



**Международный союз электросвязи
Центр повышения квалификации для
стран Европы и СНГ, Киев, Украина**



**Модели распространения радиоволн,
методы предсказания напряжённости
поля и потерь распространения,
применяемые МСЭ-R**

**Александр Васильев и Кевин Хьюз
Международный союз электросвязи
Бюро радиосвязи
Департамент исследовательских комиссий**



В каких случаях необходима оценка потерь распространения?



1. При проектировании и создании систем радиосвязи

- требуемый уровень сигнала?
- требуемая зона покрытия?
- время и период работы системы?
- требуемое качество?



В каких случаях необходима оценка потерь распространения?



2. Совместимость с другими системами и службами

- уровень мешающего сигнала (сигналов)?
- зона помех?
- период и время наличия мешающего сигнала?
- снижение качества обслуживания?

Возможна ли совместная работа?!



Модели распространения и частотные диапазоны (1)



Диапазон частот	Частота	Мода
ОНЧ	3-30 кГц	волноводная
НЧ	30-300 кГц	земная волна, пространственная волна
СЧ	0,3-3 МГц	земная волна, пространственная волна
ВЧ	3-30 МГц	пространственная волна



Модели распространения и частотные диапазоны (2)



Диапазон частот	Частота	Мода
ОВЧ	30-300 МГц	пространственная волна, тропосферное рассеяние, дифракция, линия прямой видимости
УВЧ	0,3-3 ГГц	пространственная волна, тропосферное рассеяние, дифракция, линия прямой видимости
СВЧ	3-30 ГГц	линия прямой видимости
КВЧ	30-300 ГГц	линия прямой видимости



Основные факторы, при оценке распространения радиоволн

1. Эффекты распространения, обусловленные подстилающей поверхностью и препятствиями на пути волны
2. Эффекты распространение в тропосфере: для чистой атмосферы
3. Эффекты распространение в тропосфере: для загрязнённой атмосферы
4. Эффекты распространение в ионосфере
- частотно-зависимы



Изменчивость среды распространения

- **Климат в тропосфере**
 - Температура, давление, водяные пары
 - Интенсивность дождя
 - Покрытие облаками
- **Изменения в ионосфере**
следовательно:
- **зависят от места (региона) - климата, времени года, и в ряде случаев, времени дня/ночи (например: умеренный, тропический, экваториальный климат; лето, зима)**



Исследовательская комиссия 3 (ИК-3)



«Распространение радиоволн»

Задачи: Изучение природы распространения радиоволн в ионизированной и неионизированной среде, влияния осадков, эффекта преломления радиоволн и характеристики радио шума в целях усовершенствования радио систем.

СТРУКТУРА (рабочие группы):

- РГ 3J - Основы распространения радиоволн
- РГ 3K - Распространение “пункт-зона”
- РГ 3L - Ионосферное распространение
- РГ 3M - Распространение “зона -зона” и «Земля-космос»





ИК 3 – «Распространение радиоволн»



Ключевые вопросы

- **Создание и уточнение карт радиометеорологических параметров:**
 - климатических карт (осадков, водяных паров, и т.п.);
 - карт коэффициентов преломления радиосигнала для различных территорий;
 - карт проводимости земной поверхности, и т. д.
- **Предсказание потерь распространения:**
 - для полезного сигнала и мешающих воздействий;
 - на трассе Земля-космос;
 - в локальных радио сетях;
 - для сигналов служб радиовещания (в том числе цифрового) и подвижной связи.



Публикации ИК 3 (других ИК)



- **Рекомендации**
- **Справочники**
- **Отчёты**

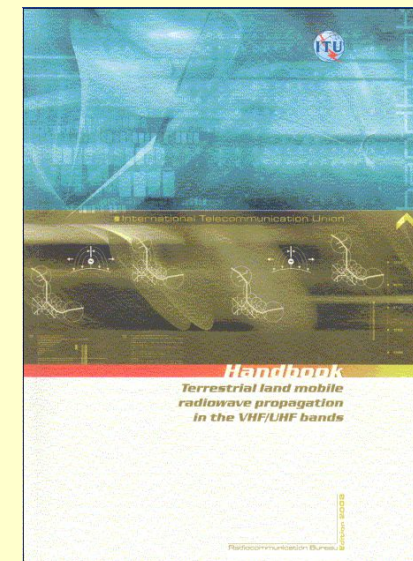
Все публикации ИК подготавливаются на основе входных документов, направленных участниками данной исследовательской комиссии (Государствами-Членами МСЭ и организациями/предприятиями членами сектора МСЭ-Р), после обсуждения и одобрения на собрании ИК.

Процедуры обсуждения, одобрения и принятия публикаций разрабатываются и утверждаются Ассамблеей радиосвязи.

ИК 3 – Распространение радиоволн. Справочники



- Кривые распространения радиоволн по поверхности Земли
- Ионосфера и её влияние на распространение радиоволн
- Применение данных о распространении радиоволн для прогноза канала связи Земля-космос
- Распространение радиоволн систем наземной и подвижной связи в ОВЧ и УВЧ диапазонах частот
- По радиометеорологии
- ...





Рекомендации МСЭ-R Серия Р рекомендаций



1. Базовые рекомендации:

- Основы (например определения)
- Радиошум
- Эффекты распространения – влияние почвы, влияние препятствий
- Радиометеорология
- Ионосферные эффекты



Рекомендации МСЭ-R Серия Р рекомендаций



2. Методы предсказание напряжённости поля:

- Методы предсказание для наземных трасс
- Методы предсказания для трасс Земля-космос
- Совместное использование частот, методы предсказания уровней помех и координация

Рекомендации МСЭ-R Серии Р



 Примеры рекомендаций МСЭ-R, относящихся к базовым понятиям:

- **R.526** Распространение радиоволн за счёт дифракции
- **R.833** Потери за счёт растительности
- **R.835** Эталонные стандартные атмосферы
- **R.676** Ослабление в атмосферных газах
- **R.453** Индекс рефракции радиоволн: его формула и данные о рефракции
- **R.837** Характеристики осадков, используемые для моделирования распространения радиоволн
- **R.1240** Максимальная применимая частота (MUF) и предсказание линии



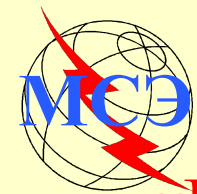
Отражение радиоволн

Рекомендация МСЭ-R P.526



«Распространение радиоволн за счёт дифракции»

- Дифракция (отражение) от гладкой сферической Земли
- Дифракция обусловленная препятствиями и неровной поверхностью:
 - Препятствия моделируемые клиновидными неоднородностями
 - Теория Френеля
 - Единичное гладкое препятствие
 - Множественные препятствия *multiple obstacles*
 - Проводящая клиновидная неоднородность



Преломление радиоволн Рекомендация МСЭ-R P.453



«Индекс рефракции радиоволн: его формула и данные о рефракции»

- Формулы для расчёта индекса рефракции (искривление траектории волны, вызванные неоднородным строением тропосферы, главным образом по вертикали) для атмосферы
- Вертикальный градиент рефракции
- Оценка волноводных эффектов
- Цифровая карты с данными для расчёта индекса рефракции для различных времён года (доступны с ИНТЕРНЕТ страницы Исследовательской комиссии 3 по адресу:
<http://www.itu.int/ITU-R/software/study-groups/rsg3/databanks/troposph/index.html>)



Моделирование осадков Рекомендация МСЭ-R P.837



«Характеристики осадков, используемые для моделирования распространения радиоволн»

- Цифровые карты с указанием значений интенсивности осадков превышаемых в указанном проценте времени среднего года для всей поверхности Земли
 - базируются на данных за 15 лет
 - доступны с ИНТЕРНЕТ страницы Исследовательской комиссии 3 по адресу:
<http://www.itu.int/ITU-R/software/study-groups/rsg3/databanks/troposph/rec837>)



Рекомендации МСЭ-R Серия Р рекомендаций



Примеры Рекомендаций для предсказания напряжённости поля:

- ◆ Р.533 Предсказание для ВЧ диапазона
- ◆ Р.1546 Пункт-зона, 30-3000 МГц
- ◆ Р.1238 В помещениях, 900 МГц-100 ГГц
- ◆ Р.530 Наземные службы; прямая видимость
- ◆ Р.618 Земля-космос (фиксированная спутниковая служба)
- ◆ Р.681 Подвижная спутниковая служба
- ◆ Р.452 Помехи на поверхности Земли, > 0.7 ГГц



Предсказание напряжённости поля в ВЧ диапазоне - Рекомендация МСЭ-R P.533 «Метод прогнозирования распространения радиоволн на ВЧ»



Входные данные

- Координаты пути
- частота (2-30 МГц)
- параметры системы
- месяц и год
- солнечная активность

Результаты

Средне-месячные данные:

- максимально применимая частота (MUF)
- напряжённость на входе приёмника
- мощность на входе приёмника
- отношение сигнал/шум
- наименьшая применимая частота (LUF)
- базовая надёжность линии (BCR)



Программа REC533



- Программа REC533 – компьютерная реализация Рек. МСЭ-Р Р.533 для оценки распространения ВЧ ионосферных волн и эксплуатационных характеристик радиолиний в диапазоне 2-30 МГц
- Усиление антенны оценивается в соответствии с Рек. МСЭ-Р BS.705
- Применима для планирования систем, управления использованием частот и диагностики эксплуатационных характеристик
- Доступна с ИНТЕРНЕТ страницы ИК 3 по адресу:



Пункт-зона

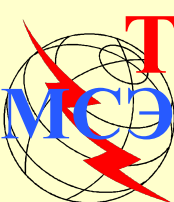
Рекомендация МСЭ-R P.1546



«Метод прогнозирования на трассах пункт–зона для наземных служб в диапазоне частот 30-3000 МГц»

Используется для предсказание напряжённости поля для наземных радиовещательных и подвижных служб:

- расстояние 1 – 1 000 км**
- различные проценты времени 1 - 50 %**
- земля, море и смешенные пути**
- предсказание как с использованием базы данных о поверхности так и без оной**
- зависимость от изменений градиента рефракции для заданного региона**



Трассы Земля – космос - Рек. МСЭ-R P.618

«Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования систем связи Земля-космос»



- Ослабление атмосферными газами
- Ослабление, деполяризация и рассеяние в гидрометеорах
- Пространственное разнесение терминалов
- Эффекты рефракции
 - мерцание
 - многолучевой приём
 - изменение угла прихода луча (для негеостационарных спутников)
- Частотные диапазоны ~1-55 ГГц



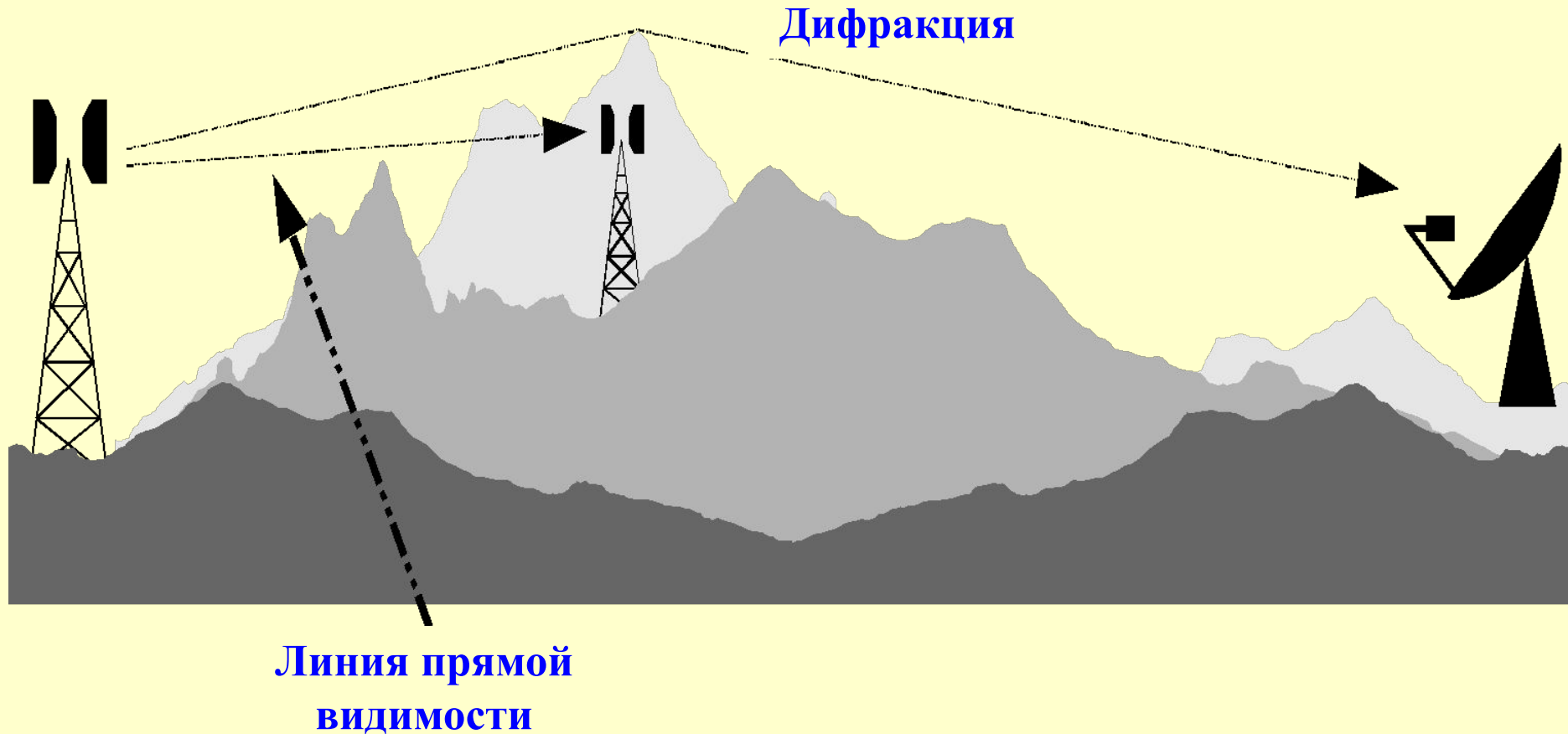
Распространение радиоволн на наземных трассах - Рекомендация МСЭ-R P.452



- **Основные механизмы распространения:**
 - дифракция
 - тропосферное рассеяние
 - сверхрефракция и волноводное распространение
 - рассеяние в дожде
- **Частотные диапазоны 0.7- 30 ГГц**

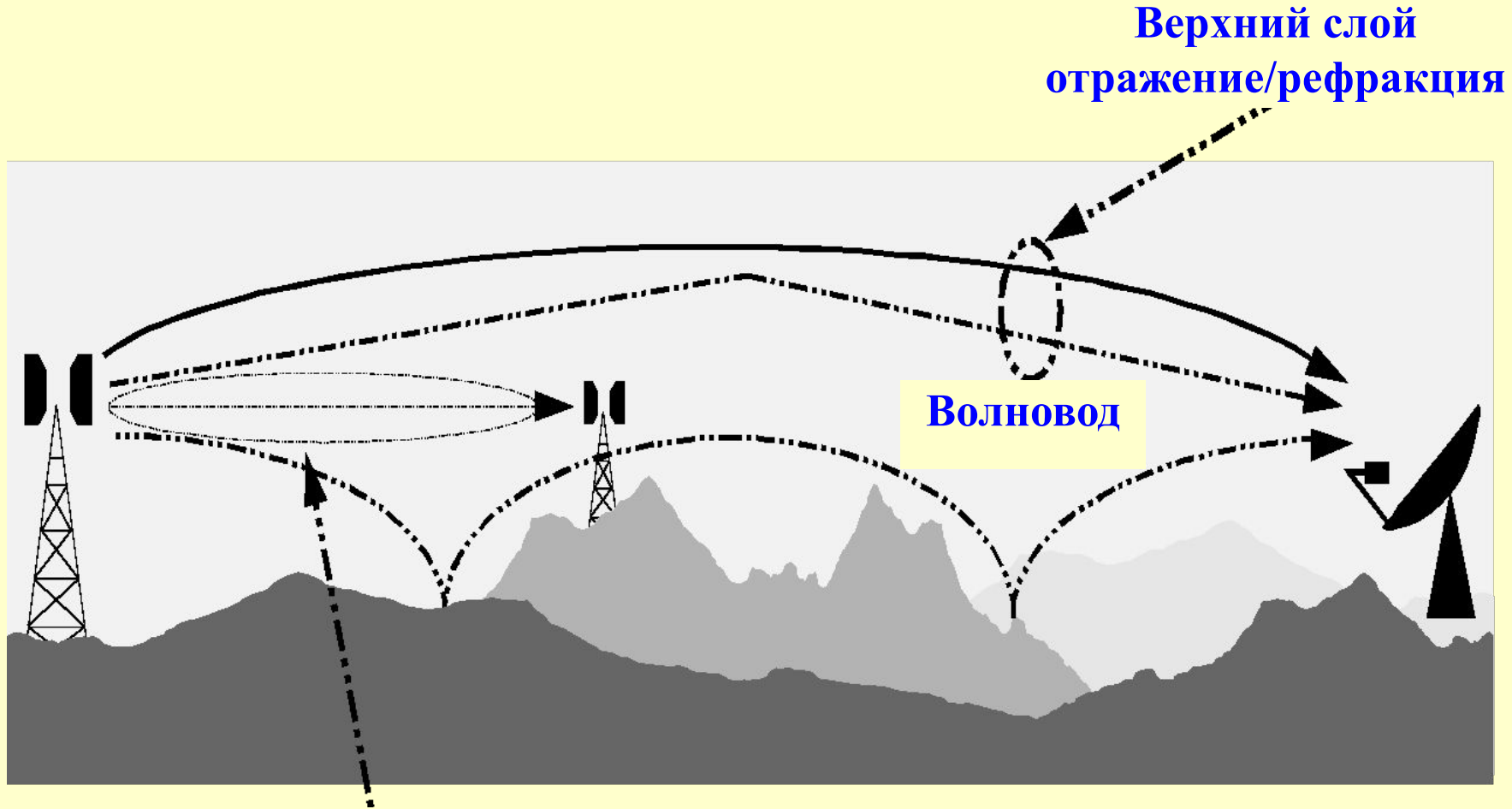


Дифракция и помехи в микроволновом диапазоне





Сверхрефракция, волноводные эффекты и помехи в микроволновом диапазоне



Линия прямой видимости с
многолучевым приёмом



ИК МСЭ-Р на ИНТЕРНЕТЕ



Детальная информация о структуре ИК, Рабочих и Целевых группах, изучаемых вопросах, рекомендациях, входных документах и т. п. публикуется на странице МСЭ-Р:
<http://www.itu.int/ITU-R/study-groups/index.asp>

Address: <http://www.itu.int/ITU-R/study-groups/index.asp>

International Telecommunication Union
Our Sites News Events Publications Site Map About Us

Home : ITU-R : Study-Groups

Office of the Secretary General
Radio-communication (ITU-R)
Telecom Standardization (ITU-T)
Telecom Development (ITU-D)
TELECOM Exhibitions and Forum
Membership

Radiocommunication Study Groups
More than 1 500 specialists, from telecommunication organizations and administrations throughout the world, participate in the work of the Study Groups concerned with:

- ▶ drafting Technical bases for Radiocommunication Conferences
- ▶ developing Draft Recommendations
- ▶ compiling Handbooks

About Study Groups

- ▶ Chairmen and Vice-Chairmen
- ▶ Meetings of Chairmen and Vice-Chairmen
- ▶ Scope of Study Groups, according to Resolution ITU-R 4-4
- ▶ Structure
- ▶ Head of Study Group Department

Working documents online

- ▶ Circular letters (LCCE)
- ▶ Working methods (Resolution ITU-R 1-4)
- ▶ Guidelines for the working methods (CA/117)
- ▶ PaLMS information search

Study Groups

- ▶ SG 1 - Spectrum management
- ▶ SG 3 - Radiowave propagation
- ▶ SG 4 - Fixed-satellite service
- ▶ SG 6 - Broadcasting services
- ▶ SG 7 - Science services
- ▶ SG 8 - Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services
- ▶ SG 9 - Fixed service
- ▶ CCV - Coordination Committee for Vocabulary
- ▶ CPM - Conference Preparatory Meeting
- ▶ SC - Special Committee on regulatory/procedural matters

Forthcoming Meetings

- ▶ Meetings schedule
- ▶ Meeting sessions daily agenda

Electronic facilities

- ▶ ITU-R electronic facilities
- ▶ Mailing lists - FTP server
- ▶ Contributions submission



Распространение радиоволн

Заключение



РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН:

- **Важная часть этапов разработки и планирования систем радиосвязи**
 - полезный сигнал
 - совмещение служб
- **Зависит от местоположения системы (например климата)**
- **Новые системы требуют новых подходов**
 - частоты
 - геометрия
- **69 Рекомендаций МСЭ-R по распространению радиоволн**
- **5 Справочников МСЭ-R по отдельным вопросам распространения радиоволн**



Вопросы???