

Рекомендация МСЭ-R М.314-11 (12/2023)

Серия RA: Радиоастрономия

**Предпочтительные полосы частот для
радиоастрономических измерений в
диапазоне ниже 1 ТГц**

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 RA.314-11

Предпочтительные полосы частот для радиоастрономических измерений в диапазоне ниже 1 ТГц

(Вопрос МСЭ-R 145/7)

(1953-1956-1959-1966-1970-1974-1978-1982-1986-1990-1992-2002-2003-2023)

Сфера применения

В данной Рекомендации содержится информация о предпочтительных полосах частот для радиоастрономических измерений в диапазоне ниже 1000 ГГц. В таблицах 1 и 2 перечислены полосы частот, связанные с атомным и молекулярным переходами; в таблице 3 перечислены полосы частот, которые предпочтительно использовать для наблюдения радиоизлучения с непрерывным спектром; в таблице 4 перечислены полосы частот для ряда конкретных применений по наблюдению нейтрального водорода с красным смещением. Рисунки в приложении иллюстрируют естественные процессы, которые обуславливают выбор предпочтительных полос частот для радиоастрономии.

Ключевые слова

Радиоастрономия, фундаментальная физика, атомный и молекулярный переходы, излучение с непрерывным спектром, прозрачность атмосферы.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что развитие радиоастрономии обусловило значительные достижения в области технологии, особенно в области методов приема, привело к уточнению знаний о фундаментальных ограничениях радиосигнала, чрезвычайно важных для радиосвязи, и обещает принести еще более значимые результаты;
- b) что прогресс в радиоастрономии требует защиты определенных полос частот от помех;
- c) что Международный астрономический союз (МАС) ведет и обновляет список спектральных линий, имеющих важнейшее значение для радиоастрономии;
- d) что радиоастрономы изучают спектральные линии как в полосах, распределенных радиоастрономической службой, так и за пределами распределенных полос частот, насколько это позволяет использование спектра другими службами, и что в результате этого были обнаружены тысячи спектральных линий, как показано на рисунке 1 в Приложении 1;
- e) что следует учитывать доплеровское смещение линий, обусловленное движением источника относительно наблюдателя;
- f) что наблюдаемые частоты сильно смещенных в красную область (доплеровским смещением) спектральных линий атомов или молекул из далеких областей Вселенной значительно ниже их собственных частот, как показано в таблице 4 и на рисунке 3 в Приложении 1;
- g) что некоторые полосы частот распределены для наблюдения непрерывного спектра и что точное положение этих полос в спектре не имеет решающего значения, как показано на рисунке 4 в Приложении 1, но их центральные частоты должны иметь соотношение не более чем два к одному, учитывая ширину соответствующих атмосферных окон (см. рис. 1 в Приложении 1);
- h) что радиоастрономы провели полезные астрономические наблюдения с поверхности Земли во всех доступных атмосферных окнах (см. рис. 1 в Приложении 1) в диапазоне от 2 МГц до 1000 ГГц и выше;

i) что методы космической радиоастрономии, включающие использование радиотелескопов на космических платформах, обеспечивают доступ к полному спектру радиочастот выше примерно 10 кГц, включая части спектра, не доступные с Земли из-за поглощения в атмосфере;

j) что для некоторых типов интерферометрических наблюдений с высоким разрешением требуется одновременный прием на одной и той же радиочастоте приемными системами, расположенными в разных странах, на разных континентах или на космических платформах;

k) что всемирные административные радиоконференции и всемирные конференции радиосвязи улучшили распределения частот для радиоастрономии, но во многих полосах, особенно в полосах, используемых совместно с другими радиослужбами, все еще требуется тщательное планирование защиты,

отмечая

что предпочтительные полосы частот между 1 и 3 ТГц содержатся в Рекомендации МСЭ-R RA.1860,

рекомендует

1 администрациям обеспечивать всю практически возможную защиту частот, используемых радиоастрономами в их собственных и соседних странах;

2 уделять особое внимание обеспечению или поддержанию надлежащей защиты полос частот, перечисленных в таблицах 1 и 2, в которых указаны собственные частоты и частоты с доплеровским смещением наиболее важных для астрофизики спектральных линий, определенных Генеральной Ассамблеей МАС, а также в таблице 3, в которой указаны полосы частот, распределенные радиоастрономической службе, которые предпочтительно использовать для наблюдения непрерывного спектра;

3 предложить администрациям оказывать содействие в координации наблюдений спектральных линий в полосах, не распределенных для радиоастрономии.

ТАБЛИЦА 1

Наиболее важные для радиоастрономии радиочастотные линии на частотах ниже 275 ГГц

Вещество	Собственная частота	Предлагаемая минимальная полоса частот	Прим. ⁽¹⁾
Дейтерий (D I)	327,384 МГц	327,0–327,7 МГц	
Водород (H I)	1 420,406 МГц	1 370,0–1 427,0 МГц	(2), (3)
Гидроксильный радикал (OH)	1 612,231 МГц	1 606,8–1 613,8 МГц	(4)
Гидроксильный радикал (OH)	1 665,402 МГц	1 659,8–1 667,1 МГц	(4)
Гидроксильный радикал (OH)	1 667,359 МГц	1 661,8–1 669,0 МГц	(4)
Гидроксильный радикал (OH)	1 720,530 МГц	1 714,8–1 722,2 МГц	(3), (4)
Метилидин (CH)	3 263,794 МГц	3 252,9–3 267,1 МГц	(3), (4)
Метилидин (CH)	3 335,481 МГц	3 324,4–3 338,8 МГц	(3), (4)
Метилидин (CH)	3 349,193 МГц	3 338,0–3 352,5 МГц	(3), (4)
Формальдегид (H ₂ CO)	4 829,660 МГц	4 813,6–4 834,5 МГц	(3), (4)
Метанол (CH ₃ OH)	6 668,518 МГц	6 661,8–6 675,2 МГц	(3)
Гелий (³ He ⁺)	8 665,650 МГц	8 657,0–8 674,3 МГц	(3), (6)
Метанол (CH ₃ OH)	12,178 ГГц	12,17–12,19 ГГц	(3), (6)
Формальдегид (H ₂ CO)	14,488 ГГц	14,44–14,50 ГГц	(3), (4)
Циклопропенилиден (C ₃ H ₂)	18,343 ГГц	18,28–18,36 ГГц	(3), (4), (6)
Пары воды (H ₂ O)	22,235 ГГц	22,16–22,26 ГГц	(3), (4)
Аммиак (NH ₃)	23,694 ГГц	23,61–23,71 ГГц	(4)
Аммиак (NH ₃)	23,723 ГГц	23,64–23,74 ГГц	(4)
Аммиак (NH ₃)	23,870 ГГц	23,79–23,89 ГГц	(4)

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Вещество	Собственная частота	Предлагаемая минимальная полоса частот	Прим. ⁽¹⁾
Монооксид серы (SO)	30,002 ГГц	29,97–30,03 ГГц	(6)
Метанол (CH ₃ OH)	36,169 ГГц	36,13–36,21 ГГц	(6)
Монооксид кремния (SiO)	42,519 ГГц	42,47–42,57 ГГц	(6), (8)
Монооксид кремния (SiO)	42,821 ГГц	42,77–42,86 ГГц	
Монооксид кремния (SiO)	43,122 ГГц	43,07–43,17 ГГц	
Монооксид кремния (SiO)	43,424 ГГц	43,37–43,47 ГГц	
Моносульфид дикарбона (CCS)	45,379 ГГц	45,33–45,44 ГГц	(6)
Моносульфид углерода (CS)	48,991 ГГц	48,94–49,04 ГГц	
Молекулярный кислород (O ₂)	61,1 ГГц	56,31–63,06 ГГц	(5), (6), (7)
Пары полутяжелой воды (HDO)	80,578 ГГц	80,50–80,66 ГГц	
Циклопропенилиден (C ₃ H ₂)	85,339 ГГц	85,05–85,42 ГГц	
Монооксид кремния (SiO)	86,243 ГГц	86,16–86,33 ГГц	
Формилий (H ¹³ CO ⁺)	86,754 ГГц	86,66–86,84 ГГц	
Монооксид кремния (SiO)	86,847 ГГц	86,76–86,93 ГГц	
Этиниловый радикал (C ₂ H)	87,3 ГГц	87,21–87,39 ГГц	(5)
Цианид водорода (HCN)	88,632 ГГц	88,34–88,72 ГГц	(4)
Формилий (HCO ⁺)	89,189 ГГц	88,89–89,28 ГГц	(4)
Изоцианид водорода (HNC)	90,664 ГГц	90,57–90,76 ГГц	
Диазенилий (N ₂ H ⁺)	93,174 ГГц	93,07–93,27 ГГц	
Моносульфид углерода (CS)	97,981 ГГц	97,65–98,08 ГГц	(4)
Монооксид серы (SO)	99,300 ГГц	99,98–100,18 ГГц	
Метилацетилен (CH ₃ C ₂ H)	102,5 ГГц	102,39–102,60 ГГц	(5)
Метанол (CH ₃ OH)	107,014 ГГц	106,91–107,12 ГГц	
Монооксид углерода (C ¹⁸ O)	109,782 ГГц	109,67–109,89 ГГц	
Монооксид углерода (¹³ CO)	110,201 ГГц	109,83–110,31 ГГц	(4)
Монооксид углерода (C ¹⁷ O)	112,359 ГГц	112,25–112,47 ГГц	
Цианидный радикал (CN)	113,5 ГГц	113,39–113,61 ГГц	(5)
Монооксид углерода (CO)	115,271 ГГц	114,88–115,39 ГГц	(4)
Молекулярный кислород (O ₂)	118,750 ГГц	118,63–118,87 ГГц	(6), (7)
Формальдегид (H ₂ ¹³ CO)	137,450 ГГц	137,31–137,59 ГГц	
Формальдегид (H ₂ CO)	140,840 ГГц	140,69–140,98 ГГц	
Моносульфид углерода (CS)	146,969 ГГц	146,82–147,12 ГГц	
Оксид азота (NO)	150,4 ГГц	149,95–150,85 ГГц	(5)
Метанол (CH ₃ OH)	156,602 ГГц	156,45–156,76 ГГц	
Пары воды (H ₂ O)	183,310 ГГц	183,12–183,50 ГГц	
Монооксид углерода (C ¹⁸ O)	219,560 ГГц	219,34–219,78 ГГц	
Монооксид углерода (¹³ CO)	220,399 ГГц	219,67–220,62 ГГц	(4)
Цианидный радикал (CN)	226,6 ГГц	226,37–226,83 ГГц	(5)
Цианидный радикал (CN)	226,8 ГГц	226,57–227,03 ГГц	(5)

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Вещество	Собственная частота	Предлагаемая минимальная полоса частот	Прим. ⁽¹⁾
Монооксид углерода (CO)	230,538 ГГц	229,77–230,77 ГГц	(4)
Моносulfид углерода (CS)	244,953 ГГц	244,72–245,20 ГГц	
Оксид азота (NO)	250,6 ГГц	250,35–250,85 ГГц	(5)
Этиниловый радикал (C ₂ H)	262,0 ГГц	261,74–262,26 ГГц	(5)
Цианид водорода (HCN)	265,886 ГГц	265,62–266,15 ГГц	
Формилий (HCO ⁺)	267,557 ГГц	267,29–267,83 ГГц	
Изоцианид водорода (HNC)	271,981 ГГц	271,71–272,25 ГГц	

- (1) Если не указано примечание ⁽²⁾ или ⁽⁴⁾, то пределы полосы представляют собой частоты с доплеровским смещением, соответствующим радиальным скоростям ± 300 км/с (соответствует линиям излучения в галактике Млечный Путь).
- (2) Требуется расширение в сторону более низких частот относительно распределенной полосы 1400–1427 МГц, учитывая большее доплеровское смещение для H I, наблюдаемого в далеких галактиках. Дополнительные предпочтительные полосы частот для нейтрального водорода с красным смещением для разных астрономических эпох перечислены в таблице 4.
- (3) Текущее международное распределение не имеет статус первичного и/или не отвечает требованиям к ширине полосы. Для получения более подробной информации см. Регламент радиосвязи (PP).
- (4) Поскольку частоты этих линий используются также для наблюдения других галактик, помимо галактики Млечный Путь, перечисленные значения ширины полос включают доплеровское смещение, соответствующее радиальным скоростям до 1000 км/с. Некоторые линии наиболее распространенных молекул, а также H I, обнаружены в галактиках с очень большими скоростями разбегания, вызываемого расширением Вселенной, в результате которого наблюдаемые частоты существенно ниже, чем частота излучения в покоящейся системе отсчета (см. рис. 3).
- (5) Имеется несколько близко расположенных линий, связанных с этими молекулами. Приведенные полосы частот достаточно широки для наблюдения всех линий.
- (6) Частота этой линии находится вне полос, распределенных радиоастрономической службе.
- (7) Эти линии можно наблюдать только вне атмосферы Земли, например, с помощью приемников, расположенных на высотных аэростатах, воздушных судах, спутниках или других неназемных платформах (см. также раздел V Статьи 22 PP).
- (8) Участок предлагаемой минимальной полосы для этой линии выходит за пределы полосы, распределенной радиоастрономической службе. Защита наблюдений, проводимых в этом участке полосы, может оказаться неосуществимой на практике.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Более полный список важных для астрофизики и часто наблюдаемых частот спектральных линий доступен по адресу: <https://splatalogue.online/#/home>. База данных по астрономической спектроскопии Splatalogue ведется благодаря сотрудничеству широкого круга астрономов и специалистов по атомной и молекулярной спектроскопии.

ТАБЛИЦА 2

**Наиболее важные для радиоастрономии радиочастотные линии на частотах от 275 до 1000 ГГц
(не распределенные в РР)**

Вещество	Собственная частота (ГГц)	Предлагаемая минимальная полоса частот (ГГц)	Прим. ⁽¹⁾
Диазенилий (N_2H^+)	279,511	279,23–279,79	
Моносульфид углерода (CS)	293,912	292,93–294,21	
Гидроний (H_3O^+)	307,192	306,88–307,50	
Пары полутяжелой воды (HDO)	313,750	313,44–314,06	
Монооксид углерода ($C^{18}O$)	329,330	329,00–329,66	
Монооксид углерода (^{13}CO)	330,587	330,25–330,92	
Моносульфид углерода (CS)	342,883	342,54–343,23	
Монооксид углерода (CO)	345,796	345,45–346,14	
Цианид водорода (HCN)	354,484	354,13–354,84	
Формилий (HCO^+)	356,734	356,37–357,09	
Молекулярный кислород (O_2)	368,498	368,13–368,87	
Диазенилий (N_2H^+)	372,672	372,30–373,05	(2)
Пары воды (H_2O)	380,197	379,81–380,58	(2)
Гидроний (H_3O^+)	388,459	388,07–388,85	
Моносульфид углерода (CS)	391,847	390,54–392,24	
Молекулярный кислород (O_2)	424,763	424,34–425,19	
Монооксид углерода ($C^{18}O$)	439,088	438,64–439,53	
Монооксид углерода (^{13}CO)	440,765	440,32–441,21	
Монооксид углерода (CO)	461,041	460,57–461,51	
Пары полутяжелой воды (HDO)	464,925	464,46–465,39	
Атомарный углерод (C I)	492,162	491,66–492,66	
Пары полутяжелой воды (HDO)	509,292	508,78–509,80	
Цианид водорода (HCN)	531,716	529,94–532,25	(2)
Моносульфид углерода (CS)	538,689	536,89–539,23	(2)
Пары воды ($H_2^{18}O$)	547,676	547,13–548,22	(2)
Монооксид углерода (^{13}CO)	550,926	549,09–551,48	(2)
Пары воды (H_2O)	556,936	556,37–557,50	(2)
Аммиак ($^{15}NH_3$)	572,113	571,54–572,69	(2)
Аммиак (NH_3)	572,498	571,92–573,07	(2)
Монооксид углерода (CO)	576,268	574,35–576,84	(2)
Моносульфид углерода (CS)	587,616	587,03–588,20	(2)
Пары полутяжелой воды (HDO)	599,927	599,33–600,53	(2)
Пары воды (H_2O)	620,700	620,08–621,32	(2)
Хлорид водорода (HCl)	625,040	624,27–625,67	
Хлорид водорода (HCl)	625,980	625,35–626,61	
Моносульфид углерода (CS)	636,532	634,41–637,17	

ТАБЛИЦА 2 (окончание)

Вещество	Собственная частота (ГГц)	Предлагаемая минимальная полоса частот (ГГц)	Прим. ⁽¹⁾
Монооксид углерода (¹³ CO)	661,067	658,86–661,73	
Монооксид углерода (CO)	691,473	690,78–692,17	
Молекулярный кислород (O ₂)	715,393	714,68–716,11	(2)
Моносulfид углерода (CS)	734,324	733,59–735,06	(2)
Пары воды (H ₂ O)	752,033	751,28–752,79	(2)
Молекулярный кислород (O ₂)	773,840	773,07–784,61	(2)
Цианид водорода (HCN)	797,433	796,64–798,23	
Формилий (HCO ⁺)	802,653	801,85–803,85	
Монооксид углерода (CO)	806,652	805,85–807,46	
Атомарный углерод (C I)	809,350	808,54–810,16	
Моносulfид углерода (CS)	832,057	829,28–832,89	
Молекулярный кислород (O ₂)	834,146	833,31–834,98	
Моносulfид углерода (CS)	880,899	877,96–881,78	
Пары воды (H ₂ O)	916,172	915,26–917,09	(2)
Монооксид углерода (CO)	921,800	918,72–922,72	(2)
Моносulfид углерода (CS)	929,723	926,62–930,65	
Пары воды (H ₂ O)	970,315	969,34–971,29	(2)
Моносulfид углерода (CS)	978,529	977,55–979,51	(2)
Пары воды (H ₂ O)	987,927	986,94–988,92	(2)

(1) Пределы полосы представляют собой частоты с доплеровским смещением, соответствующим радиальным скоростям ± 300 км/с (соответствует линиям излучения в галактике Млечный Путь).

(2) Эти линии можно наблюдать только вне атмосферы Земли, например, с помощью приемников, расположенных на высотных аэростатах, воздушных судах, спутниках или других неназемных платформах (см. также раздел V Статьи 22 PP).

ТАБЛИЦА 3

Полосы частот, распределенные или определенные в п. 5.565 PP радиоастрономической службе, которые предпочтительнее использовать для наблюдений непрерывного спектра

Полоса частот (МГц)	Полоса частот (ГГц)
13,360–13,410	10,6–10,7
25,550–25,670	15,35–15,4
37,5–38,25 ⁽¹⁾	22,21–22,50
73–74,6 ⁽²⁾	23,6–24,0
150,05–153 ⁽³⁾	31,3–31,8
322–328,6	42,5–43,5
406,1–410	76–116 ⁽¹⁾
608–614 ⁽⁴⁾	123–158,5 ⁽¹⁾
1 400–1 427	164–167
1 660–1 670	200–231,5
2 655–2 700 ⁽¹⁾	241–510 ^{(1), (5)}
4 800–5 000 ⁽¹⁾	602–720 ⁽⁶⁾
	787–950 ⁽⁷⁾

Примечания к таблице 3:

- (1) Эти полосы частот включают распределения на вторичной основе.
- (2) Распределение (первичное) в Районе 2, рекомендуется защита в Районах 1 и 3.
- (3) Распределение (первичное) в Районе 1, Австралии и Индии.
- (4) Распределение (первичное) в Районе 2, Африканской зоне радиовещания (606–614 МГц), Китае (606–614 МГц) и Индии. В Районе 1 (за исключением Африканской зоны радиовещания) и в Районе 3 эта полоса частот распределена РАС на вторичной основе.
- (5) В п. 5.565 РР полосы частот 275–323 ГГц, 327–371 ГГц, 388–424 ГГц, 426–442 ГГц и 453–510 ГГц определены для использования администрациями для радиоастрономической службы, а полосы частот 323–327 ГГц, 371–388 ГГц, 424–426 ГГц и 442–453 ГГц для других пассивных служб.
- (6) В п. 5.565 РР полоса частот 623–711 ГГц определена для использования администрациями для радиоастрономической службы, а полосы частот 611–630 ГГц и 713–718 ГГц для других пассивных служб.
- (7) В п. 5.565 РР полосы частот 795–909 ГГц и 926–945 ГГц определены для использования администрациями для радиоастрономической службы, а полоса частот 909–926 ГГц для других пассивных служб.

ТАБЛИЦА 4

Полосы частот, связанные с красным смещением нейтрального водорода

Вещество	Собственная частота	Диапазон красного смещения ⁽¹⁾	Полоса частот	Прим.
Водород (H I)	1 420,406 МГц	$20,9 > z > 6$	65,0–200,0 МГц	(2)
		$2 > z > 1$	473,0–710,0 МГц	(3)
		$0,48 > z > 0,22$	960,0–1 164,0 МГц	(4)
		$0,093 > z > 0$	1 300,0–1 427,0 МГц	(5)

(1) Параметр $z [(f_{\text{emit}} - f_{\text{obs}})/f_{\text{obs}}]$ известен как красное смещение. См. рисунок 3.

(2) Участки этой полосы частот распределены на первичной основе в Районе 2 (73–74,6 МГц) и на первичной основе в Районе 1 (150,05–153,0 МГц), а также определены в п. 5.149 РР в Районе 1 (73–74,6 МГц и 150,05–153 МГц) и в Районе 3 (73–74,6 МГц). Регламентарные нормы некоторых стран устанавливают запрет на осуществление передач в полосе частот 73–74,6 МГц для любых станций. Ожидается, что в диапазоне частот 65,0–200,0 МГц возможно наблюдение H I с красным смещением в Эпоху реионизации ($6,0 < z < 20$), которая важна с точки зрения физики. См. рисунок 3, слева.

(3) Участки этой полосы частот распределены на первичной основе в Районе 2 (608–614 МГц), Африканской зоне радиовещания (606–614 МГц согласно п. 5.304 РР), Китае (606–614 МГц согласно п. 5.305 РР) и Индии (608–614 МГц согласно п. 5.307 РР). В Районе 1 (за исключением Африканской зоны радиовещания) и в Районе 3 часть этой полосы частот распределена на вторичной основе (608–614 МГц согласно п. 5.306 РР). Полоса частот 608–614 МГц указана в п. 5.149 РР для Районов 1 и 3. Регламентарные нормы некоторых стран устанавливают запрет на осуществление передач в полосе частот 608–614 МГц, за исключением передач медицинского телеметрического оборудования. Эта полоса частот соответствует диапазону красного смещения, позволяющему наблюдать пик звездообразования ($1 < z < 2$). См. рисунок 3, в центре.

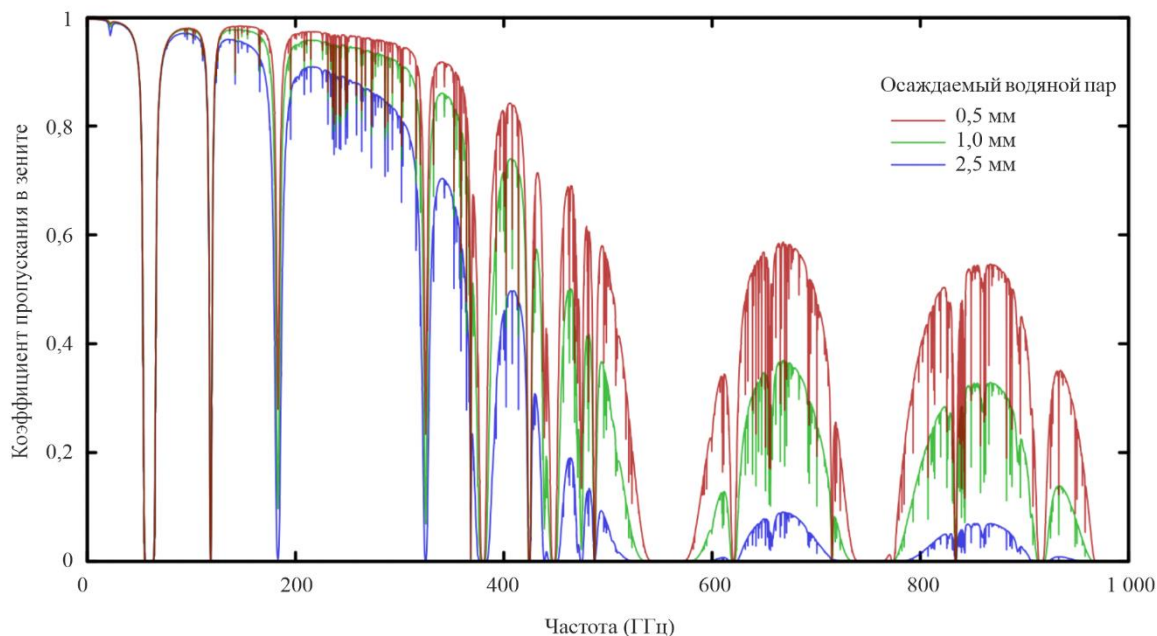
(4) В настоящее время в Регламенте радиосвязи международное распределение радиоастрономической службе в этой полосе частот отсутствует. Этот частотный диапазон соответствует диапазону красного смещения, все еще позволяющему напрямую наблюдать излучение нейтрального водорода в галактиках, в которых уже наблюдаются процессы эволюции Вселенной (примерно $0,5 > z > 0,2$). См. рисунок 3, в центре.

(5) Участок этой полосы частот указан в п. 5.149 РР (1330–1400 МГц), а другой участок этой полосы частот распределен РАС на первичной основе, а также отмечен в п. 5.340 (1400–1427 МГц) РР. Требуется расширение в сторону более низких частот, принимая во внимание доплеровское смещение для H I, наблюдаемого в далеких галактиках; верхняя частотная граница учитывает синее смещение для галактик Местной группы. См. рисунок 3, в центре.

Приложение 1

Выбор полос частот, которые предпочтительно использовать для радиоастрономических наблюдений, обусловлен естественными процессами, как показано на рисунках ниже.

РИСУНОК 1
Прозрачность атмосферы в зависимости от частоты

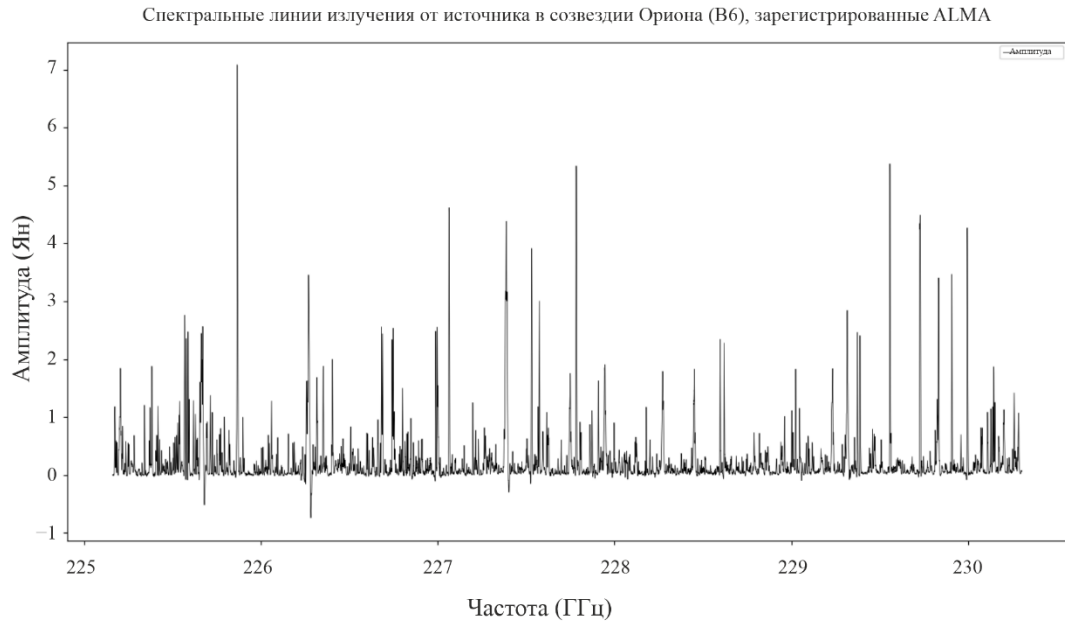


RA.0314-01

Области спектра с высокой степенью прозрачности называются атмосферными окнами и совпадают с полосами частот, которые предпочтительно использовать для радиоастрономических наблюдений с помощью аппаратуры, расположенной на Земле. Приведенные здесь кривые спектрального пропускания соответствуют различным значениям количества осаждаемого водяного пара (PWV) на высокой площадке с сухим климатом. В данном случае приведены три значения PWV, которые примерно соответствуют годовым квартилям в месте расположения радиотелескопа ALMA (Атакамской большой антенной решетке миллиметрового/субмиллиметрового диапазона).

РИСУНОК 2

Спектр линий излучения, иллюстрирующий многообразие обнаруживаемых спектральных линий от космических источников

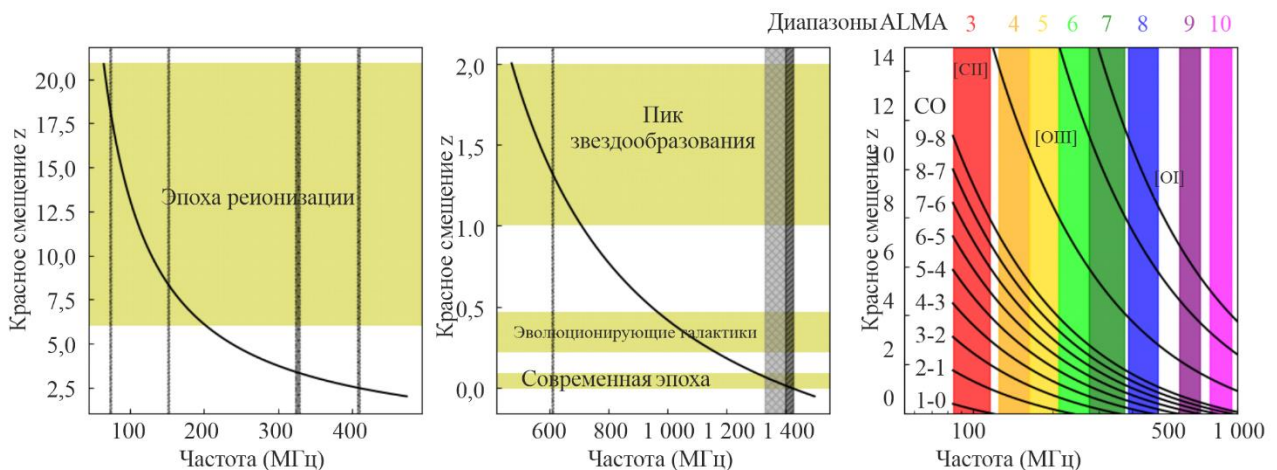


RA.0314-02

Радиоастрономические технологии позволяют в рамках однократного наблюдения широкого диапазона частот обнаружить огромное количество спектральных линий. Интенсивность каждой линии зависит от физических параметров астрономического источника, в том числе его температуры и плотности. В таблицах 1 и 2 перечислен ряд наиболее сильных спектральных линий, а также ряд наиболее интересных в астрономическом отношении переходов, обнаруженных при наблюдении космических источников, однако и многие другие спектральные переходы несут важную информацию для астрономических исследований. На рисунке 2 показана небольшая часть спектра от источника в молекулярном облаке Ориона в диапазоне B6 ALMA (211–275 ГГц). Сигнал присутствует почти в каждом канале. Каждая линия соответствует молекулярному или атомному переходу. Во всем диапазоне частот примерно от 10 МГц до 1 ТГц и выше уже зарегистрированы тысячи линий. По вертикали показана спектральная плотность потока излучения, где янский (Ян) равен 10^{-26} Вт м⁻² Гц⁻¹.

РИСУНОК 3

Расширение Вселенной вызывает заметное доплеровское смещение спектральных линий от удаленных источников



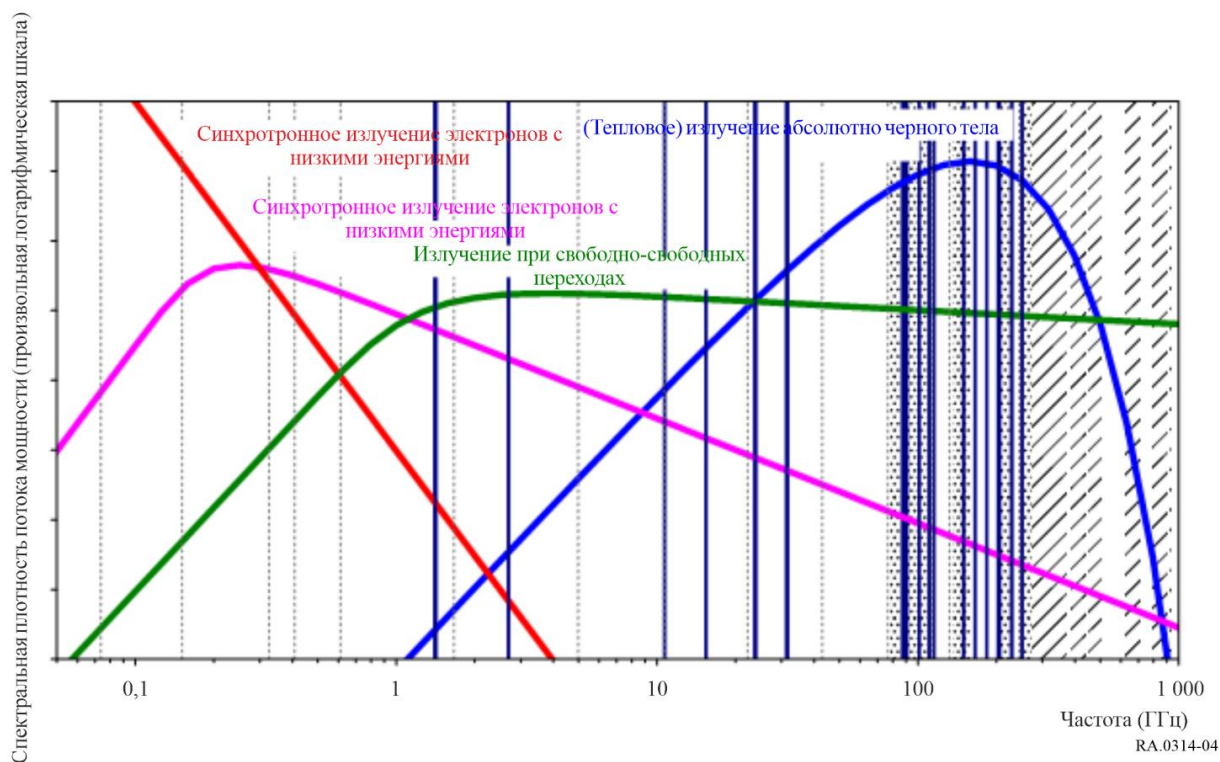
RA.0314-03

Параметр z представляет красное смещение и рассчитывается по формуле $(f_{\text{emit}} - f_{\text{obs}})/f_{\text{obs}}$.

В левой и центральной частях рисунка 3 показана частота линии нейтрального атомарного водорода H I с учетом красного смещения. Желтым цветом отмечены диапазоны красного смещения, имеющие особое значение для астрономических исследований (таблица 4). Серой точечной штриховкой отмечены полосы частот, в которых РАС имеет распределение на равной первичной основе; решетчатой штриховкой отмечены полосы, указанные только в п. 5.149 РР; линейной штриховкой отмечены полосы, которые относятся к первичному распределению и отмечены в п. 5.340 РР. Все частоты в левой и центральной частях рисунка доступны для наблюдений с помощью радиотелескопов уже сейчас, и все они будут наблюдаться с помощью телескопа SKA ("антенная решетка площадью в квадратный километр"), одного из крупнейших радиотелескопов, которые будут построены в ближайшем будущем. В правой части рисунка 3 показаны частоты с красным смещением для некоторых вращательных переходов CO , а также линий тонкой структуры [СП], [ОП] и [ОП] (квадратные скобки используются для обозначения запрещенных линий), которые указаны в таблицах 1 и 2 выше и в Рекомендации МСЭ-R RA.1860. Цветные вертикальные линии соотносятся с диапазонами (полосами частот) приемников ALMA. Наблюдения нескольких линий CO от одного и того же источника позволяют изучать физические характеристики (температуру и плотность) молекулярных облаков и областей звездообразования, как близких, так и находящихся на очень большом расстоянии.

РИСУНОК 4

Распределение энергии в спектрах наиболее мощных известных космических источников



Радиоастрономические наблюдения на многих частотах необходимы для определения непрерывного спектра звезд, галактик, квазаров, пульсаров и других космических радиоисточников. Как видно на рисунке 4, полосы частот, указанные в таблице 3, разнесены примерно на одну октаву, чтобы обеспечить выборку примеров распределения спектральной энергии космических источников. Полосы частот, распределенные радиоастрономической службе на равной первичной основе для наблюдений непрерывного спектра, обозначены на рисунке 4 точечными пунктирными линиями. Полосы частот, также определенные в п. 5.340 РР, обозначены сплошными линиями. Полосы частот выше 275 ГГц, определенные для радиоастрономической службы в п. 5.565 РР, заштрихованы; эти области подходят для наблюдений непрерывного спектра и спектральных линий.

Ширина линий на рисунке 4 во многих случаях больше, чем ширина частотных распределений. Радиоастрономической службе на равной первичной основе распределено менее 1,7% радиочастотного спектра ниже 11 ГГц, а пометка "все излучения запрещены" в п. 5.340 РР есть только для 0,52% спектра ниже 11 ГГц.

На рисунке 4 показано типичное распределение спектральной плотности потока мощности для пульсаров (синхротронное излучение электронов с низкими энергиями), остатков сверхновых (синхротронное излучение электронов с высокими энергиями), ионизированного газа (излучение, испускаемое при свободно-свободных переходах) и источников тепла (излучение абсолютно черного тела). Поскольку наблюдаемая плотность потока мощности астрономического объекта представляет собой комбинацию его собственной светимости и расстояния до источника, ось Y на рисунке 4 задана в относительном логарифмическом масштабе. Спектр от того или иного астрономического источника может также быть представлен линейной комбинацией спектров различных процессов излучения от событий различного масштаба. Измерение формы наблюдаемого спектра позволяет астрономам получить соответствующие физические параметры объекта. Спектральное распределение плотности потока мощности, показанное на рисунке 4, охватывает четыре порядка величины, например от -290 до -250 дБ(Вт м⁻² Гц⁻¹). Высокая чувствительность радиоастрономических приемников позволяет обнаруживать очень слабые астрономические объекты на уровне микроянских, где 1 Ян равен 10^{-26} Вт м⁻² Гц⁻¹.
