

Рекомендация МСЭ-R P.835-7 (08/2024)

Серия Р: Распространение радиоволн

Эталонные атмосферы



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.835-7

Эталонные атмосферы

(Вопрос МСЭ-R 214/3)

(1992-1994-1997-1999-2005-2012-2017-2024)

Сфера применения

В Рекомендации МСЭ-R P.835 приводятся эталонные атмосферы для расчета затухания в атмосферных газах и связанного с ним воздействия на наземных трассах и трассах Земля-космос.

Ключевые слова

Суммарное давление, барометрическое давление, температура, плотность водяного пара.

Сокращения/аббревиатуры

ASCII	American Standard Code for Information Interchange		Американский стандартный код для обмена информацией
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts	ЕЦСПП	Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды
ERA5	ECMWF Fifth Generation Reanalysis Product		Продукт реанализа ЕЦСПП пятого поколения
a.m.s.l.	above mean sea level		над средним уровнем моря

Соответствующие Рекомендации и Справочник МСЭ-R

Справочник по радиометеорологии (Издание 2013 г.)

Рекомендация МСЭ-R P.528

Рекомендация МСЭ-R P.530

Рекомендация МСЭ-R P.618

Рекомендация МСЭ-R P.619

Рекомендация МСЭ-R P.676

Рекомендация МСЭ-R P.836

Рекомендация МСЭ-R P.1144

Рекомендация МСЭ-R P.1510

Рекомендация МСЭ-R P.1511

Рекомендация МСЭ-R P.1853

Рекомендация МСЭ-R P.2001

Рекомендация МСЭ-R P.2041

Рекомендация МСЭ-R P.2145

Примечание. – Следует использовать последний по времени пересмотр/издание Рекомендации/Справочника.

Условные обозначения

<i>H</i>	геопотенциальная высота над средним уровнем моря
<i>Z</i>	геометрическая высота над средним уровнем моря
<i>P</i>	суммарное (барометрическое) давление

T	температура
ρ	плотность паров воды
e	парциальное давление водяного пара

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что эталонные атмосферы необходимы для расчета различных параметров распространения в атмосфере на наземных трассах и трассах Земля-космос;
- b) что системы численного прогнозирования погоды обеспечивают среднегодовые и месячные вертикальные профили параметров атмосферы в пространственно-временном разрешении,

рекомендует

- 1 использовать эталонную атмосферу МСЭ-R, приведенную в Приложении 1, для определения температуры, суммарного (барометрического) давления и плотности водяного пара в зависимости от геометрической высоты, когда требуется единый глобальный вертикальный профиль параметров атмосферы;
- 2 использовать сезонные эталонные атмосферы, приведенные в Приложении 2, для определения температуры, суммарного (барометрического) давления и плотности водяного пара в зависимости от геометрической высоты, когда требуются средние сезонные данные в виде функции от широты;
- 3 использовать средние глобальные профили температуры, суммарного (барометрического) давления и плотности водяного пара в зависимости от геометрической высоты, приведенные в Приложении 3, которые получены из численных прогнозов погоды, когда необходимы эталонные данные для конкретного места.

Приложение 1

1 Эталонная атмосфера МСЭ-R

Следующая эталонная атмосфера МСЭ-R содержит простые эталонные профили суммарного (барометрического) давления, температуры и плотности водяного пара на геометрической высоте от среднего уровня моря до 100 км над средним уровнем моря.

1.1 Температура и давление

Суммарное (барометрическое) давление и температура для эталонной атмосферы МСЭ-R получены на основе Стандартной атмосферы США 1976 года. Стандартная атмосфера США 1976 года представляет собой идеализированное устойчивое гипотетическое вертикальное распределение температуры и суммарного (барометрического) давления атмосферы, которое примерно соответствует круглогодичным условиям в средних широтах. Профили атмосферной температуры и атмосферного давления определяются в двух шкалах высоты¹: 1) геопотенциальная высота (H) от 0 км' до 84 852 км'; и 2) геометрическая высота (Z) от 86 км до 100 км. Взаимный перевод геопотенциальной высоты H (км) и геометрической высоты Z (км) определяется по формулам, принятым в Стандартной атмосфере США 1976 года:

$$H = \frac{6\,356,766Z}{6\,356,766+Z} \quad (1a)$$

¹ км' – это единицы измерения геопотенциальной высоты, а км – единицы измерения геометрической высоты.

и

$$Z = \frac{6\,356,766H}{6\,356,766 - H}, \quad (1b)$$

где значение геопотенциальной высоты, равное 84 852 км', соответствует 86 км геометрической высоты. Поскольку в различных Рекомендациях серии Р (например, в Приложении 1 к Рекомендации МСЭ-R P.676) используется геометрическая высота, температуру и давление на геометрической высоте $Z \leq 86$ км можно рассчитать путем преобразования геометрической высоты Z в соответствующую геопотенциальную высоту H и вычисления температуры и давления на соответствующей геопотенциальной высоте H .

Для первой шкалы высоты температура T (К) на геопотенциальной высоте H (км') составляет:

$$T(H) = 288,15 - 6,5H \quad \text{для } 0 \leq H \leq 11; \quad (2a)$$

$$T(H) = 216,65 \quad \text{для } 11 < H \leq 20; \quad (2b)$$

$$T(H) = 216,65 + (H - 20) \quad \text{для } 20 < H \leq 32; \quad (2c)$$

$$T(H) = 228,65 + 2,8(H - 32) \quad \text{для } 32 < H \leq 47; \quad (2d)$$

$$T(H) = 270,65 \quad \text{для } 47 < H \leq 51; \quad (2e)$$

$$T(H) = 270,65 - 2,8(H - 51) \quad \text{для } 51 < H \leq 71; \quad (2f)$$

$$T(H) = 214,65 - 2,0(H - 71) \quad \text{для } 71 < H \leq 84,852; \quad (2g)$$

и давление P (гПа) на геопотенциальной высоте H (км') составляет:

$$P(H) = 1\,013,25 \left[\frac{288,15}{288,15 - 6,5H} \right]^{-34,1632/6,5} \quad \text{для } 0 \leq H \leq 11 \quad (3a)$$

$$P(H) = 226,3226 \exp[-34,1632(H - 11)/216,65] \quad \text{для } 11 < H \leq 20; \quad (3b)$$

$$P(H) = 54,74980 \left[\frac{216,65}{216,65 + (H - 20)} \right]^{34,1632} \quad \text{для } 20 < H \leq 32; \quad (3c)$$

$$P(H) = 8,680422 \left[\frac{228,65}{228,65 + 2,8(H - 32)} \right]^{34,1632/2,8} \quad \text{для } 32 < H \leq 47; \quad (3d)$$

$$P(H) = 1,109106 \exp[-34,1632(H - 47)/270,65] \quad \text{для } 47 < H \leq 51; \quad (3e)$$

$$P(H) = 0,6694167 \left[\frac{270,65}{270,65 - 2,8(H - 51)} \right]^{-34,1632/2,8} \quad \text{для } 51 < H \leq 71; \quad (3f)$$

$$P(H) = 0,03956649 \left[\frac{214,65}{214,65 - 2,0(H - 71)} \right]^{-34,1632/2,0} \quad \text{для } 71 < H \leq 84,852. \quad (3g)$$

Для второй шкалы высоты температура T (К) на геометрической высоте Z (км) составляет:

$$T(Z) = 186,8673 \quad \text{для } 86 \leq Z \leq 91; \quad (4a)$$

$$T(Z) = 263,1905 - 76,3232 \left[1 - \left(\frac{Z - 91}{19,9429} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{для } 91 < Z \leq 100; \quad (4b)$$

и давление P (гПа) на геометрической высоте Z (км) составляет:

$$P(Z) = \exp(a_0 + a_1Z + a_2Z^2 + a_3Z^3 + a_4Z^4) \quad \text{для } 86 \leq Z \leq 100, \quad (5)$$

где:

$$a_0 = 95,571899;$$

$$a_1 = -4,011801;$$

$$a_2 = 6,424731 \times 10^{-2};$$

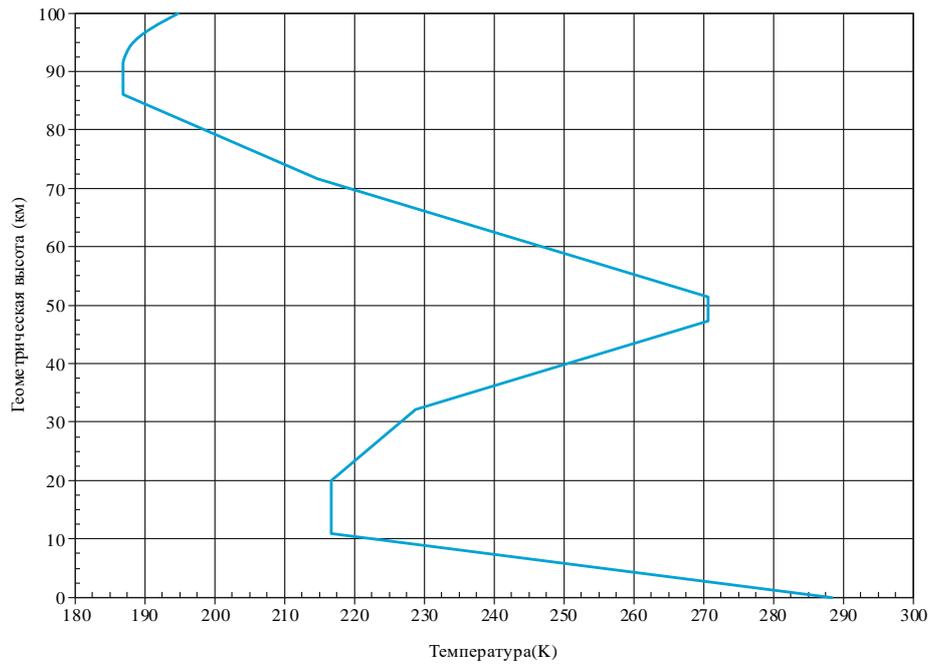
$$a_3 = -4,789660 \times 10^{-4};$$

$$a_4 = 1,340543 \times 10^{-6}.$$

Для сведения, температура и давление в зависимости от геометрической высоты представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

РИСУНОК 1

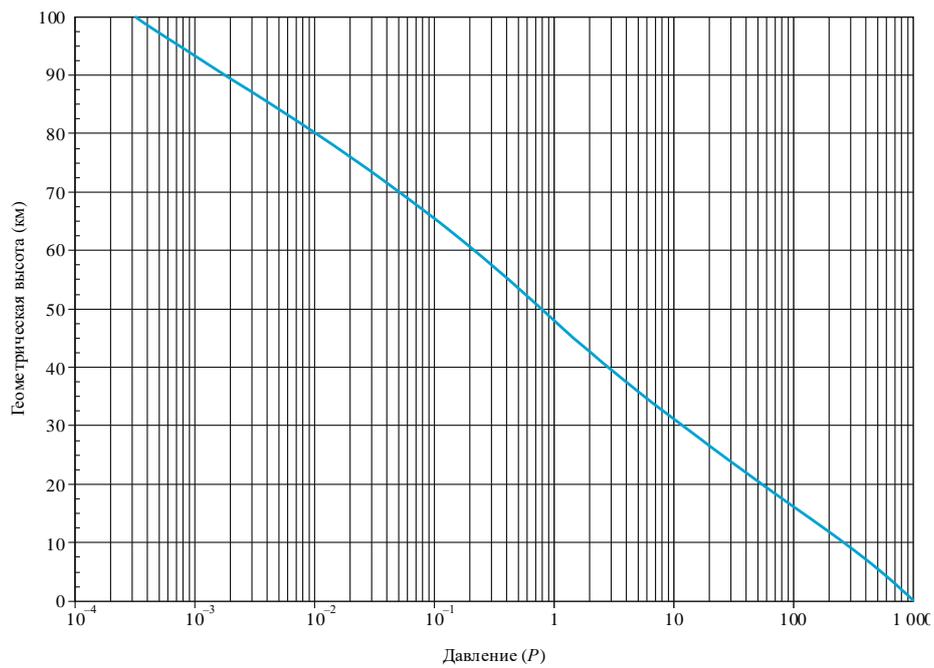
Температура в зависимости от геометрической высоты



P.0835-01

РИСУНОК 2

Суммарное давление в зависимости от геометрической высоты



P.0835-02

1.2 Плотность водяного пара

В отсутствие надежных местных данных плотность водяного пара в атмосфере ρ в зависимости от геометрической высоты может быть аппроксимирована с использованием следующего отрицательного экспоненциального профиля:

$$\rho(Z) = 7,5 \exp(-Z/2) \quad \text{г/м}^3, \quad (6)$$

где значение уменьшается по экспоненте при увеличении геометрической высоты вплоть до геометрической высоты, на которой коэффициент смещения $e(Z)/P(Z) = 2 \times 10^{-6}$, а значение парциальной плотности водяного пара $e(Z)$ составляет:

$$e(Z) = \frac{\rho(Z)T(Z)}{216,7} \quad \text{гПа} \quad (7)$$

Таким образом, плотность водяного пара выше этой геометрической высоты равна:

$$\rho(Z) = 2 \times 10^{-6} \frac{P(Z) 216,7}{T(Z)} \quad \text{г/м}^3 \quad (8)$$

Приложение 2

1 Сезонные эталонные атмосферы

В следующих разделах представлены простые сезонные эталонные атмосферы для низких (15° с. ш.), средних (45° с. ш.) и высоких (60° с. ш.) широт северного полушария. Эталонная атмосфера для низких широт определяется для всех четырех времен года; эталонные атмосферы для средних и высоких широт определяются для лета и зимы.

Эталонные профили для других широт могут быть получены следующим образом:

- Для 0° с. ш. \leq значений широт $\leq 15^\circ$ с. ш. для любого времени года следует использовать годовую эталонную атмосферу для низких широт.
- Для 15° с. ш. $<$ значений широт $< 45^\circ$ с. ш. для лета и зимы эталонная атмосфера рассчитывается путем линейной интерполяции годовой эталонной атмосферы в низких широтах и соответствующей сезонной эталонной атмосферы в средних широтах до интересующей широты.
- Для 45° с. ш. \leq значений широт $< 60^\circ$ с. ш. для лета и зимы эталонная атмосфера рассчитывается путем линейной интерполяции соответствующих сезонных эталонных атмосфер в средних и высоких широтах.
- Для значений широт $\geq 60^\circ$ с. ш. для лета и зимы следует использовать соответствующую сезонную эталонную атмосферу в высоких широтах.

Хотя эти сезонные эталонные атмосферы рассчитаны специально для широт северного полушария, они также могут применяться для соответствующих широт южного полушария.

1.1 Годовая эталонная атмосфера в низких широтах

Для низких широт (15° с. ш.) для всех четырех времен года могут использоваться следующие профили.

Температура T (К) на геометрической высоте Z (км) определяется как:

$$T(Z) = 300,4222 - 6,3533 Z + 0,005 886 Z^2 \quad \text{для } 0 \leq Z < 17 \quad (9a)$$

$$T(Z) = 194 + 2,533 (Z - 17) \quad \text{для } 17 \leq Z < 47 \quad (9b)$$

$$T(Z) = 270 \quad \text{для } 47 \leq Z < 52 \quad (9c)$$

$$T(Z) = 270 - 3,0714 (Z - 52) \quad \text{для } 52 \leq Z < 80 \quad (9d)$$

$$T(Z) = 184 \quad \text{для } 80 \leq Z \leq 100, \quad (9e)$$

тогда как суммарное (барометрическое) давление P (гПа) на геометрической высоте Z (км) определяется как:

$$P(Z) = 1012,0306 - 109,0338 Z + 3,6316 Z^2 \quad \text{для } 0 \leq Z \leq 10 \quad (10a)$$

$$P(Z) = P_{10} \exp[-0,147 (Z - 10)] \quad \text{для } 10 < Z \leq 72 \quad (10b)$$

$$P(Z) = P_{72} \exp[-0,165 (Z - 72)] \quad \text{для } 72 < Z \leq 100, \quad (10c)$$

где P_{10} и P_{72} – значения суммарного давления на высоте 10 и 72 км соответственно.

Плотность водяного пара ρ (г/м³) на геометрической высоте Z (км) составляет:

$$\rho(Z) = 19,6542 \exp[-0,2313 Z - 0,1122 Z^2 + 0,01351 Z^3 - 0,0005923 Z^4] \quad \text{для } 0 \leq Z \leq 15 \quad (11a)$$

$$\rho(Z) = 0 \quad \text{для } Z > 15 \quad (11b)$$

1.2 Эталонная атмосфера в средних широтах

Для средних широт (45° с. ш.) для лета и зимы могут использоваться следующие профили.

1.2.1 Лето, средние широты

Температура T (К) на геометрической высоте Z (км) определяется как:

$$T(Z) = 294,9838 - 5,2159 Z - 0,07109 Z^2 \quad \text{для } 0 \leq Z < 13 \quad (12a)$$

$$T(Z) = 215,15 \quad \text{для } 13 \leq Z < 17 \quad (12b)$$

$$T(Z) = 215,15 \exp[0,008128 (Z - 17)] \quad \text{для } 17 \leq Z < 47 \quad (12c)$$

$$T(Z) = 275 \quad \text{для } 47 \leq Z < 53 \quad (12d)$$

$$T(Z) = 275 + 111,57755 \{1 - \exp[0,0237 (Z - 53)]\} \quad \text{для } 53 \leq Z < 80 \quad (12e)$$

$$T(Z) = 175 \quad \text{для } 80 \leq Z \leq 100, \quad (12f)$$

тогда как суммарное (барометрическое) давление P (гПа) на геометрической высоте Z (км) определяется как:

$$P(Z) = 1012,8186 - 111,5569 Z + 3,8646 Z^2 \quad \text{для } 0 \leq Z \leq 10 \quad (13a)$$

$$P(Z) = P_{10} \exp[-0,147 (Z - 10)] \quad \text{для } 10 < Z \leq 72 \quad (13b)$$

$$P(Z) = P_{72} \exp[-0,165 (Z - 72)] \quad \text{для } 72 < Z \leq 100, \quad (13c)$$

где P_{10} и P_{72} – значения суммарного давления на высоте 10 и 72 км соответственно.

Плотность водяного пара ρ (г/м³) на геометрической высоте Z (км) составляет:

$$\rho(Z) = 14,3542 \exp[-0,4174 Z - 0,02290 Z^2 + 0,001007 Z^3] \quad \text{для } 0 \leq Z \leq 15 \quad (14a)$$

$$\rho(Z) = 0 \quad \text{для } Z > 15 \quad (14b)$$

1.2.2 Зима, средние широты

Температура T (К) на геометрической высоте Z (км) определяется как:

$$T(Z) = 272,7241 - 3,6217 Z - 0,1759 Z^2 \quad \text{для } 0 \leq Z < 10 \quad (15a)$$

$$T(Z) = 218 \quad \text{для } 10 \leq Z < 33 \quad (15b)$$

$$T(Z) = 218 + 3,3571 (Z - 33) \quad \text{для } 33 \leq Z < 47 \quad (15c)$$

$$T(Z) = 265 \quad \text{для } 47 \leq Z < 53 \quad (15d)$$

$$T(Z) = 265 - 2,0370 (Z - 53) \quad \text{для } 53 \leq Z < 80 \quad (15e)$$

$$T(Z) = 210 \quad \text{для } 80 \leq Z \leq 100, \quad (15f)$$

тогда как суммарное (барометрическое) давление P (гПа) на геометрической высоте Z (км) определяется как:

$$P(Z) = 1018,8627 - 124,2954 Z + 4,8307 Z^2 \quad \text{для } 0 \leq Z \leq 10 \quad (16a)$$

$$P(Z) = P_{10} \exp[-0,147 (Z - 10)] \quad \text{для } 10 < Z \leq 72 \quad (16b)$$

$$P(Z) = P_{72} \exp[-0,155 (Z - 72)] \quad \text{для } 72 < Z \leq 100, \quad (16c)$$

где P_{10} и P_{72} – значения суммарного давления на высоте 10 и 72 км соответственно.

Плотность водяного пара ρ (г/м³) на геометрической высоте Z (км) составляет:

$$\rho(Z) = 3,4742 \exp[-0,2697 Z - 0,03604 Z^2 + 0,0004489 Z^3] \quad \text{для } 0 \leq Z \leq 10 \quad (17a)$$

$$\rho(Z) = 0 \quad \text{для } Z > 10 \quad (17b)$$

1.3 Эталонная атмосфера в высоких широтах

Для высоких широт (60° с. ш.) для лета и зимы могут использоваться следующие профили.

1.3.1 Лето, высокие широты

Температура T (К) на геометрической высоте Z (км) определяется как:

$$T(Z) = 286,8374 - 4,7805 Z - 0,1402 Z^2 \quad \text{для } 0 \leq Z < 10 \quad (18a)$$

$$T(Z) = 225 \quad \text{для } 10 \leq Z < 23 \quad (18b)$$

$$T(Z) = 225 \exp[0,008317 (Z - 23)] \quad \text{для } 23 \leq Z < 48 \quad (18c)$$

$$T(Z) = 277 \quad \text{для } 48 \leq Z < 53 \quad (18d)$$

$$T(Z) = 277 - 4,0769 (Z - 53) \quad \text{для } 53 \leq Z < 79 \quad (18e)$$

$$T(Z) = 171 \quad \text{для } 79 \leq Z \leq 100, \quad (18f)$$

тогда как суммарное (барометрическое) давление P (гПа) на геометрической высоте Z (км) определяется как:

$$P(Z) = 1008,0278 - 113,2494 Z + 3,9408 Z^2 \quad \text{для } 0 \leq Z \leq 10 \quad (19a)$$

$$P(Z) = P_{10} \exp[-0,140 (Z - 10)] \quad \text{для } 10 < Z \leq 72 \quad (19b)$$

$$P(Z) = P_{72} \exp[-0,165 (Z - 72)] \quad \text{для } 72 < Z \leq 100, \quad (19c)$$

где P_{10} и P_{72} – значения суммарного давления на высоте 10 и 72 км соответственно.

Плотность водяного пара ρ (г/м³) на геометрической высоте Z (км) составляет:

$$\rho(Z) = 8,988 \exp[-0,3614 Z - 0,005402 Z^2 - 0,001955 Z^3] \quad \text{для } 0 \leq Z \leq 15 \quad (20a)$$

$$\rho(Z) = 0 \quad \text{для } Z > 15 \quad (20b)$$

1.3.2 Зима, высокие широты

Температура T (К) на геометрической высоте Z (км) определяется как:

$$T(Z) = 257,4345 + 2,3474 Z - 1,5479 Z^2 + 0,08473 Z^3 \quad \text{для } 0 \leq Z < 8,5 \quad (21a)$$

$$T(Z) = 217,5 \quad \text{для } 8,5 \leq Z < 30 \quad (21b)$$

$$T(Z) = 217,5 + 2,125 (Z - 30) \quad \text{для } 30 \leq Z < 50 \quad (21c)$$

$$T(Z) = 260 \quad \text{для } 50 \leq Z < 54 \quad (21d)$$

$$T(Z) = 260 - 1,667 (Z - 54) \quad \text{для } 54 \leq Z \leq 100 \quad (21e)$$

тогда как суммарное (барометрическое) давление P (гПа) на геометрической высоте Z (км) определяется как:

$$P(Z) = 1010,8828 - 122,2411 Z + 4,554 Z^2 \quad \text{для } 0 \leq Z \leq 10 \quad (22a)$$

$$P(Z) = P_{10} \exp[-0,147 (Z - 10)] \quad \text{для } 10 < Z \leq 72 \quad (22b)$$

$$P(Z) = P_{72} \exp[-0,150 (Z - 72)] \quad \text{для } 72 < Z \leq 100 \quad (22c)$$

где P_{10} и P_{72} – значения суммарного давления на высоте 10 и 72 км соответственно.

Плотность водяного пара ρ (г/м³) на геометрической высоте Z (км) составляет:

$$\rho(Z) = 1,2319 \exp[0,07481 Z - 0,0981 Z^2 + 0,00281 Z^3] \quad \text{для } 0 \leq Z \leq 10 \quad (23a)$$

$$\rho(Z) = 0 \quad \text{для } Z > 10 \quad (23b)$$

Приложение 3

1 Глобальные среднегодовые и среднемесячные вертикальные профили

В этом Приложении содержатся среднегодовые и среднемесячные вертикальные профили суммарного (барометрического) давления, температуры и плотности водяного пара на 138 уровнях высоты над средним уровнем моря, полученные путем усреднения данных ERA5 ЕЦСПП за 30 лет (1991–2020 гг.).

Эти вертикальные профили являются неотъемлемой составляющей настоящей Рекомендации и доступны в виде цифровых карт, содержащих части 1–12, соответствующие каждому месяцу года, и часть 13, соответствующую годовому периоду. Каждая часть содержит zip-файл с четырьмя файлами карт – P.bin, T.bin, WV.bin и Z.bin для соответствующего периода. Файл P.bin содержит профили давления, T.bin содержит профили температуры, WV.bin содержит профили плотности водяного пара, а Z.bin содержит профили геометрической высоты над средним уровнем моря. Характеристики каждого файла карты приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

Характеристики файла карты

Параметр	Значение
Формат	IEEE 754
Порядок байтов	Обратный (little endian)
Точность	Одинарная (4 байта/число)
Общее кол-во байтов	573 506 472
Диапазон широт	От -90° с. ш. до 90° с. ш.
Приращение широты	$+0,25^\circ$
Диапазон долгот	От -180° в. д. до 180° в. д.
Приращение долготы	$+0,25^\circ$
Кол-во точек на сетке широты	721
Кол-во точек на сетке долготы	1 441
Кол-во уровней высоты	138
Единицы измерения суммарного давления	гПа
Единицы измерения температуры	К
Единицы измерения плотности водяного пара	г/м ³
Единицы измерения высоты	км над средним уровнем моря

Каждый параметр хранится в виде трехмерной матрицы *parameter* (*ilevel*, *ilat*, *ilon*), где индексация начинается с 1: *ilevel* = 1, 2, ..., 138; *ilat* = 1, 2, ..., 721; и *ilon* = 1, 2, ..., 1 441. Первый из четырех байтов, соответствующих значению суммарного (барометрического) давления (*P*), температуры (*T*), плотности водяного пара (*WV*) или геометрической высоты над средним уровнем моря (*Z*) в любой точке сетки (*Latitude_degN*, *Longitude_degE*) на высоте (*ilevel*), представляет собой байт с номером *ipos*, где *ipos* варьируется от *ipos* = 1 до *ipos* = 573 506 469.

$$ipos = \{ilevel - 1 + (ilat - 1) \times 138 + (ilon - 1) \times 138 \times 721\} \times 4 + 1, \quad (24)$$

где:

$$ilat = (Latitude_degN + 90)/0,25 + 1 \quad (25)$$

$$ilon = (Longitude_degE + 180)/0,25 + 1 \quad (26)$$

$$ilevel = (1, 2, 3, \dots, 138) \quad (27)$$

В каждой точке сетки имеется 138 уровней давления, температуры и плотности водяного пара, где $P(ilevel, ilat, ilon)$, $T(ilevel, ilat, ilon)$ и $WV(ilevel, ilat, ilon)$ – это значения суммарного давления, температуры и плотности водяного пара на высоте над средним уровнем моря $Z(ilevel, ilat, ilon)$. $Z(138, ilat, ilon)$ – это высота поверхности Земли над средним уровнем моря по ERA5², а $Z(1, ilat, ilon)$ – максимальная высота над средним уровнем моря в соответствующей точке сетки. $Z(138, ilat, ilon)$ может отличаться от топографической высоты, приведенной в Рекомендации [МСЭ-R.P.1511](#), которая была определена путем сочетания результатов спутниковой радарной альтиметрии с высокой разрешающей способностью и местных данных альтиметрии.

² Геометрическая высота поверхности Земли над средним уровнем моря была получена путем деления значения гравитационной потенциальной энергии единицы массы на поверхности Земли (m^2/c^2) согласно ERA5 на ускорение свободного падения ($9,80665 \text{ м/с}^2$) и преобразования полученной геопотенциальной высоты поверхности Земли в геометрическую высоту поверхности Земли.