

Рекомендация МСЭ-R P.837-8 (09/2025)

Серия Р: Распространение радиоволн

**Характеристики осадков,
используемые при моделировании
распространения 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 Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <https://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: <https://www.itu.int/publ/R-REC/ru>.)

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, 2025 г.

© ITU 2025

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.837-8

**Характеристики осадков, используемые при моделировании
распространения радиоволн**

(Вопрос МСЭ-R 201-7/3)

(1992-1994-1999-2001-2003-2007-2012-2017-2025)

Сфера применения

Для прогнозирования ослабления в дожде для наземных линий связи (например, см. Рекомендацию МСЭ-R P.530) и линий связи Земля-космос (например, см. Рекомендацию МСЭ-R P.618) требуются статистические данные об интенсивности дождевых осадков со временем интегрирования 1 минута.

При отсутствии надежных местных долгосрочных данных об интенсивности дождевых осадков можно воспользоваться методом прогнозирования интенсивности годовых и помесечных дождевых осадков для получения статистических данных со временем интегрирования 1 минута, приведенным в Приложении 1 к настоящей Рекомендации. Данный метод прогнозирования основан: а) на общих ежемесячных данных о дождевых осадках, взятых из базы данных климатологии GPCC (версия 2015 года) по суше и из базы данных повторных расчетов ERA Interim Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) по водным бассейнам; и б) на среднемесячных данных о температуре земной поверхности из Рекомендации МСЭ-R P.1510.

При наличии надежных долгосрочных данных об интенсивности дождевых осадков со временем интеграции более 1 минуты можно воспользоваться приведенным в Приложении 2 к настоящей Рекомендации методом преобразования статистических данных об интенсивности дождевых осадков со временем интеграции, превышающем 1 минуту, в статистические данные об интенсивности дождевых осадков со временем интеграции 1 минута.

Ключевые слова

Интенсивность дождевых осадков, годовые статистические данные, помесечные статистические данные, метод преобразования, GPCC, ERA Interim

Сокращения/Глоссарий

ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecast	Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды
ERA	ECMWF re-analysis database	База данных повторного анализа ECMWF
GPCC	Global Precipitation Climatology Centre	Всемирный центр по климатологии осадков

Соответствующие Рекомендации МСЭ-R

Рекомендация МСЭ-R P.1510 – Средняя приземная температура

ПРИМЕЧАНИЕ. – Следует использовать последнюю действующую редакцию Рекомендации.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что для прогнозирования ослабления в дожде и рассеяния, вызываемых осадками, необходима информация о годовых и помесечных статистических данных по параметрам осадков;
- b)* что такая информация необходима для всех точек поверхности Земли и для широкого диапазона вероятностей;

- с) что статистические данные об интенсивности дождевых осадков со временем интегрирования 1 минута требуются для прогнозирования ослабления в дожде и рассеяния в наземных и спутниковых каналах связи;
- д) что данные долговременных измерений интенсивности дождевых осадков могут быть получены из местных источников со временем интегрирования 1 минута, а также со временем интегрирования, превышающим 1 минуту;
- е) что использование модели преобразования данных местных измерений интенсивности дождевых осадков со временем интегрирования до 1 часа в данные со временем интегрирования 1 минута может обеспечить более высокую точность, чем при использовании Приложения 1 к настоящей Рекомендации,

рекомендует

- 1 использовать местные долгосрочные измерения годовой и помесечной интенсивности дождевых осадков со временем интегрирования 1 минута, если таковые имеются;
- 2 для обеспечения статистической устойчивости местных измерений, в случае их использования, собирать их результаты в течение достаточно длительного периода времени (как правило, превышающего 10 лет);
- 3 использовать долгосрочные измерения годовой интенсивности дождевых осадков со временем интегрирования, превышающим 1 минуту, если таковые имеются, и метод преобразования, изложенный в Приложении 2, для преобразования этих измерений в данные по годовой интенсивности дождевых осадков со временем интегрирования 1 минута;
- 4 при отсутствии надежных местных данных о годовой интенсивности дождевых осадков использовать поэтапный метод прогнозирования, изложенный в Приложении 1, для получения превышаемой интенсивности осадков R_p при заданной годовой вероятности превышения p для любого местоположения на поверхности Земли и со временем интегрирования 1 минута;
- 5 при отсутствии надежных местных данных о помесечной интенсивности дождевых осадков использовать поэтапный метод прогнозирования, изложенный в Приложении 1, для получения превышаемой помесечной интенсивности осадков R_{p_ii} при заданной вероятности превышения p за месяц ii (со значением от 1 до 12) для любого местоположения на поверхности Земли и со временем интегрирования 1 минута.

Приложение 1

Метод прогнозирования для расчета превышаемой интенсивности дождевых осадков при заданной среднегодовой и среднемесечной вероятности превышения в заданном местоположении

Данный метод позволяет прогнозировать превышаемую интенсивность дождевых осадков для заданной среднегодовой вероятности превышения, а также превышаемую интенсивность дождевых осадков для заданной среднемесечной вероятности в конкретном местоположении на поверхности Земли. В данном методе используются цифровые карты помесечной общей интенсивности дождевых осадков и среднемесечной температуры поверхности. Среднемесечные общие карты дождевых осадков получены по данным за 50 лет (с 1951 по 2000 г.) из базы данных климатологии GPCC (версия 2015 г.) для суши и по данным за 36 лет (с 1979 по 2014 г.) ERA Interim Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) для водных бассейнов.

Среднемесечные общие данные по дождевым осадкам MT_{ii} (мм), где $ii = \{01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12\}$, являются неотъемлемой частью настоящей Рекомендации и представлены в виде цифровых карт. Координатная сетка широты построена для значений от $-90,125^\circ$ с. ш. до $+90,125^\circ$ с. ш. с шагом $0,25^\circ$, а координатная сетка долготы – от $-180,125^\circ$ в. д. до $+180,125^\circ$ в. д. с шагом $0,25^\circ$.

Годовые данные об интенсивности дождевых осадков, превышаемой с вероятностью 0,01%, $R_{0,01}$ (мм/ч) также являются неотъемлемой частью настоящей Рекомендации и представлены в виде цифровых карт. Координатная сетка широты построена для значений от -90° с. ш. до $+90^\circ$ с. ш. с шагом $0,125^\circ$, а координатная сетка долготы – от -180° в. д. до $+180^\circ$ в. д. с шагом $0,125^\circ$.

Эти цифровые карты доступны в Добавлении, в файле P-REC-P.837-8-Maps.zip – [R-REC-P.837-8-202509-1!!ZIP-E.zip](#).

Входные параметры:

- p : заданная годовая вероятность превышения (%);
 Lat : широта заданного местоположения (градусы с. ш.);
 Lon : долгота заданного местоположения (градусы в. д.).

Выходной параметр:

- R_p : превышаемая интенсивность осадков (мм/ч) для заданной среднегодовой вероятности превышения p (%).
 R_{p_ii} : превышаемая интенсивность осадков (мм/ч) для заданной помесечной вероятности превышения p (%) в любой месяц (ii) года.

Шаг 1: Определить номер ii каждого месяца года и количество дней N_{ii} в каждом месяце.

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
ii	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
N_{ii}	31	28,25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31

Шаг 2: Для каждого месяца ii , где $ii = \{01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12\}$, определить среднемесячную температуру поверхности T_{ii} (К) в заданном месте (Lat, Lon) по надежным долгосрочным местным данным.

Если надежные долгосрочные местные данные недоступны, то среднемесячные значения температуры поверхности T_{ii} (К) в заданном месте (Lat, Lon) можно получить из цифровых карт среднемесячной температуры поверхности, приведенных в Рекомендации МСЭ-R P.1510.

Шаг 3: Для каждого месяца ii , где $ii = \{01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12\}$, определить среднемесячную общую интенсивность дождевых осадков MT_{ii} (мм) в заданном месте (Lat, Lon) по надежным долгосрочным местным данным.

Если надежные долгосрочные местные данные недоступны, то среднемесячную общую интенсивность дождевых осадков в заданном месте (Lat, Lon) можно определить по цифровым картам среднемесячной интенсивности дождевых осадков MT_{ii} (мм), приведенным в качестве неотъемлемой части настоящей Рекомендации, следующим образом:

- определить четыре точки сетки (Lat_1, Lon_1), (Lat_2, Lon_2), (Lat_3, Lon_3) и (Lat_4, Lon_4) в окрестностях заданной точки (Lat, Lon);
- определить среднемесячную общую интенсивность осадков $MT_{ii,1}$, $MT_{ii,2}$, $MT_{ii,3}$ и $MT_{ii,4}$ в четырех окрестных точках сетки карт, приведенных в настоящей Рекомендации;
- определить значение MT_{ii} в заданном месте (Lat, Lon), выполнив билинейную интерполяцию по четырем окрестным точкам сетки, как описано в Приложении 1 к Рекомендации МСЭ-R P.1144, пункт 1b.

Шаг 4: Для каждого месяца ii преобразовать T_{ii} (К) в t_{ii} ($^\circ\text{C}$).

Шаг 5: Для каждого месяца ii вычислить r_{ii} следующим образом:

$$\begin{aligned} r_{ii} &= 0,5874e^{0,0883 \times t_{ii}} \quad \text{для } t_{ii} \geq 0^\circ\text{C} \\ r_{ii} &= 0,5874 \quad \text{для } t_{ii} < 0^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (\text{мм/ч}). \quad (1)$$

Шаг 6a: Для каждого месяца ii вычислить вероятность дождя следующим образом:

$$P_{0ii} = 100 \frac{MT_{ii}}{24 \times N_{ii} \times r_{ii}} \quad (\%). \quad (2)$$

Шаг 6b: Для каждого месяца ii , если $P_{0ii} > 70$, установить $P_{0ii} = 70$ и $r_{ii} = \frac{100}{70} \times \frac{MT_{ii}}{24N_{ii}}$.

Шаг 7: Вычислить годовую вероятность дождя $P_{0annual} = P(R > 0)$ следующим образом:

$$P_{0annual} = \frac{\sum_{ii=1}^{12} N_{ii} \times P_{0ii}}{365,25}. \quad (3)$$

Шаг 8: Статистические данные по интенсивности осадков можно прогнозировать на годовой или помесечной основе. Чтобы получить помесечные статистические данные, необходимо выполнить шаг 8a; для получения годовых статистических данных необходимо применить шаг 8b.

Шаг 8a: Прогнозирование помесечных статистических данных по интенсивности дождевых осадков.

Если вероятность превышения заданной помесечной интенсивности дождевых осадков p больше P_{0ii} , то интенсивность дождевых осадков R_{p_ii} при заданной вероятности превышения помесечной интенсивности осадков составляет 0 мм/ч.

Если вероятность превышения заданной помесечной интенсивности дождевых осадков p меньше или равна P_{0ii} , откорректировать интенсивность дождевых осадков, R_{ref} , таким образом, чтобы абсолютная величина относительной погрешности между вероятностью превышения помесечной интенсивности дождевых осадков, $P_{ii}(R > R_{ref})$, и заданной вероятностью превышения помесечной интенсивности дождевых осадков p составляла менее 0,001% (то есть $100 \left| \frac{P_{ii}(R > R_{ref})}{p} - 1 \right| < 0,001$), где:

$$P_{ii}(R > R_{ref}) = P_{0ii} Q \left(\frac{\ln(R_{ref}) + 0,7938 - \ln(r_{ii})}{1,26} \right); \quad (4)$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (5)$$

В конце процесса корректировки установить $R_{p_ii} = R_{ref}$.

Шаг 8b: Прогнозирование годовых статистических данных по интенсивности дождевых осадков

Если вероятность превышения заданной годовой интенсивности дождевых осадков p больше $P_{0annual}$, то интенсивность дождевых осадков R_p при заданной вероятности превышения годовой интенсивности составляет 0 мм/ч.

Если вероятность превышения заданной годовой интенсивности дождевых осадков p меньше или равна $P_{0annual}$, откорректировать интенсивность дождевых осадков R_{ref} таким образом, чтобы абсолютная величина относительной погрешности между вероятностью превышения годовой интенсивности дождевых осадков $P(R > R_{ref})$ и заданной вероятностью превышения годовой интенсивности дождевых осадков p составляла менее 0,001% (то есть $100 \left| \frac{P(R > R_{ref})}{p} - 1 \right| < 0,001$), где:

$$P(R > R_{ref}) = \frac{\sum_{ii=1}^{12} N_{ii} P_{ii}(R > R_{ref})}{365,25} \quad (\%) \quad (6)$$

$$P_{ii}(R > R_{ref}) = P_{0ii} Q \left(\frac{\ln(R_{ref}) + 0,7938 - \ln(r_{ii})}{1,26} \right) \quad (\%) \quad (7)$$

и

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (8)$$

В конце процесса корректировки установить $R_p = R_{ref}$.

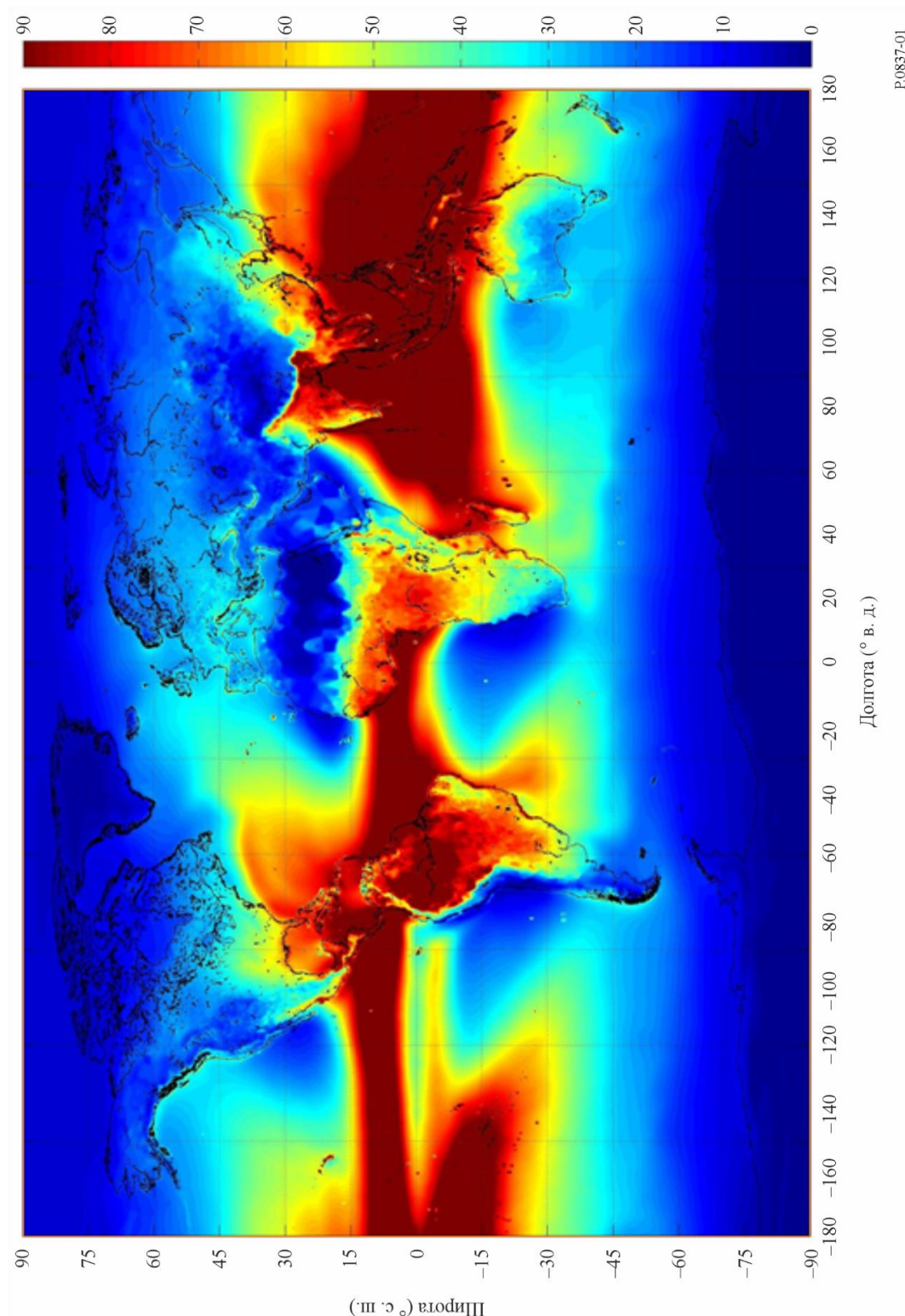
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Когда требуется вероятность превышения среднегодового уровня 0,01%, а объем памяти и вычислительная мощность системы ограничены, можно использовать предварительно рассчитанную карту $R_{0,01}$ с незначительной потерей точности. С помощью этой карты можно рассчитать интенсивность дождевых осадков при среднегодовой вероятности превышения 0,01% в любом заданном месте на поверхности Земли, выполнив билинейную интерполяцию с использованием метода, описанного в Приложении I к Рекомендации МСЭ-R P.1144, пункт 1b. Для более чем 99,9% поверхности Земли абсолютное значение разности результатов полноценного метода прогнозирования интенсивности дождевых осадков и прогнозирования с помощью предварительно рассчитанной карты $R_{0,01}$ составляет менее 0,3 мм/ч, а для более 99,99% поверхности Земли – менее 1 мм/ч.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В полноценном методе прогнозирования интенсивности дождевых осадков, предварительно вычисленную годовую карту $R_{0,01}$, на которой представлена вероятность превышения интенсивности дождевых осадков 0,01% можно использовать в качестве отправной начальной точки R_{ref} для процедуры корректировки, описанной в шаге 8а и шаге 8б.

Для справки: карта $R_{0,01}$ годовой интенсивности дождевых осадков, превышаемой со среднегодовой вероятностью 0,01%, показана на рисунке 1.

РИСУНОК 1

Интенсивность дождевых осадков, превышаемая со среднегодовой вероятностью 0,01%



Приложение 2

- 1 Интегральная функция распределения интенсивности дождевых осадков при времени интегрирования 1 минута может быть получена путем преобразования местных интегральных функций распределения, измеренных при времени интегрирования от 5 до 60 минут.
 - 2 Для рекомендуемого метода в качестве входных данных необходимы интегральная функция распределения, а также время интегрирования статистических данных дождевых осадков источника и географические координаты интересующего места.
 - 3 Данный метод основан на имитируемом движении синтетических дождевых ячеек, параметры которых выводятся по местным входным данным и продуктам ECMWF.
 - 4 Рекомендуемый метод включен в компьютерную программу, приведенную в Добавлении. Пакет прикладных программ, в котором реализована данная часть Рекомендации, имеет имя P-REC-P.837-8-Convrrstat.zip – [R-REC-P.837-8-202509-I!!ZIP-E.zip](#).
-