

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R Р.1144-9
(12/2017)

**Руководство по использованию методов
прогнозирования распространения
радиоволн, разработанных
3-й Исследовательской комиссией
по радиосвязи**

Серия Р
Распространение радиоволн



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

| Серия | Название |
|------------|---|
| BO | Спутниковое радиовещание |
| BR | Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения |
| BS | Радиовещательная служба (звуковая) |
| BT | Радиовещательная служба (телевизионная) |
| F | Фиксированная служба |
| M | Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы |
| P | Распространение радиоволн |
| RA | Радиоастрономия |
| RS | Системы дистанционного зондирования |
| S | Фиксированная спутниковая служба |
| SA | Космические применения и метеорология |
| SF | Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы |
| SM | Управление использованием спектра |
| SNG | Спутниковый сбор новостей |
| TF | Передача сигналов времени и эталонных частот |
| V | Словарь и связанные с ним вопросы |

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2018 г.

© ITU 2018

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.1144-9

**Руководство по использованию методов прогнозирования
распространения радиоволн, разработанных
3-й Исследовательской комиссией по радиосвязи**

(1995-1999-2001-2001-2007-2009-2012-2015-06/2017-12/2017)

Сфера применения

Настоящая Рекомендация содержит руководство по использованию методов прогнозирования распространения радиоволн, разработанных 3-й Исследовательской комиссией по радиосвязи. В ней пользователям рекомендуются наиболее подходящие методы для конкретных применений, а также представлена информация о пределах, требуемой входящей информации и о результатах для каждого из этих методов.

Ключевые слова

Распространение радиоволн, методы прогнозирования, цифровые продукты, пространственная интерполяция, система точек отсчета высоты

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

a) что необходимо оказать помощь пользователям Рекомендаций МСЭ-R серии Р (разработанных 3-й Исследовательской комиссией по радиосвязи),

рекомендует,

1 использовать информацию, содержащуюся в таблице 1, для руководства по применению различных методов прогнозирования распространения радиоволн, содержащихся в Рекомендациях МСЭ-R серии Р (разработанных 3-й Исследовательской комиссией по радиосвязи);

2 использовать информацию, содержащуюся в таблице 2 и Приложении 1, для руководства по использованию различных цифровых карт геофизических параметров, необходимых для применения методов прогнозирования распространения радиоволн, упомянутых в пункте 1 раздела *рекомендует* выше.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – По каждой Рекомендации МСЭ-R в таблице 1 представлена соответствующая информация в колонках, которая определяет:

Применение: служба(ы) или применение, для которых предназначена Рекомендация.

Тип: ситуация, на которую распространяется Рекомендация, например "из пункта в пункт", "из пункта в зону", "прямая видимость" и т. п.

Результат: значение параметров результата, полученного по методу, предусмотренному в Рекомендации, например потери на трассе.

Частота: применяемый в Рекомендации диапазон частоты.

Расстояние: применяемая в Рекомендации дальность действия.

% времени: применяемые в Рекомендации значения процентной доли времени или диапазоны значений;
% времени представляет собой процентную долю времени, которую превышает прогнозируемый сигнал в течение среднего года.

% местоположений: применяемый в Рекомендации диапазон процентной доли местоположений;
% местоположений представляет собой процентную долю местоположений в пределах, предположим, квадрата со стороной 100–200 м, которую превышает прогнозируемый сигнал.

Высота терминала: применяемый в Рекомендации диапазон высоты оконечной антенны.

Входные данные: список параметров, используемых на основе метода, содержащегося в Рекомендации; этот список составляется с учетом значения параметров и в некоторых случаях могут использоваться значения по умолчанию.

Информация, содержащаяся в таблице 1, уже представлена в самих Рекомендациях; однако таблица позволяет пользователям быстро определять возможности (и ограничения) Рекомендаций без необходимости вести поиск во всем тексте.

ТАБЛИЦА 1

Методы прогнозирования распространения радиоволн МСЭ-R

| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местоположений | Высота терминала | Входные данные |
|------------------|--|---|---------------------------------------|---|--------------------------------|---|---|------------------|---|--|
| Рек. МСЭ-R P.368 | Кривые распространения земной волны для частот между 10 кГц и 30 МГц | Все службы | Из пункта в пункт | Напряженность поля | От 10 кГц до 30 МГц | От 1 до 10 000 км | Не применяется | Не применяется | Земного базирования | Частота Проводимость земной поверхности |
| Рек. МСЭ-R P.452 | Процедура прогнозирования для оценки помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, на частотах выше приблизительно 0,1 ГГц | Службы, использующие станции на поверхности Земли; помехи | Из пункта в пункт | Потери на трассе | От 100 МГц до 50 ГГц | Не уточняется, но до радиогоризонта и далее | От 0,001 до 50 Средний год и худший месяц | Не применяется | Пределы не установлены, в приземном слое атмосферы. (Не предназначено для применений воздушной службы.) | Данные о характере трассы Частота Процентная доля времени Высота антенны Tx Высота антенны Rx Широта и долгота Tx Широта и долгота Rx Метеорологические данные Поляризация |
| Рек. МСЭ-R P.528 | Кривые распространения радиоволн для воздушной подвижной и радионавигационной служб, работающих в диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ | Аэронавигационная подвижная | Из пункта в зону | Потери на трассе | От 125 МГц до 15,5 ГГц | От 0 до 1 800 км (для применений воздушной службы 0 км расстояния по горизонтали не означает 0 км длины трассы) | 1–95 | Не применяется | H1: от 1,5 м до 20 км H2: от 1 до 20 км | Расстояние Высота Tx Частота Высота Rx Процент времени |
| Рек. МСЭ-R P.530 | Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных систем прямой видимости | Фиксированные связи прямой видимости | Из пункта в пункт Прямая видимость | Потери на трассе Улучшение разнесения (условия чистого воздуха) XPD ⁽²⁾ Выход из строя Ошибка в показателях | Примерно от 150 МГц до 100 ГГц | До 200 км при прямой видимости | Вся процентная доля времени в условиях чистого воздуха; от 1 до 0,001 в условиях осадков ⁽¹⁾ . И худший месяц по ослаблению | Не применяется | Достаточно высокий для обеспечения установленного просвета трассы | Расстояние Высота Tx Частота Высота Rx Процентная доля времени Данные о препятствиях на трассе Данные о климате Информация о профиле местности |

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местоположений | Высота терминала | Входные данные |
|------------------|---|--|---|---|------------------|----------------------------------|--|------------------|---|--|
| Рек. МСЭ-R P.533 | Метод для прогнозирования рабочих характеристик ВЧ-линий | Радиовещательная Фиксированная Подвижная | Из пункта в пункт | Основные MUF Напряженность поля ионосферной радиоволны Имеющаяся мощность приемника Отношение сигнал/шум LUF Надежность схемы | От 2 до 30 МГц | От 0 до 40 000 км | Все процентные доли | Не применяется | Не применяется | Широта и долгота Tx Широта и долгота Rx Число солнечных пятен Месяц Время дня Частоты Мощность Tx Тип антенны Tx Тип антенны Rx |
| Рек. МСЭ-R P.534 | Метод расчета напряженности поля при распространении посредством спорадического слоя E | Фиксированная Подвижная Радиовещательная | Из пункта в пункт через спорадическое E | Напряженность поля | От 30 до 100 МГц | От 0 до 4 000 км | От 0,1 до 50 | Не применяется | Не применяется | Расстояние Частота |
| Рек. МСЭ-R P.617 | Методы прогнозирования и данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования тропосферных радиорелейных систем | Транс-горизонтальная с фиксированными связями | Из пункта в пункт | Потери на трассе | > 30 МГц | От 100 до 1 000 км | От 0,001 до 99,999 | Не применяется | Пределы не установлены, в приземном слое атмосферы. (Не предназначено для применений воздушной службы.) | Частота Усиление антенны Tx Усиление антенны Rx Геометрия трассы |
| Рек. МСЭ-R P.618 | Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования систем связи Земля-космос | Спутниковая | Из пункта в пункт | Потери на трассе Усиление разброса и (в условиях осадков) XPD ⁽²⁾ | От 1 до 55 ГГц | Любая практическая высота орбиты | 0,001–5 для ослабления в дожде; 0,001–50 для общего ослабления; 0,001–1 для XPD ⁽²⁾ Также худший месяц по ослаблению | Не применяется | Предел отсутствует | Метеорологические данные Частота Угол места Высота земной станции Разделение и угол между местоположениями земных станций (для усиления разброса) Диаметр и эффективность антенны (для мерцания) Угол поляризации (для XPD) ⁽²⁾ |

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местоположений | Высота терминала | Входные данные |
|------------------|--|--|------------------------|---|-----------------------|----------------------------------|--|------------------------|---|---|
| Рек. МСЭ-R P.619 | Данные о распространении радиоволн, необходимые для определения помех между станциями, находящимися в космосе и на поверхности Земли | Спутниковая | Из пункта в пункт | Основные потери передачи от единичной помехи Основные потери передачи в условиях ясного неба для помехи от многих источников | От 0,1 до 100 ГГц | Любая практическая высота орбиты | От 0,001 до 50 | Не применяется | Предел отсутствует | Частота Угол места земной станции Угловой разнос трассы Длина трассы Затухание в атмосферных газах Усиление за счет мерцания Максимально допустимое затухание полезного сигнала |
| Рек. МСЭ-R P.620 | Данные о распространении радиоволн, требующиеся для оценки координационных расстояний в диапазоне частот от 100 МГц до 105 ГГц | Координация частот земных станций | Координация расстояний | Расстояние, при котором достигается требуемая потеря при распространении | От 100 МГц до 105 ГГц | До 1 200 км | От 0,001 до 50 | Не применяется | Пределы не установлены, в приземном слое атмосферы. (Не предназначено для применений воздушной службы.) | Минимальные базовые потери при передаче Частота Процент времени Угол места земной станции |
| Рек. МСЭ-R P.678 | Оценка изменчивости явлений распространения радиоволн и оценка риска, связанного с запасом на распространение | Модели интенсивности дождевых осадков Спутниковая | Из пункта в зону | Изменчивость явлений распространения радиоволн | От 12 до 50 ГГц | Любая практическая высота орбиты | 0,01–2 для интенсивности и дождевых осадков и ослабления в дожде на наклонной трассе | Не применяется | Предел отсутствует | Вероятность превышения |
| Рек. МСЭ-R P.679 | Данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования спутниковых радиовещательных систем | Спутниковое радиовещание | Из пункта в зону | Потери на трассе Эффект местной среды | От 0,5 до 5,1 ГГц | Любая практическая высота орбиты | Не применяется | Пределы не установлены | Пределы не установлены | Частота Угол места Особенности местной среды |

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местоположений | Высота терминала | Входные данные |
|------------------|---|---|---------------------------------------|--|---|----------------------------------|---|------------------|---|---|
| Рек. МСЭ-R P.680 | Данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования морских подвижных систем электросвязи Земля-космос | Морская подвижная спутниковая | Из пункта в пункт | Замирание на поверхности моря Продолжительность замирания Помехи (соседний спутник) | 0,8–8 ГГц | Любая практическая высота орбиты | До 0,001% через распределение Райса–Накагами Предел в 0,01% для помех ⁽¹⁾ | Не применяется | Предел отсутствует | Частота Угол места Максимальное усиление точки прицеливания антенны |
| Рек. МСЭ-R P.681 | Данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования сухопутных подвижных систем связи Земля-космос | Сухопутная подвижная спутниковая | Из пункта в пункт | Замирание трассы Продолжительность замирания Продолжительность незамирания | От 0,8 до 20 ГГц | Любая практическая высота орбиты | Не применяется Процентная доля пройденного расстояния от 1 до 80% ⁽¹⁾ | Не применяется | Предел отсутствует | Частота Угол места Процентная доля пройденного расстояния Примерный уровень оптического затенения |
| Рек. МСЭ-R P.682 | Данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования воздушных подвижных систем связи Земля-космос | Аэронавигационная подвижная спутниковая | Из пункта в пункт | Замирание на поверхности моря Множество трасс от земли и самолета во время посадки | 1–2 ГГц (замирание на поверхности моря) 1–3 ГГц (множество трасс от земли) | Любая практическая высота орбиты | До 0,001% через распределение Райс-Накагами ⁽¹⁾ | Не применяется | Предел отсутствует для замирания на поверхности моря До 1 км для земного отражения при посадке | Частота Угол места Поляризация Максимальное усиление точки прицеливания антенны Высота антенны |
| Рек. МСЭ-R P.684 | Прогнозирование напряженности поля на частотах ниже приблизительно 150 кГц | Фиксированная Подвижная | Из пункта в пункт Из пункта в зону | Напряженность поля ионизирующей радиоволны | От 30 до 150 кГц | От 0 до 16 000 км | 50 | Не применяется | Не применяется | Широта и долгота Tx Широта и долгота Rx Расстояние Мощность Tx Частота Земные константы Время года Количество пятен на солнце Время дня |

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местоположений | Высота терминала | Входные данные |
|-------------------|---|--|--|---|--------------------------|-----------------------|---|-------------------|--|---|
| Рек. МСЭ-R P.843 | Связь посредством отражения от следов метеоров | Фиксированная Подвижная Радиовещательная | Из пункта в пункт через метеор- пакеты | Полученная мощность Скорость передачи пакетов | От 30 до 100 МГц | От 100 до 1 000 км | 0 до 5 | Не применяется | Не применяется | Частота Расстояние Мощность Tx Усиление антенны |
| Рек. МСЭ-R P.1147 | Прогнозирование напряженности поля пространственной волны на частотах между приблизительно 150 и 1 700 кГц | Радиовещательная | Из пункта в зону | Напряжен- ность поля ионизирую- щей радиоволны | От 0,15 до 1,7 МГц | От 50 до 12 000 км | 1, 10, 50 | Не применяется | Не применяется | Широта и долгота Tx Широта и долгота Rx Расстояние Количество пятен на солнце Мощность Tx Частота |
| Рек. МСЭ-R P.1238 | Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования систем радиосвязи внутри помещений и локальных зонных радиосетей в частотном диапазоне 300 МГц – 100 ГГц | Подвижная Локальная радиосеть (RLAN) | Встроенные методы распространения | Потери на трассе Разброс задержки | От 300 МГц до 100 ГГц | В зданиях | Не применяется | Не применяется | База: около 2–3 м Подвижная: около 0,5–3 м | Частота Расстояние Факторы пола и стен |
| Рек. МСЭ-R P.1410 | Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных широкополосных систем радиодоступа, работающих в диапазоне частот от 3 до 60 ГГц | Широкополосный радиодоступ | Из пункта в зону | Покрыве Временное сокращение покрытия из-за дождя | От 3 до 60 ГГц | 0–5 км | От 0,001 до 1 (для расчета сокращения из-за дождя) | До 100 | Предел отсутствует; 0–300 м (типичная) | Частота Размер ячейки Высота терминала Статистические параметры высоты зданий |

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местоположений | Высота терминала | Входные данные |
|-------------------|---|------------------------------|---|---|-----------------------|---------------------------------------|----------------|------------------|--|---|
| Рек. МСЭ-R P.1411 | Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования наружных систем радиосвязи малого радиуса действия и локальных радиосетей в диапазоне частот от 300 МГц до 100 ГГц | Подвижная | Методы распространения по короткой трассе | Потери на трассе Разброс задержки | От 300 МГц до 100 ГГц | < 1 км | Не применяется | Не применяется | База: около 4–50 м Подвижная: около 0,5–3 м | Частота Расстояние Размеры улиц Высота строений |
| Рек. МСЭ-R P.1546 | Метод прогнозирования для трасс связи "пункта с зоной" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц | Наземные службы | Из пункта в зону | Напряженность поля | От 30 до 3 000 МГц | от 1 до 1 000 км | от 1 до 50 | от 1 до 99 | База Tx: эффективная высота от менее от 0 м до 3000 м Подвижная Rx: ≥ 1 м | Высота рельефа местности и наземный охват (факультативно) Классификация трассы Расстояние Высота антенны Tx Частота Процент времени Высота антенны Rx Угол просвета местности Процентная доля местоположений Градиент преломляющей способности |
| Рек. МСЭ-R P.1622 | Методы прогнозирования, необходимые для проектирования систем Земля-космос, работающих в диапазоне частот от 20 ТГц до 375 ТГц | Спутниковая оптическая связь | Из пункта в пункт | Потеря за счет поглощения Потеря за счет рассеяния Фоновый шум Амплитудное мерцание Угол падения Отклонение луча Рассеяние луча | От 20 до 375 ТГц | Дальняя оптическая связь Земля-космос | Не применяется | Не применяется | Предел отсутствует | Длина волны Высота терминала Угол места Параметры структуры турбулентности |

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местоположений | Высота терминала | Входные данные |
|-------------------|---|---------------------------|-------------------|--|--|---|----------------|------------------|---|---|
| Рек. МСЭ-R P.1623 | Метод прогнозирования динамики замирания сигнала на трассах Земля-космос | Спутниковая | Из пункта в пункт | Продолжительность замирания, спад замирания | От 10 до 50 ГГц | Любая практическая высота орбиты | Не применяется | Не применяется | Предел отсутствует | Частота Угол места Порог ослабления Ширина полосы фильтра |
| Рек. МСЭ-R P.1812 | Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб "из пункта в зону" в диапазонах УВЧ и ОВЧ | Наземные службы | Из пункта в зону | Напряженность поля | От 30 до 3 000 МГц | Не уточняется, но до радиогоризонта и далее | От 1 до 50 | От 1 до 99 | Пределы не установлены, в приземном слое атмосферы. (Не предназначено для применений воздушной службы.) | Данные о характере трассы Частота Процентная доля времени Высота антенны Tx Высота антенны Rx Широта и долгота Tx Широта и долгота Rx Метеорологические данные Поляризация |
| Рек. МСЭ-R P.1814 | Методы прогнозирования, требуемые для разработки наземных оптических линий для связи в свободном пространстве | Наземная оптическая связь | Из пункта в пункт | Потеря за счет поглощения Потеря за счет рассеяния Фоновый шум Амплитудное мерцание Рассеяние луча | От 20 до 375 ТГц | Предел отсутствует | Не применяется | Не применяется | Предел отсутствует | Длина волны Видимость (в тумане) Протяженность трассы Параметры структуры турбулентности |
| Рек. МСЭ-R P.1853 | Синтез временных рядов тропосферного ослабления | Наземная спутниковая | Из пункта в пункт | Ослабление в дожде для наземных трасс. Общее ослабление и тропосферное мерцание для трасс Земля-космос | 4–40 ГГц для наземных трасс 4–55 ГГц для трасс Земля-космос | От 2 до 60 км для наземных трасс Геостационарный спутник | Не применяется | Не применяется | Предел отсутствует | Метеорологические данные Частота Угол места Высота земной станции Разделение и угол между местоположениями земных станций (для усиления разброса) Диаметр и эффективность антенны (для мерцания) |

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местоположений | Высота терминала | Входные данные |
|-------------------|---|---------------------------|-------------------|------------------|---------------------|------------------|--------------------|------------------|--|---|
| Рек. МСЭ-R P.2001 | Универсальная модель наземного распространения радиоволн для широкого применения в полосе частот 30 МГц – 50 ГГц | Наземные службы | Из пункта в пункт | Потери на трассе | От 30 МГц до 50 ГГц | От 3 до 1 000 км | От 0,001 до 99,999 | Не применяется | < 8 000 м над средним уровнем моря, но около поверхности Земли, в тропосфере | Данные о характере трассы Частота Процентная доля времени Высота антенны, усиление и азимутальное направление Высота антенны Rx, усиление и азимутальное направление Широта и долгота Tx Широта и долгота Rx Поляризация |
| Рек. МСЭ-R P.2041 | Прогнозирование затухания на трассе на линиях между воздушной платформой и космосом и между воздушной платформой и поверхностью Земли | На борту воздушного судна | Из пункта в пункт | Потери на трассе | От 1 до 55 ГГц | Любая высота | От 0,001 до 50 | Не применяется | Между поверхностью Земли и космосом | Метеорологические данные Частота Угол места Готовность Высота воздушной платформы Диаметр и эффективность антенны (для мерцания) |

⁽¹⁾ Процентная доля времени сбоя; для определения готовности службы следует вычесть это значение из 100.

⁽²⁾ XPD – избирательность по кросс-поляризации.

ТАБЛИЦА 2

Цифровые продукты МСЭ-R для методов прогнозирования распространения радиоволн

| Рекомендация МСЭ-R | Описание | Разрешение координатной сетки | Требуемая пространственная интерполяция (см. Приложение 1) | Интерполяция по вероятности | Интерполяция переменной | Комментарии |
|--------------------|---|--------------------------------|--|-----------------------------|-------------------------|---|
| P.452 | Медианная годовая ΔN Медианная годовая N_0 | $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ | Билинейная | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |
| P.453 | Годовые и помесечные вероятности распределения влажностной составляющей приповерхностной рефракции (Nwet) | $0,75^\circ \times 0,75^\circ$ | Билинейная | Логарифмическая | Не применяется | См. веб-страницу с программным обеспечением для расчета ионосферного и тропосферного распространения, а также радиошума |
| | <ul style="list-style-type: none"> Градиент рефракции в нижних 65 м атмосферы (N-единиц/км) Градиент рефракции на высоте 1 км над поверхностью Земли (N-единиц/км) Процент времени, для которого градиент рефракции в нижнем слое атмосферы толщиной 100 м < -100 N-единиц/км | $0,75^\circ \times 0,75^\circ$ | Билинейная | Не определена | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |
| | Данные поверхностных волноводов | $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ | Билинейная | Не определена | Не применяется | См. веб-страницу с программным обеспечением для расчета ионосферного и тропосферного распространения, а также радиошума |
| | Данные приподнятых водноводов | $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ | Билинейная | Не определена | Не применяется | См. веб-страницу с программным обеспечением для расчета ионосферного и тропосферного распространения, а также радиошума |
| | Цифровые карты ΔN и N_0 | $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ | Билинейная | Не определена | Не применяется | См. веб-страницу с программным обеспечением для расчета ионосферного и тропосферного распространения, а также радиошума |
| P.617 | Медианная годовая ΔN Медианная годовая N_0 | $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ | Билинейная | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |
| P.678 | Карта климатического коэффициента | $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ | Билинейная | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |
| P.834 | <ul style="list-style-type: none"> Гармонические коэффициенты увеличения длины трассы на трассах Земля-космос Гармонические коэффициенты функций отображения гидростатической и влажной составляющих | $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ | Билинейная | Не определена | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |
| | | $5^\circ \times 5^\circ$ | Не требуется | | | |

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

| Рекомендация МСЭ-R | Описание | Разрешение координатной сетки | Требуемая пространственная интерполяция (см. Приложение 1) | Интерполяция по вероятности | Интерполяция переменной | Комментарии |
|--------------------|---|--|--|----------------------------------|----------------------------------|---|
| P.835 | Экспериментальные данные о вертикальных атмосферных профилях (Приложение 2) | 353 места | Не требуется | Не применяется | Не применяется | См. веб-страницу с программным обеспечением для расчета ионосферного и тропосферного распространения, а также радиошума |
| | Данные о вертикальных атмосферных профилях для прогнозирования погоды (Приложение 3) | $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ | Не определена | Не применяется | Не применяется | См. веб-страницу с программным обеспечением для расчета ионосферного и тропосферного распространения, а также радиошума |
| P.836 | Вероятность превышения общего объемного содержания водяных паров (%) (IWVC) | $1,125^\circ \times 1,125^\circ$ | Билинейная ⁽¹⁾ | Логарифмическая | Линейная | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |
| | Вероятность превышения плотности водяных паров на поверхности (%) (Rho) | $1,125^\circ \times 1,125^\circ$ | Билинейная ⁽¹⁾ | Логарифмическая | Линейная | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |
| | Приведенная высота водяных паров | $1,125^\circ \times 1,125^\circ$ | Билинейная ⁽¹⁾ | Логарифмическая | Линейная | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |
| P.837 | Среднемесячное общее количество дождевых осадков (мм) $R_{0,01}$ (мм/ч) | $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ $1,125^\circ \times 1,125^\circ$ | Билинейная Билинейная | Не применяется Не применяется | Не применяется Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |
| | Преобразование статистических данных об интенсивности дождевых осадков с различными значениями времени интегрирования (Приложение 2) | Не применяется | Не требуется | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |
| P.839 | Среднегодовая высота изотермы 0°C (км) | $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ | Билинейная | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |
| P.840 | Годовые статистические данные столбчатого объема жидкой воды со сниженной температурой, содержащейся в облаках Месячные статистические данные столбчатого объема жидкой воды со сниженной температурой, содержащейся в облаках Аппроксимация объема жидкой воды со сниженной температурой, содержащейся в облаках, логарифмически нормальным распределением | $1,125^\circ \times 1,125^\circ$ | Билинейная | Логарифмическая | Линейная | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |
| P.1510 | Среднемесячная и среднегодовая температура поверхности | $0,75^\circ \times 0,75^\circ$ | Билинейная | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |
| P.1511 | Топографическая высота (a.m.s.l.) (км) | $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ | Бикубическая | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |

ТАБЛИЦА 2 (окончание)

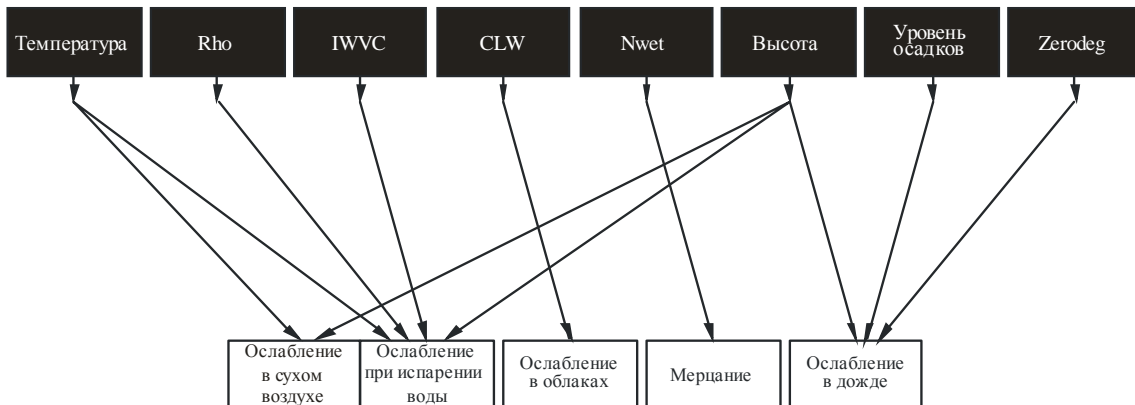
| Рекомендация МСЭ-R | Описание | Разрешение координатной сетки | Требуемая пространственная интерполяция (см. Приложение 1) | Интерполяция по вероятности | Интерполяция переменной | Комментарии |
|--------------------|--|-------------------------------|--|-----------------------------|-------------------------|--|
| P.1812 | Медианная годовая ΔN Медианная годовая N_0 | $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ | Билинейная | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |
| P.2001 | Преломление и градиент приземного уровня в нижнем 1 км атмосферы | Несколько | Билинейная | Не применяется | Линейная | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле Readme ⁽²⁾ |
| P.2001 и P.534 | Критическая частота для спорадического слоя E (F_oE_s) | $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ | Билинейная | Линейная | Линейная | FoEs50.txt FoEs10.txt FoEs01.txt FoEs0.1.txt |

⁽¹⁾ Перед пространственной интерполяцией переменные в окружающих точках сетки приводятся к желаемой высоте в соответствии с процедурой масштабирования, изложенной в Рекомендации.

⁽²⁾ Файл Readme содержится в ZIP-файле (компоненты) на веб-странице, относящейся к этой Рекомендации.

Для справки: на рисунке 1 показаны взаимосвязи между геофизическими картами (черный цвет) и эффектом распространения (белый цвет).

РИСУНОК 1



P.1144-01

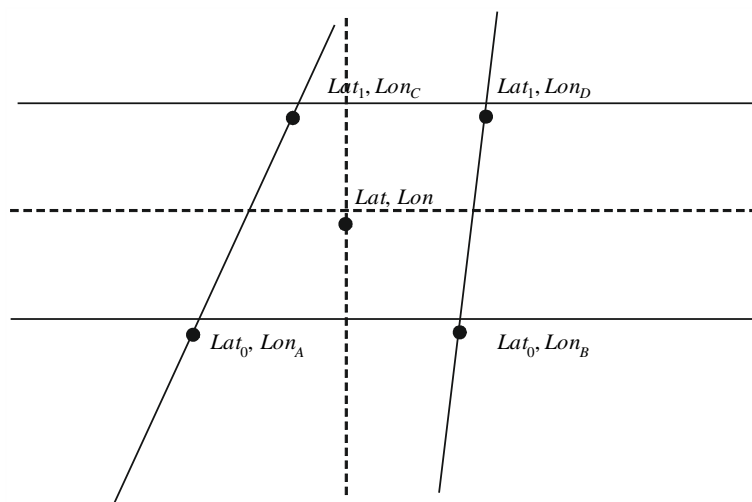
Приложение 1

1а Билинейная интерполяция на трапецидальной сетке

Дано: Значения X в четырех окружающих точках: (Lat_1, Lon_C) , (Lat_1, Lon_D) , (Lat_0, Lon_A) и (Lat_0, Lon_B) ; то есть $X(Lat_1, Lon_C)$, $X(Lat_1, Lon_D)$, $X(Lat_0, Lon_A)$ и $X(Lat_0, Lon_B)$.

Задача: Определить значение $X(Lat, Lon)$ в промежуточной точке (Lat, Lon) , используя билинейную интерполяцию.

РИСУНОК 2



P.1144-02

Решение: Определяем две вспомогательные переменные, t и s :

$$t = \frac{Lat - Lat_0}{Lat_1 - Lat_0}$$

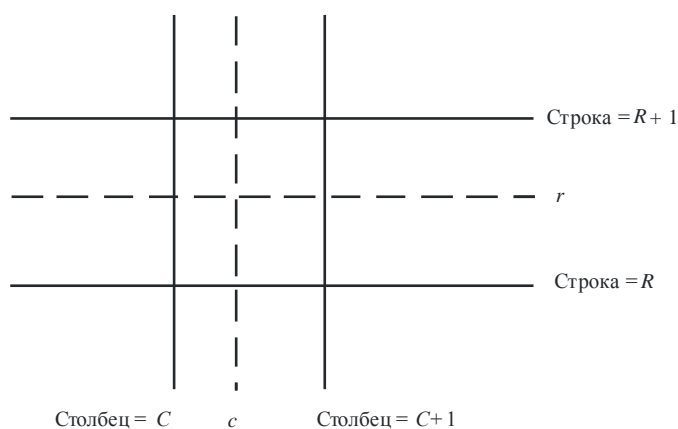
$$s = \frac{Lon - Lon_A + t (Lon_A - Lon_C)}{Lon_B - Lon_A + t (Lon_A - Lon_C + Lon_D - Lon_B)}$$

и рассчитываем:

$$X(Lat, Lon) = (1 - s) (1 - t) X(Lat_0, Lon_A) + (1 - s) t X(Lat_1, Lon_C) + s (1 - t) X(Lat_0, Lon_B) + t s X(Lat_1, Lon_B).$$

1b Билинейная интерполяция на прямоугольной сетке

РИСУНОК 3



Р.1144-03

Дано: Значения I в четырех окружающих точках сетки: $I(R, C)$, $I(R, C + 1)$, $I(R + 1, C)$ и $I(R + 1, C + 1)$, где R , $R + 1$, C и $C + 1$ – это целые числа, обозначающие номера строки и столбца.

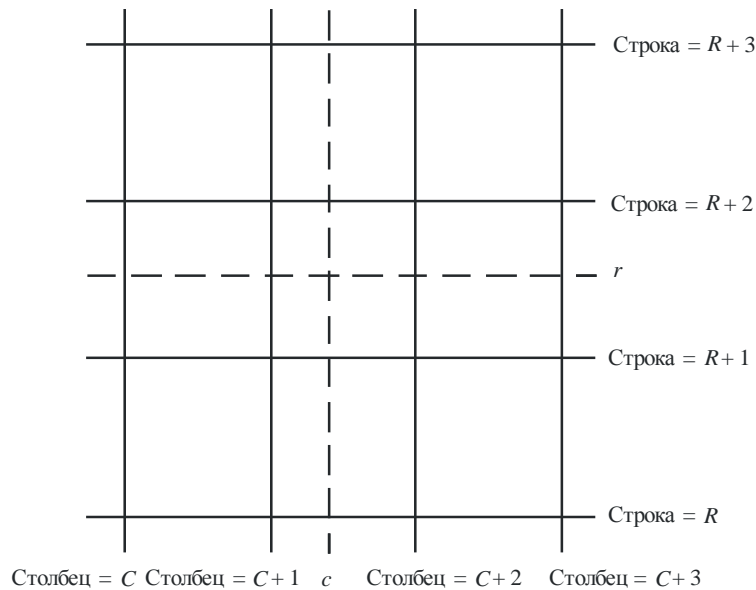
Задача: Определить $I(r, c)$, где r является дробным числом, обозначающим номер строки между R и $R + 1$, а c – дробным числом, обозначающим номер столбца между C и $C + 1$, используя билинейную интерполяцию.

Решение: Рассчитываем:

$$I(r, c) = I(R, C) [(R + 1 - r)(C + 1 - c)] + I(R + 1, C) [(r - R)(C + 1 - c)] + I(R, C + 1) [(R + 1 - r)(c - C)] + I(R + 1, C + 1) [(r - R)(c - C)].$$

2 Бикубическая интерполяция

РИСУНОК 4



Р.1144-04

Дано: Значения I в 16 окружающих точках сетки:

$$\begin{aligned}
 & I(R, C), I(R, C + 1), I(R, C + 2), I(R, C + 3), \\
 & I(R + 1, C), I(R + 1, C + 1), I(R + 1, C + 2), I(R + 1, C + 3), \\
 & I(R + 2, C), I(R + 2, C + 1), I(R + 2, C + 2), I(R + 2, C + 3), \\
 & I(R + 3, C), I(R + 3, C + 1), I(R + 3, C + 2), I(R + 3, C + 3),
 \end{aligned}$$

где $R, R + 1$ и т. д.; и $C, C + 1$ и т. д. – это целые числа.

Задача: Рассчитать $I(r, c)$, где r является дробным числом, обозначающим номер строки между $R + 1$ и $R + 2$, а c – дробным числом, обозначающим номер столбца между $C + 1$ и $C + 2$, используя бикубическую интерполяцию.

Решение:

Шаг 1: Для каждой строки x , где $x = \{r, r + 1, r + 2, r + 3\}$, рассчитываем интерполяционное значение в желаемом дробном столбце c как:

$$RI(X, c) = \sum_{j=C}^{C+3} I(X, j) K(c - j),$$

где:

$$K(\delta) = \begin{cases} (a + 2)|\delta|^3 - (a + 3)|\delta|^2 + 1 & \text{при } 0 \leq |\delta| \leq 1 \\ a|\delta|^3 - 5a|\delta|^2 + 8a|\delta| - 4a & \text{при } 1 \leq |\delta| \leq 2 \\ 0 & \text{при } 2 \leq |\delta| \end{cases}$$

и

$$a = -0,5.$$

Шаг 2: Рассчитываем $I(r, c)$, интерполируя одномерные интерполяции $RI(R, c)$, $RI(R + 1, c)$, $RI(R + 2, c)$ и $RI(R + 3, c)$ таким же образом, как и интерполяции строк.

3 Географические координаты и высота

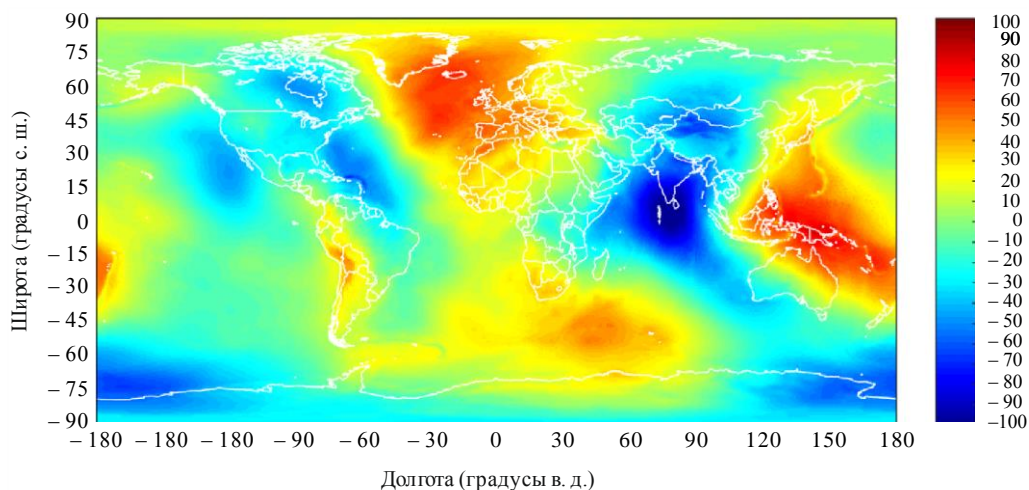
Если не указано иное, широта и долгота в Рекомендациях МСЭ-R серии Р являются геодезическими, а не геоцентрическими; то есть широта и долгота относятся к эллипсоиду WGS-84 (а именно значения широты и долготы, которые обычно приводятся глобальными навигационными спутниковыми системами, такими как GPS).

Если не указано иное, высота в Рекомендациях МСЭ-R серии Р является высотой над средним уровнем моря, а не высотой относительно эллипсоида WGS-84. Высота над средним уровнем моря, h_{amsl} (м), может быть аппроксимирована из высоты относительно эллипсоида WGS-84, h_{WGS-84} (м), следующим образом:

$$h_{amsl} = h_{WGS84} - h_{EGM2008} \quad (м)$$

где $h_{EGM2008}$ (м) определяется как геоидальная высота в гравитационной модели Земли версии 2008 года, разработанной Национальным агентством геопроостранственной разведки (NGA) США. Значения высоты EGM2008 в конкретных местах могут быть получены с помощью различных приложений. Как показано на рисунке 5, разница между высотой относительно эллипсоида WGS-84 и высотой над средним уровнем моря составляет в наихудшем случае приблизительно 100 м. Пользователям следует иметь в виду, что в различных источниках значений высоты (например, приемники GPS, географическая информационная программа или географическая информационная система и др.) могут использоваться разные точки отсчета высоты.

РИСУНОК 5
EGM2008 (м)



P.1144-05