



**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)



| <b>Диапазон частот</b> | <b>Частота</b>    | <b>Мода</b>                                     |
|------------------------|-------------------|---|
| <b>ОНЧ</b>             | <b>3-30 кГц</b>   | <b>волноводная</b>                              |
| <b>НЧ</b>              | <b>30-300 кГц</b> | <b>земная волна,<br/>пространственная волна</b> |
| <b>СЧ</b>              | <b>0,3-3 МГц</b>  | <b>земная волна,<br/>пространственная волна</b> |
| <b>ВЧ</b>              | <b>3-30 МГц</b>   | <b>пространственная волна</b>                   |



# Модели распространения и частотные диапазоны (2)



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



# 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

- **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.**

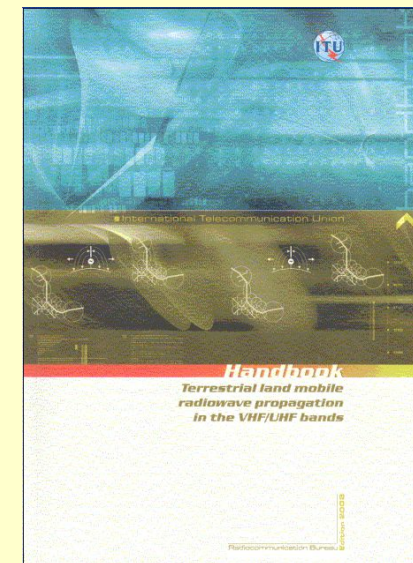
**Процедуры обсуждения, одобрения и принятия публикаций разрабатываются и утверждаются Ассамблеей радиосвязи.**



# 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)
- Радишум
- 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-Р Р.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

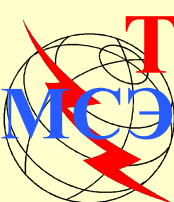
## Рекомендация МСЭ-R P.1546



**«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



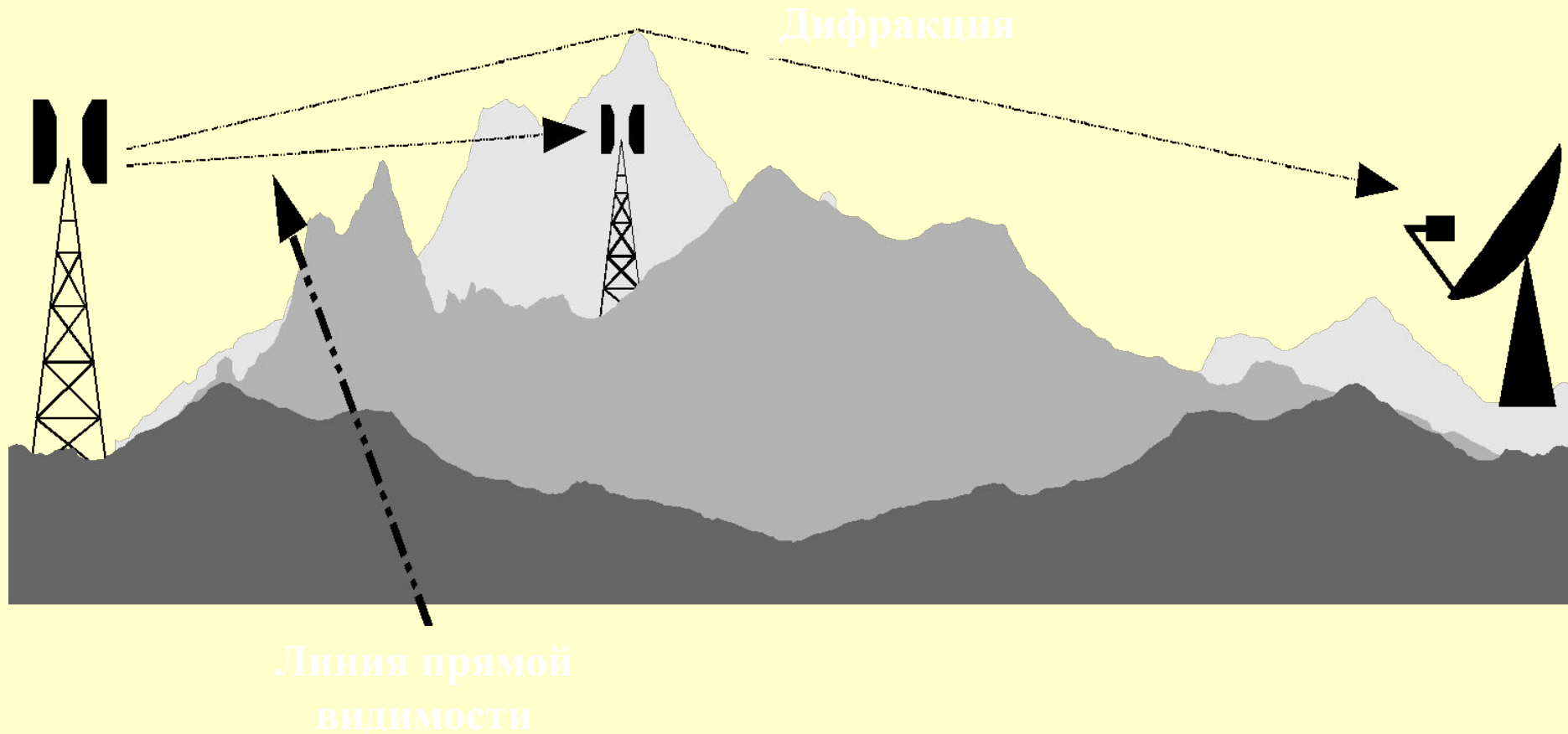
# Распространение радиоволн на наземных трассах - Рекомендация МСЭ-R P.452



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



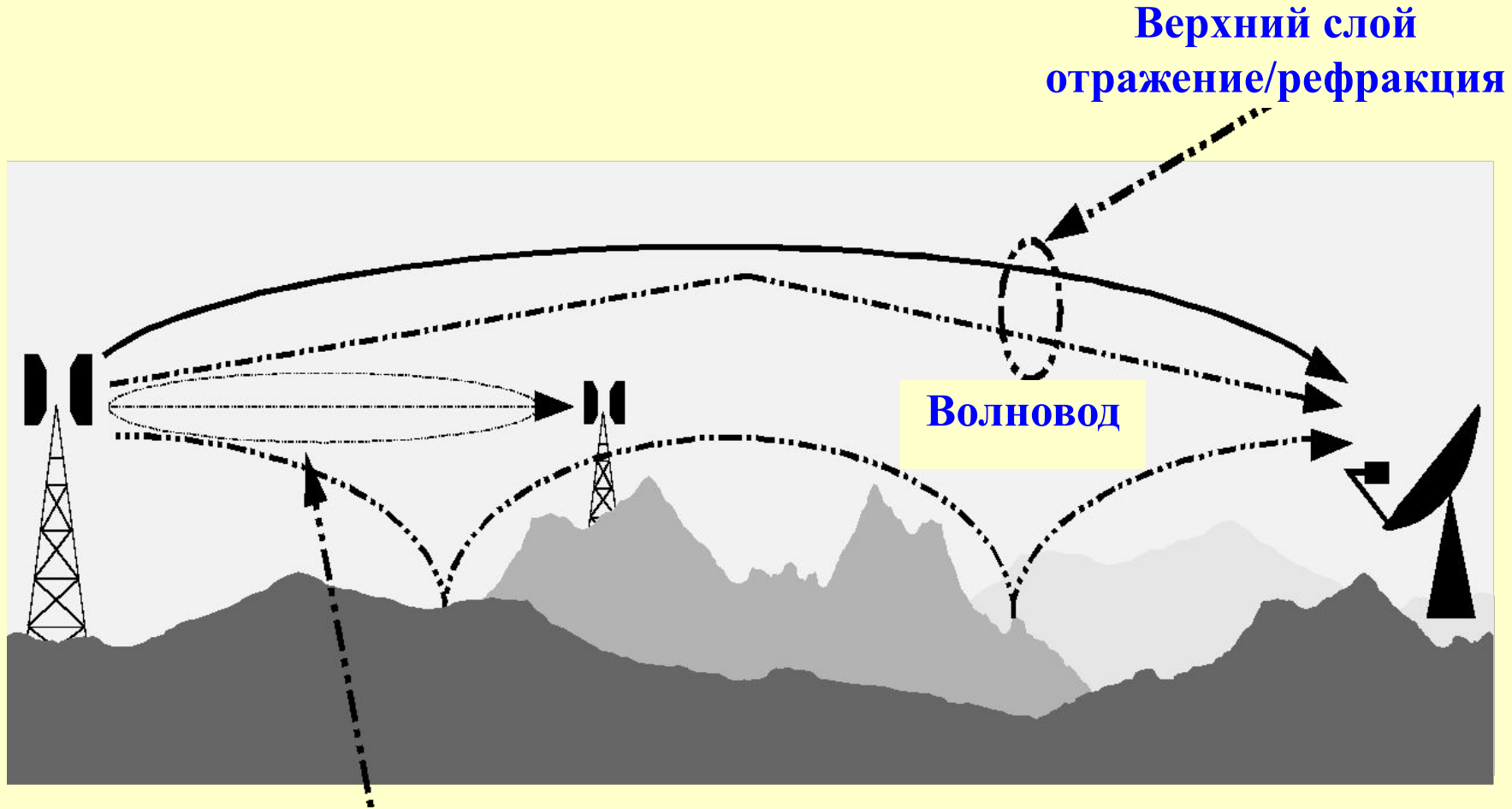
# Дифракция и помехи в микроволновом диапазоне







# Сверхрефракция, волноводные эффекты и помехи в микроволновом диапазоне



Линия прямой видимости с  
многолучевым приёмом

Международная конференция «Мониторинг радиочастотного спектра», Киев 1-4 июня 2004 года



# 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 TIES Users
- ▶ 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 TIES Users
- ▶ 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???