота идет значительно медленнее, чем у кислорода и на высотах свыше 100 км картина газораспределения имеет вид, как показано на рисунке.



Процесс ионизации имеет два направления: *фотоионизация* и *ударная ионизация*

Ионизирующим воздействием обладает ультрафиолетовое излучение Солнца в диапазоне 350 – 1340 ангстрем и воздействует на различные атомы и молекулы газов, находящихся в верхних слоях атмосферы. Говоря о Солнце как о главном источнике ионизации земной атмосферы, не следует забывать, что ультрафиолетовое излучение в области короче 2000 ангстрем не остается постоянным и имеет 11-летний период.



Прочие источники ионизации

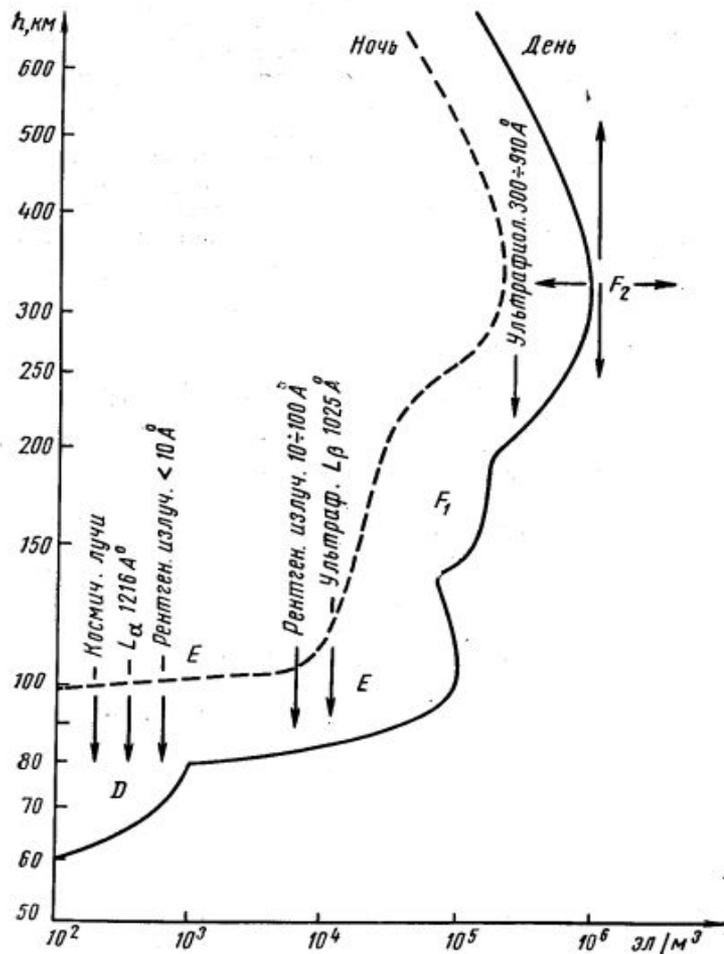
Кроме ультрафиолетового излучения Солнца имеются другие ионизаторы.

Космические лучи несолнечного происхождения, глубоко проникая в толщу атмосферы Земли, играют существенную роль в образовании более низких ионизированных слоев атмосферы.

Наконец, причинами ионизации являются космические частицы, вторгающиеся в атмосферу, сгорающие в ней и вызывающие ионизацию.



Распределение слоев электронной концентрации

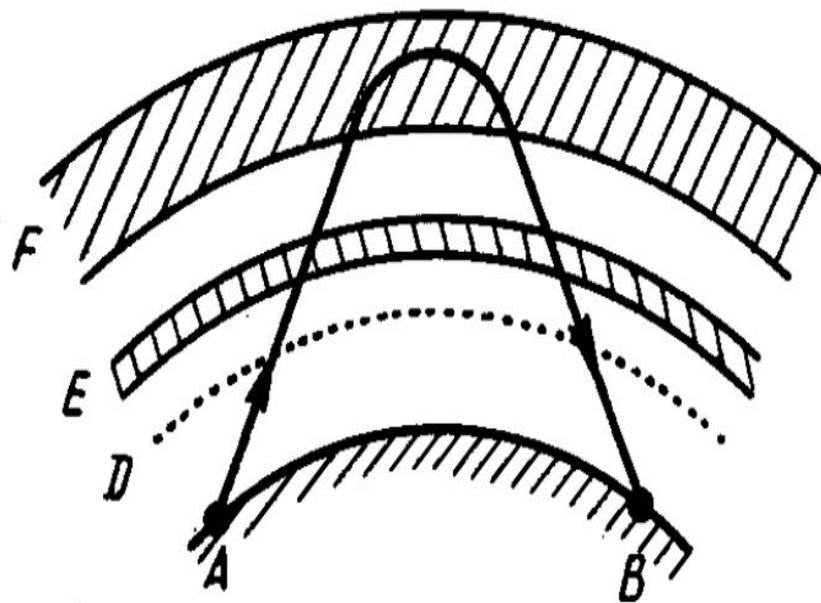


Днем различают четыре области:

- D – от 60 км до 90 км;
- E – от 95 км до 120 км;
- F₁ (только в летние месяцы в часы наибольшей освещенности)
 - от 180 до 240 км;
- F₂ – от 230 до 400 км.

В ночные часы области D и F₁ исчезают и остаются только слои E и F₂. Естественно, что с наступлением темноты электронная концентрация этих областей существенно уменьшается.

Траектория волны при нормальных ионосферных условиях

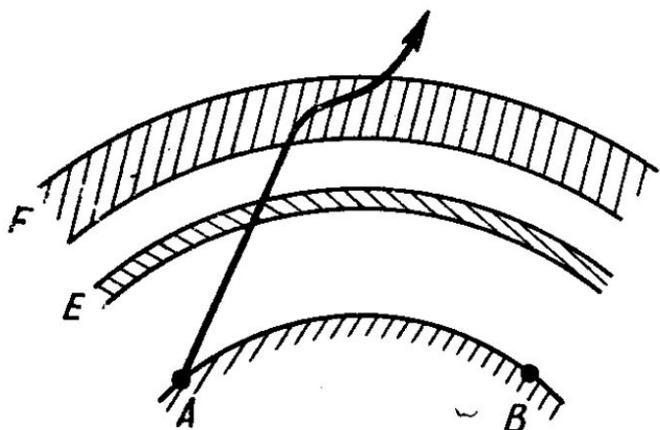


При нормальных условиях распространения ионосферных коротких волн каждая из обозначенных областей выполняет определенную функцию: области D и E являются поглощающими, а область F_2 – отражающим, как показано на рис. 6.3.

В полуденные часы коэффициент поглощения коротких волн в области E примерно в 100 раз больше чем в области F_2 . Это позволяет сделать заключение о том, что слой F является отражающим. Следует помнить, что с увеличением частоты коэффициент поглощения уменьшается.

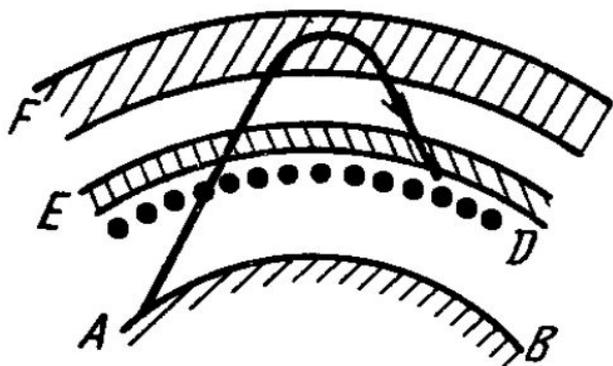


Условия функционирования КВ-радиоканала



Применяемые для радиосвязи на больших расстояниях короткие волны разбивают на три поддиапазона:

- *дневные волны* (от 10 до 25 м), рекомендуемые к использованию в дневные часы;
- *ночные волны* (от 35 до 100 м), рекомендуемые для связи в ночное время;
- *промежуточные волны* (от 25 до 35 м), рекомендуемые для связи в часы полусвеченности (утром и вечером).





Спорадический слой

Нормальные условия распространения коротких волн могут быть нарушены возникновением *спорадического слоя* E_s , который может возникать в любое время суток и обладает весьма значительной электронной концентрацией, становясь отражающим слоем на высотах ниже 80 км, уменьшая тем самым дальность трассы. Появление таких слоев прогнозируют станции вертикального зондирования атмосферы и сообщают специальными циркулярами операторам заблаговременно.



Вопрос 2



Процессы, затрудняющие работу КВ-канала передачи.

***Кроме выше указанных свойств КВ
существует ряд особенностей
распространения радиоволн этого
диапазона, затрудняющих прием-
передачу информации в радиоканале:***

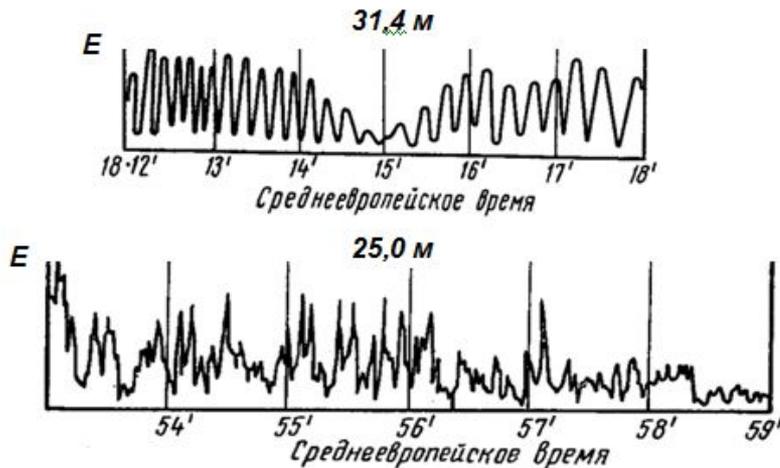
- замирания;***
- зоны молчания;***
- радиоэхо.***

Проанализируем эти явления.



Замирания

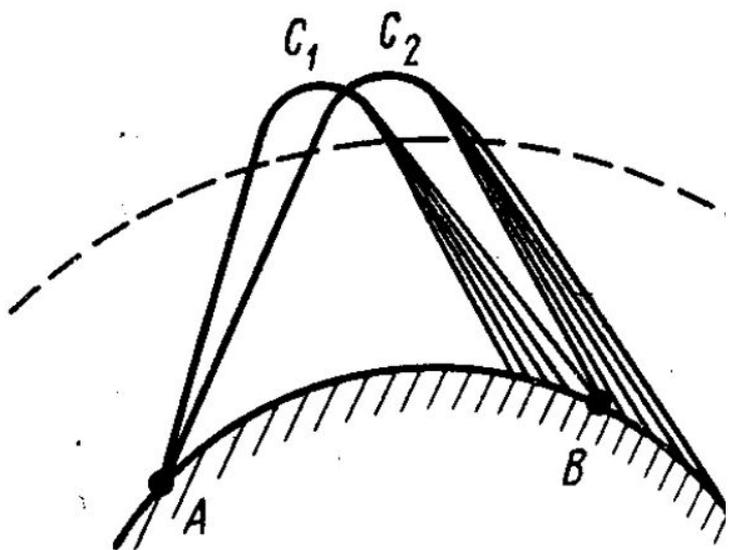
Явления, проявляющиеся при приеме сигналов в беспорядочном изменении их уровня: возрастание амплитуды сигнала чередуется с глубокими уменьшениями в десятки и даже сотни раз. Период замираний, определяемый как промежуток времени между двумя последовательными минимумами или максимумами, колеблется от нескольких десятков секунд до долей секунды.



Основной причиной замираний следует считать интерференцию нескольких приходящих в место приема лучей, фазы которых вследствие непостоянства ионизированных слоев непрерывно изменяются. На рисунке в качестве примера показаны замирания сигналов на различных частотах (по А.Н. Щукину).



Природа интерференционного замирания лучей



Два луча могут попасть в место приема в противофазе в результате *двойного лучепреломления*. Под действием постоянного магнитного поля Земли ионосфера приобретает свойства *двойкопреломляющей среды*. В условиях распространения коротких волн это свойство проявляется в том, что попадающий в ионосферу луч расщепляется на два эллиптически поляризованных луча, называемых *обыкновенным и необыкновенным лучами*

Интерференция этих лучей также приводит к возникновению замираний сигналов. Наиболее важный случай интерференционных замираний схематически показан на рисунке.



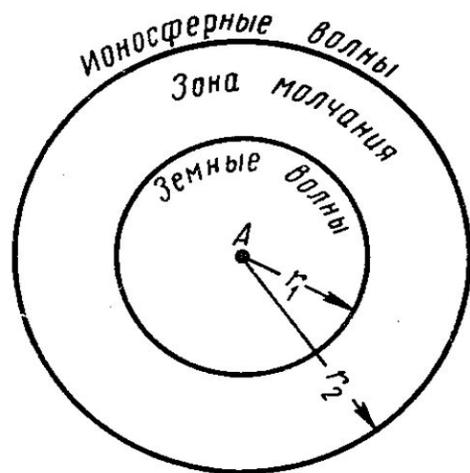
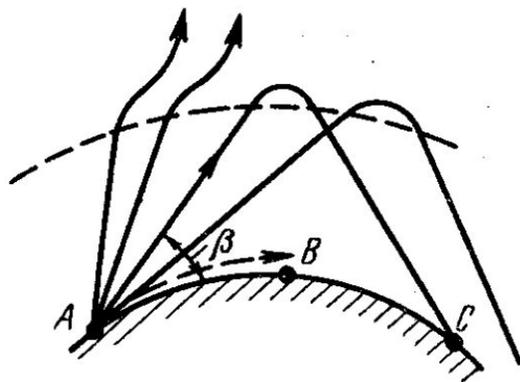
БОРЬБА С ЗАМИРАНИЯМИ

Для борьбы с замираниями применяют различные методы, например, прием на антенны с узкой диаграммой направленности, ориентированной так, чтобы принимался только один луч. Однако направление прихода луча меняется в течение суток, поэтому необходимо предусматривать возможность изменения направления максимума диаграммы направленности антенны. С этой задачей успешно справляются *смарт-антенны*. Эффективным является также прием на разнесенные антенны. Дело в том, что увеличение и уменьшение напряженности электрического поля происходят не одновременно даже на сравнительно небольшой площади земной поверхности. В то время как в месте расположения одной антенны уровень напряженности поля мал, вблизи второй антенны на расстоянии в несколько длин волн (в судовых или корабельных условиях бывает достаточным переход от кормовой антенны к носовой или, наоборот) от первой напряженность электрического поля оказывается достаточной для приема.



Зоны молчания

Зоной молчания называют образующуюся вокруг работающего передатчика кольцевую область, в которой отсутствует прием сигналов. Короткие волны, как поверхностные поглощаются в почве, а луч, составляющий угол попадает в β точку С. Все более пологие лучи попадают в более удаленные точки на поверхности Земли.



На нижнем рисунке показана зона молчания в плане. Внутренний радиус определяется условиями распространения поверхностных волн.



Меры устранения зоны молчания

По мере увеличения частоты размеры зоны молчания возрастают за счет одновременного уменьшения внутреннего и увеличения внешнего радиусов зоны.

При уменьшении частоты внешний и внутренний диаметр стремятся друг к другу, принимают одинаковые значения и зона молчания исчезает.

Если подстилающей поверхностью является морская вода, то зоны молчания не наблюдаются.



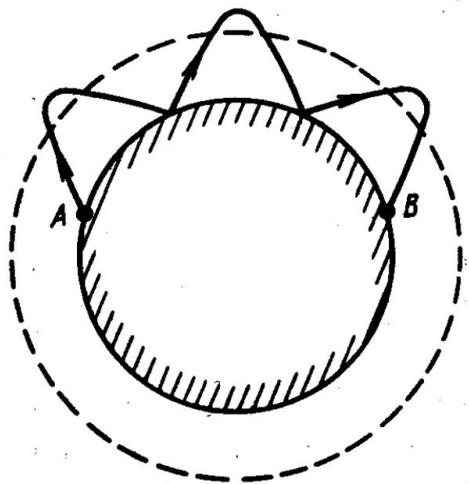
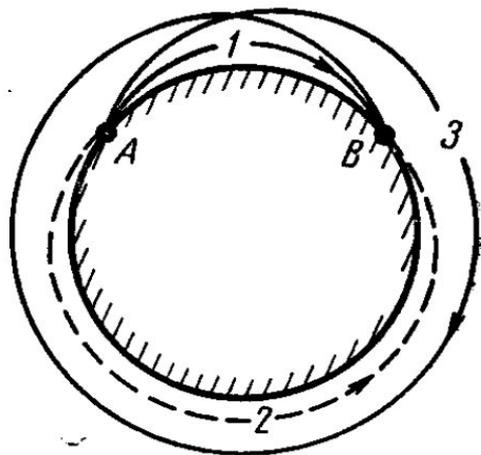
Радиоэхо на коротких волнах

Волнах

Относительно небольшое поглощение $KВ$ при ионосферном распространении позволяет радиоволнам огибать земной шар по ионосферному каналу (как показано на верхнем рисунке) или за счет переотражений от земной поверхности и ионосферы (нижний рисунок).

Различают прямое и обратное радиоэхо.

Степень запаздывания эхо-сигнала тем больше, чем больше разница в расстояниях при прямом и обратном распространениях.





Выделение эхо-сигнала по временному интервалу

Распространение радиоволн вокруг земного шара по экватору продолжается около 0,13 секунды. Одну тысячу километров волна преодолевает за 0,003 с.

Для выделения прямого эхо-сигнала используют первый временной показатель, при обратном – второй.

Как прямое, так и обратное кругосветное эхо может быть многократным. Разница в моментах прихода сигнала и эха будет кратной 0,13 с.



Методы борьбы с эхом

Подавление обратного эха обеспечивается применением однонаправленных приемных и передающих антенн. Труднее устранить прямое кругосветное эхо. В основу методов борьбы с прямым кругосветным эхом можно положить то обстоятельство, что во время возникновения кругосветного эха состояние ионизации в разных пунктах отражения, вследствие разной длительности дня и ночи, не вполне одинаково. Это позволяет выбрать радиоволны таких частот, которые вообще не отражаются от ионосферы. При этом не исключается, что придется в течении нескольких часов существования эха перейти на новую частоту.

Наличие смарт-антенн позволяет распознавать эхо-сигнал и подавлять его.

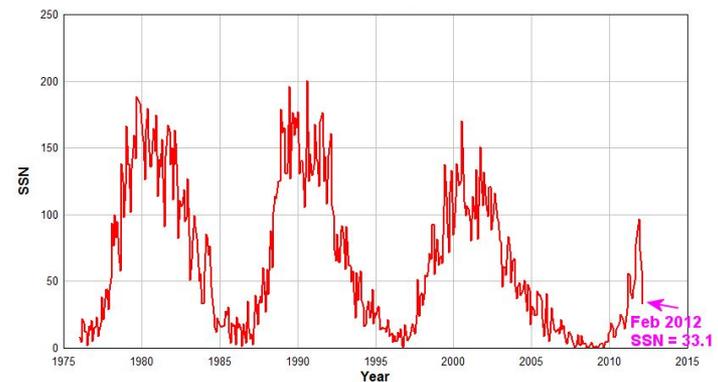
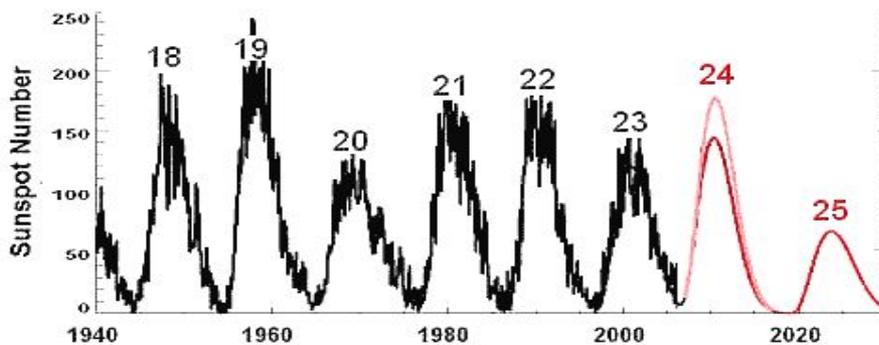




Вопрос 3..

Влияние солнечной активности и геомагнитных возмущений на короткие волны

С увеличением солнечной активности возрастает электронная концентрация во всех ионизированных областях. В наибольшей степени это проявляется во внешней части атмосферы, то есть в области F_2 и в наименьшей степени в области E . Это вызывает рост поглощения энергии и изменение крутизны отклонения лучей.





Заключение по явлению

При усилении солнечной активности поддиапазоны ночных, промежуточных и дневных волн сдвигаются в сторону более высоких частот. Кроме того, в годы высокой солнечной активности условия распространения ионосферных коротких волн в целом улучшаются



Влияние геомагнитных возмущений на условия распространения коротких волн.

Среди многообразных видов геомагнитных возмущений на условия распространения коротких волн влияют четыре:

- общие ионные возмущения, связанные со всемирными магнитными бурями;
- поглощения в зоне полярных сияний;
- поглощения в зоне полярных шапок;
- внезапные поглощения.



Общие ионосферные возмущения

Эти возмущения создаются происходящими время от времени на Солнце извержениями потока заряженных частиц, которые, вторгаясь в атмосферу Земли, вызывают нагревание верхних слоев атмосферы и нарушают нормальную структуру ионизированной области атмосферы, главным образом, самой верхней части – области F2. Приближаясь к Земле, корпускулярные потоки отклоняются от первоначальных прямолинейных траекторий, завихряются и попадают, главным образом, в полярные районы. Этим определяется *географическое распределение ионосферных возмущений*.

Интенсивность ионосферных возмущений заметно снижается по мере уменьшения географической широты.

Во время ионосферных возмущений электронная концентрация в области F2 резко уменьшается. Область приобретает многослойный характер, что приводит к потере устойчивости



Поглощения в зоне полярных сияний

Это ионосферные возмущения местного характера, которые по своей сути являются поглощениями. Среди них в первую очередь следует отметить поглощения в кольцевой или спиральной форме, проходящие на геомагнитной широте $67,5$ градуса с севера и с юга шириной до 10 градусов. Под действием заряженных частиц с энергией до 1 Мэв, глубоко проникающих в атмосферу на уровне областей E или D , образуется сильно ионизированная область, которая вызывает значительное поглощение распространяющихся коротких волн. В то же время, ионизация этого слоя недостаточна для отражения коротких волн. Поглощения в зоне полярных сияний часто считаются предвестниками мировых магнитных бурь. Длительность этих поглощений измеряется часами и сутками.



Поглощения в полярной шапке

Другая разновидность ионосферных возмущений местного характера сокращенно называемая ППШ. В отличие от зоны полярных сияний, полярной шапкой называют круговую область с центром в геомагнитных полюсах, нижней границей которой является геомагнитная широта 64 градуса.

Сильная ионизация в этой области время от времени создается потоками космических лучей несолнечного происхождения, обладающие энергией 10 – 100 Мэв, то есть гораздо более энергичными частицами, чем частицы солнечного происхождения. Они влияют на зону D, организуя мощное поглощение коротких волн. Длительность поглощений достигает десятков часов.



Внезапные поглощения

Так называют особый вид ионосферных возмущений, которые вызываются происходящими время от времени на поверхности Солнца хромосферными вспышками, которые сопровождаются резким усилением интенсивности коротковолнового ультрафиолетового и рентгеновского излучений. Глубоко проникая в атмосферу Земли, электромагнитная радиация вызывает сильную ионизацию слоя *D*, а следовательно, и значительное поглощение коротких волн.

Длительность внезапных поглощений колеблется от нескольких минут до нескольких часов.



**МАТЕРИАЛ ЛЕКЦИИ
ИСЧЕРПАН
БЛАГОДАРЮ ЗА
ВНИМАНИЕ**

