

# Стандарты беспроводных сетей

- *Стандарты* (и соответствующие рабочие группы IEEE802) :
  - 802.11 WLAN
  - 802.15 WPAN
  - 802.16 WMAN
  - 802.22 WRAN

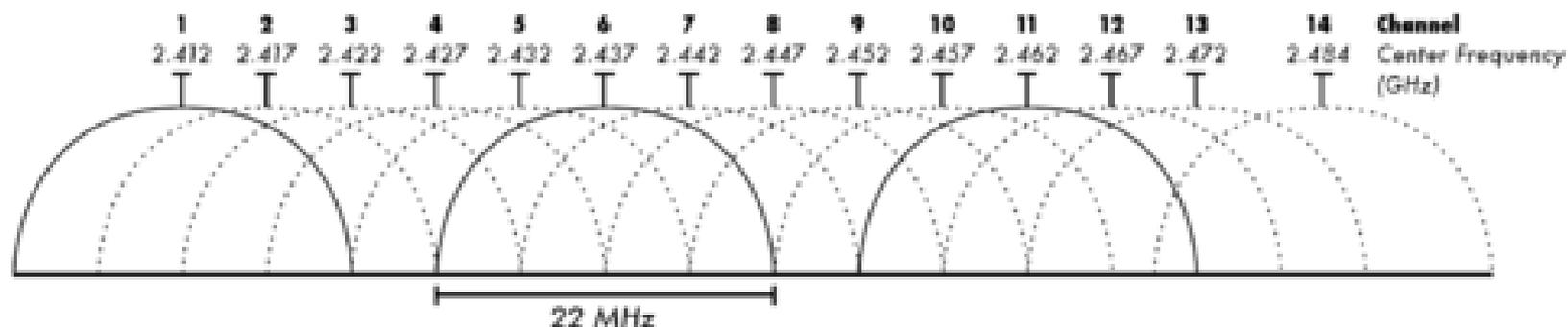
# Стандарты беспроводных сетей

Технология	Стандарт	Масштаб	Пропускная способность	Радиус действия	Диапазоны, полосы
Wi-Fi	802.11a	WLAN	до 54 Мбит/с	до 100 метров	5,0 ГГц
Wi-Fi	802.11b	WLAN	до 11 Мбит/с	до 100 метров	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11g	WLAN	до 108 Мбит/с	до 100 метров	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11n	WLAN	до 300 Мбит/с (в перспективе до 450, а затем до 600 Мбит/с)	до 100 метров	2,4 — 2,5 или 5,0 ГГц
WiMax	802.16d	WMAN	до 75 Мбит/с	6–10 км	1,5–11 ГГц
WiMax	802.16e	Mobile WMAN	до 30 Мбит/с	1–5 км	2–6 ГГц
WiMax	802.16m	WMAN, Mobile WMAN	до 1 Гбит/с (WMAN), до 100 Мбит/с (Mobile WMAN)	в разработке	в разработке
Bluetooth v. 1.1	802.15.1	WPAN	до 1 Мбит/с	до 10 метров	2,4 ГГц
Bluetooth v. 1.3	802.15.3	WPAN	от 11 до 55 Мбит/с	до 100 метров	2,4 ГГц
UWB	802.15.3a	WPAN	110–480 Мбит/с	до 10 метров	7,5 ГГц
ZigBee	802.15.4	WPAN	от 20 до 250 Кбит/с	10 метров	2,4 ГГц (16 каналов), 915 МГц (10 каналов), 868 МГц (один канал)
WRAN	802.22	WRAN	Nx19 Мбит/с	30 км	ТВ полосы 6-8 МГц
Инфракрасный порт	IrDa	WPAN	115,2 Кбит/с	от 5 до 50 сантиметров, односторонняя связь - до 10 метров	

# Стандарты группы IEEE 802.11 (WLAN)

- работа в нелицензируемых (в США) частотных диапазонах 2,4-2,4835 (ISM-диапазон); 5,15-5,35 и 5,725—5,825 ГГц (UNII-диапазоны). Полосы 20МГц. В России требуется оформление.
- 802.11b (2,4 ГГц, 11 Мбит/с), на физическом уровне DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
- 802.11a(5ГГц, 54 Мбит/с), на физическом уровне OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
- 802.11g (2,4ГГц, 54 Мбит/с), на физическом уровне метод OFDM
- 802.11n (2,4ГГц, 5 ГГц, до 600 Мбит/с), MIMO максимум 4x4:4
- <https://mentor.ieee.org/802.11/documents>

# 2.4ГГц диапазон 802.11

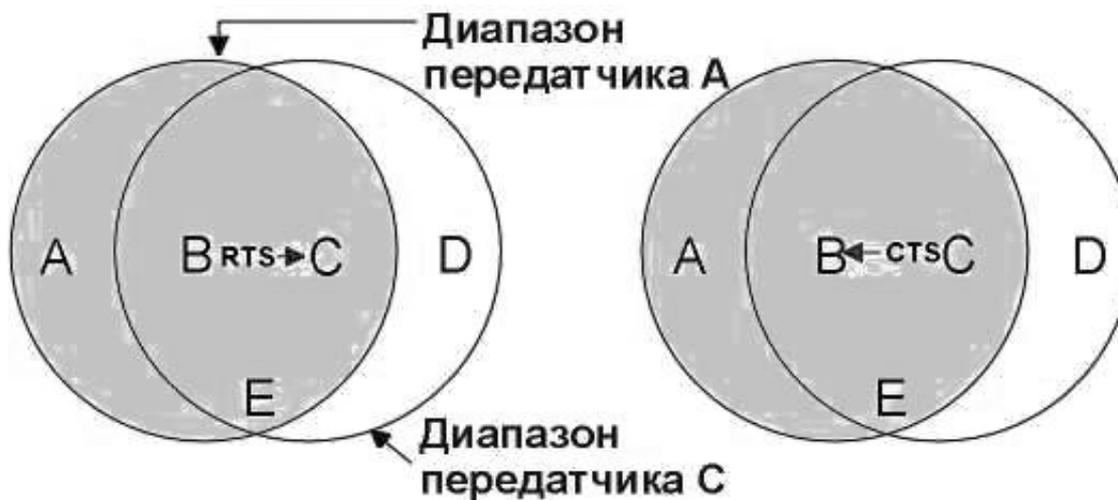


- Диапазон 5ГГц содержит значительно больше (12+12+) каналов
- 802.11b,g 12-14 каналов по 22МГц
- 802.11n может использовать 40МГц каналы в 2 и 5ГГц диапазонах

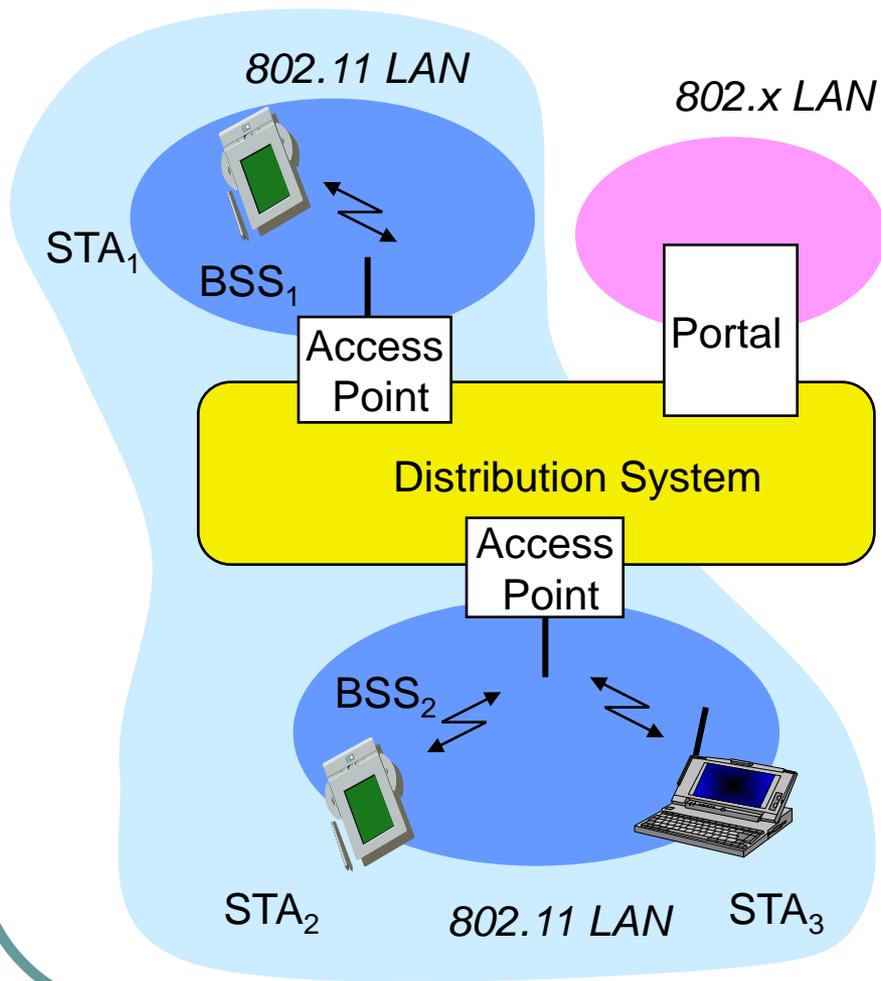
# Протоколы беспроводных сетей

## MACA MACAW

- Основой для серии стандартов для беспроводных сетей IEEE 802.11 послужил протокол MACA (Multiple Access with Collision Avoidance) 1990
- CSMA/CA реализуется через т.н. «распределенную функцию координации» - DCF (Distributed Coordination Function)
- Дополнительно могут использоваться методы MAC: точечная функция координации PCF (Point Coordination Function); кадры готовности RTS/CTS
- Контроль несущей осуществляется с помощью двух методов: проверки уровня принимаемого сигнала и виртуальной функции контроля несущей, вектора распределения сети NAV (Network Allocation Vector)

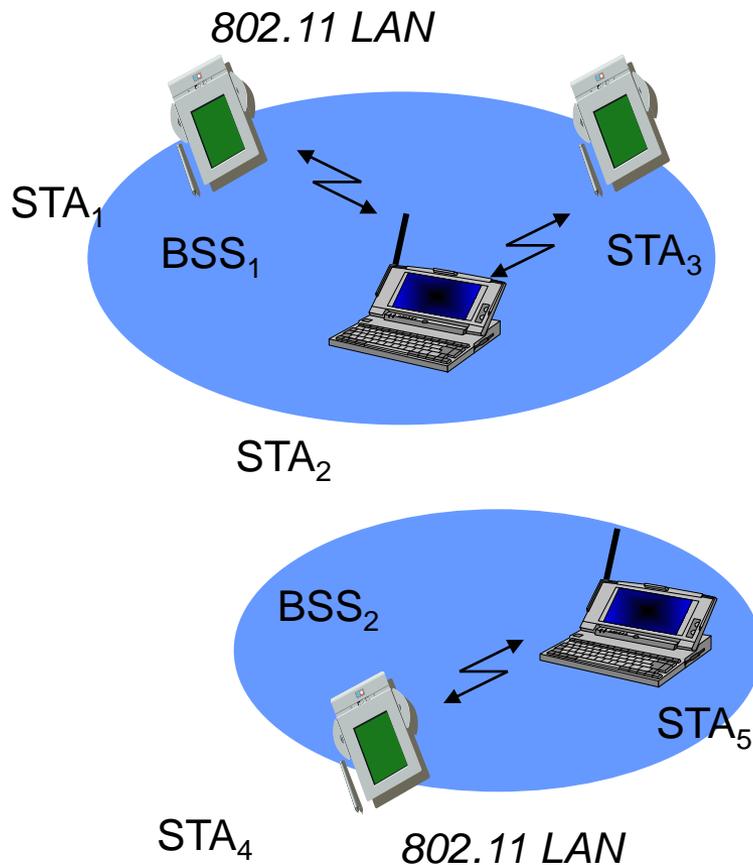


# 802.11 – Архитектура «инфраструктурной» сети



- Station (STA)
  - терминал с доступом к среде и точке доступа (Access Point)
- Basic Service Set (BSS) или ESS
  - группа станций, использующая один частотный диапазон, сота.
- Access Point
  - станция связанная с LAN и с распределительной системой. Базовая станция.
- Portal
  - мост в другую беспроводную сеть
- Distribution System
  - коммуникационная сеть, интегрирующая все средства в одну логическую сеть

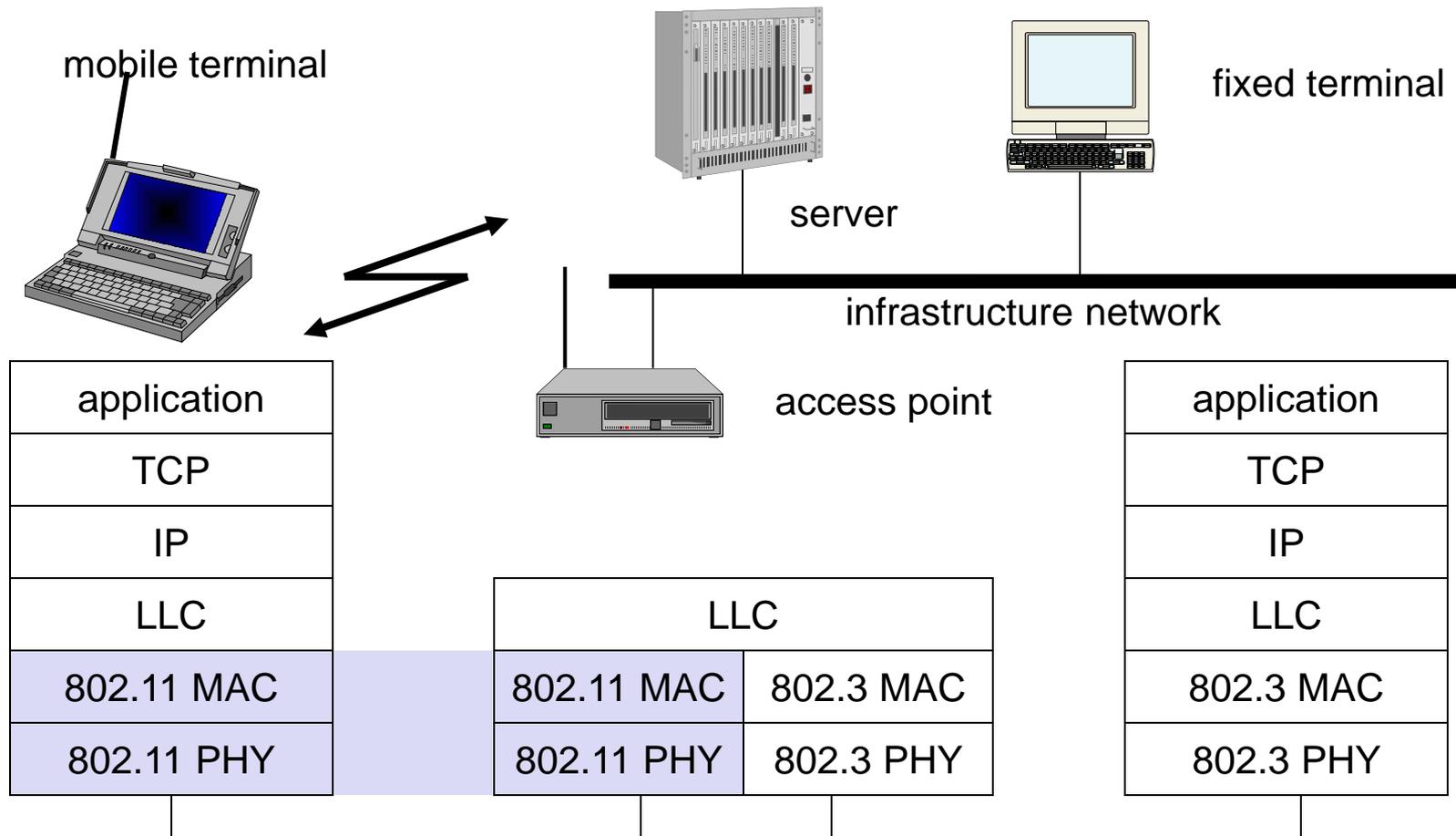
# 802.11 - Архитектура «ad-hoc» сети



● Прямое соединение в непосредственной близости:

- Station (STA)
  - терминал с доступом к среде и точке доступа (Access Point)
- Basic Service Set (BSS) или IBSS
  - группа станций, использующая один частотный диапазон

# Взаимодействие уровней в IEEE802.11



# 802.11 PHY

- метод частотных скачков, FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum (исходный для 802.11 способ)
  - 79 каналов по 1 МГц
  - FSK - Frequency Shift Keying 2-уровневая (1Мб/с) и 4-уровневая (2Мб/с)
- метод прямой последовательности, DSSS Direct Sequence Spread Spectrum
  - PSK - Frequency Shift Keying 2-уровневая (1Мб/с) и 4-уровневая (2Мб/с)
  - 11-ти битная последовательность Баркера
  - 14 частично перекрывающихся каналов
- Инфракрасный диапазон
  - ненаправленный (diffuse IR) сигнал
  - 1 и 2 Мб/с
  - 10м

См. также [http://www.cs.vsu.ru/~kas/doc/infonets/infonets08\\_2.pdf](http://www.cs.vsu.ru/~kas/doc/infonets/infonets08_2.pdf)

# Беспроводные коммуникации для персональных компьютерных сетей (пикосетей)

- PAN – Personal Area Network
- Рабочая группа 802.15 IEEE
- IEEE 802.15.1, Bluetooth
- IEEE 802.15.4 + протоколы Zigbee
- IEEE 802.15.3, UWB - ultra-wideband ,  
использование сверхширокополосных  
сигналов, см.:

[http://www.cs.vsu.ru/~kas/doc/infonets/infonets08\\_3.pdf](http://www.cs.vsu.ru/~kas/doc/infonets/infonets08_3.pdf)

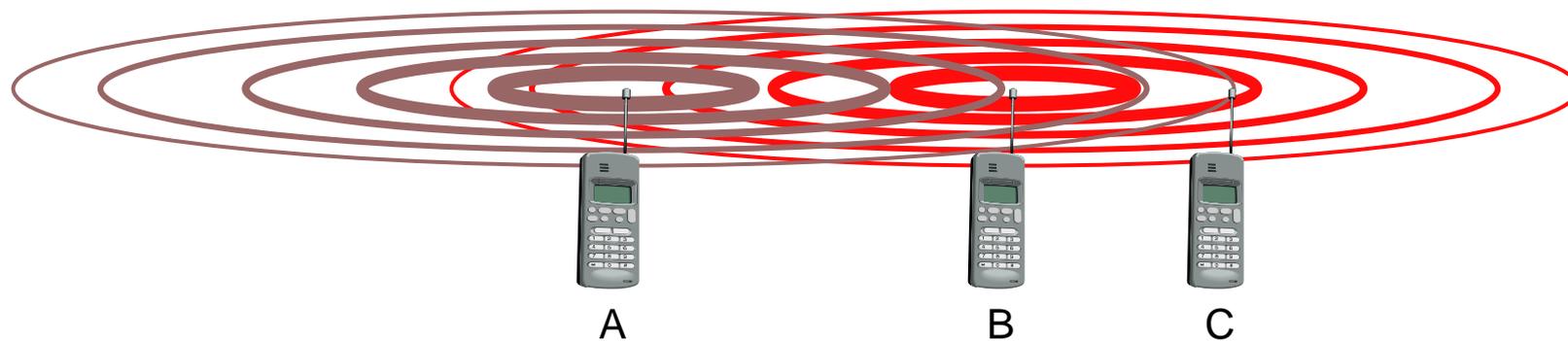
# IEEE 802.15.1, Bluetooth

- Используемые частоты: 2,4465–2,4835 ГГц - нижний (2,45 ГГц) диапазон ISM (industrial, scientific, medical), 8 каналов
- Максимальные скорости: 723,2 кбит/с в асинхронном режиме; 433,9 кбит/с в полнодуплексном
- Изначально дальность действия радио-интерфейса определялась в 10м, (в границах одной комнаты). В настоящее время спецификациями Bluetooth определена и вторая зона - 100 м (для покрытия стандартного дома или вне его).
- Используются сигналы с расширением спектра путем скачкообразной перестройки частоты (FHSS) по псевдослучайному закону со скоростью 1600 перкл./с

# MAC 802.11

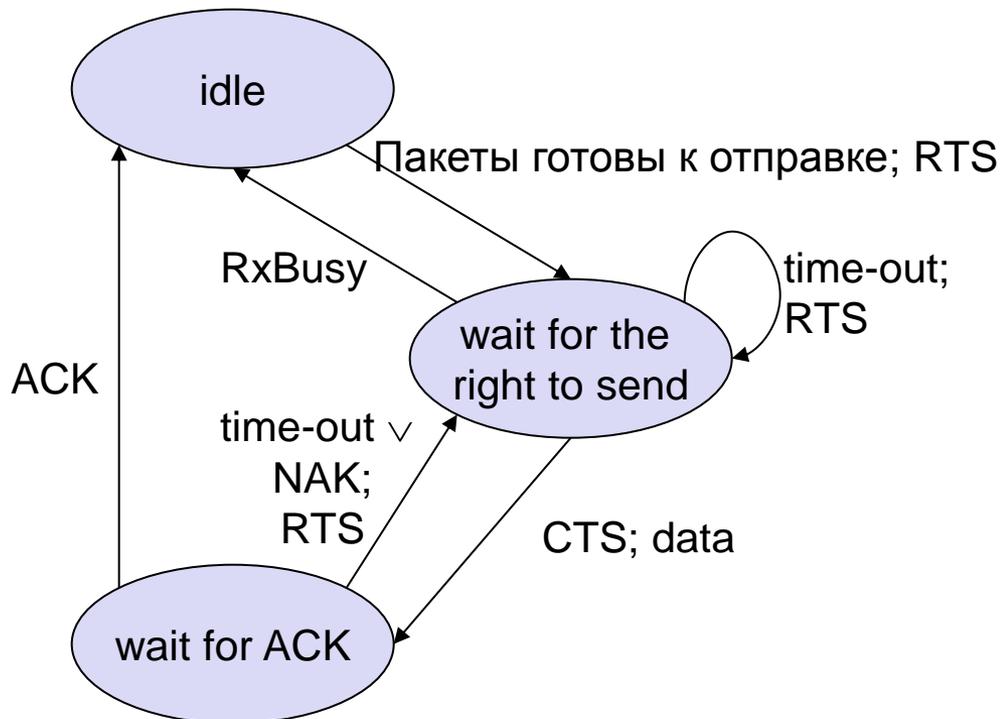
- Проблемы использования CSMA/CD в беспроводных сетях
  - затухание сигнала, пакет может быть не принят даже при отсутствии коллизии
  - CD может не работать, т.к. отправитель может не слышать коллизии
  - CS может также не работать, если терминал «скрыт», т.е. не слышит передачи

# Скрытые терминалы

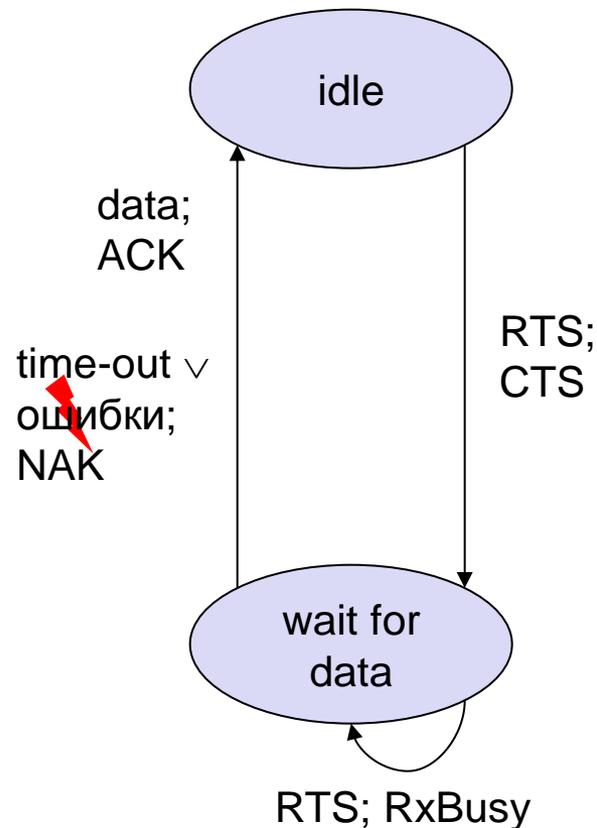


# MAC 802.11 (DFWMAC) с использованием кадров готовности

передающий узел



приемник



ACK: положительное квитирование

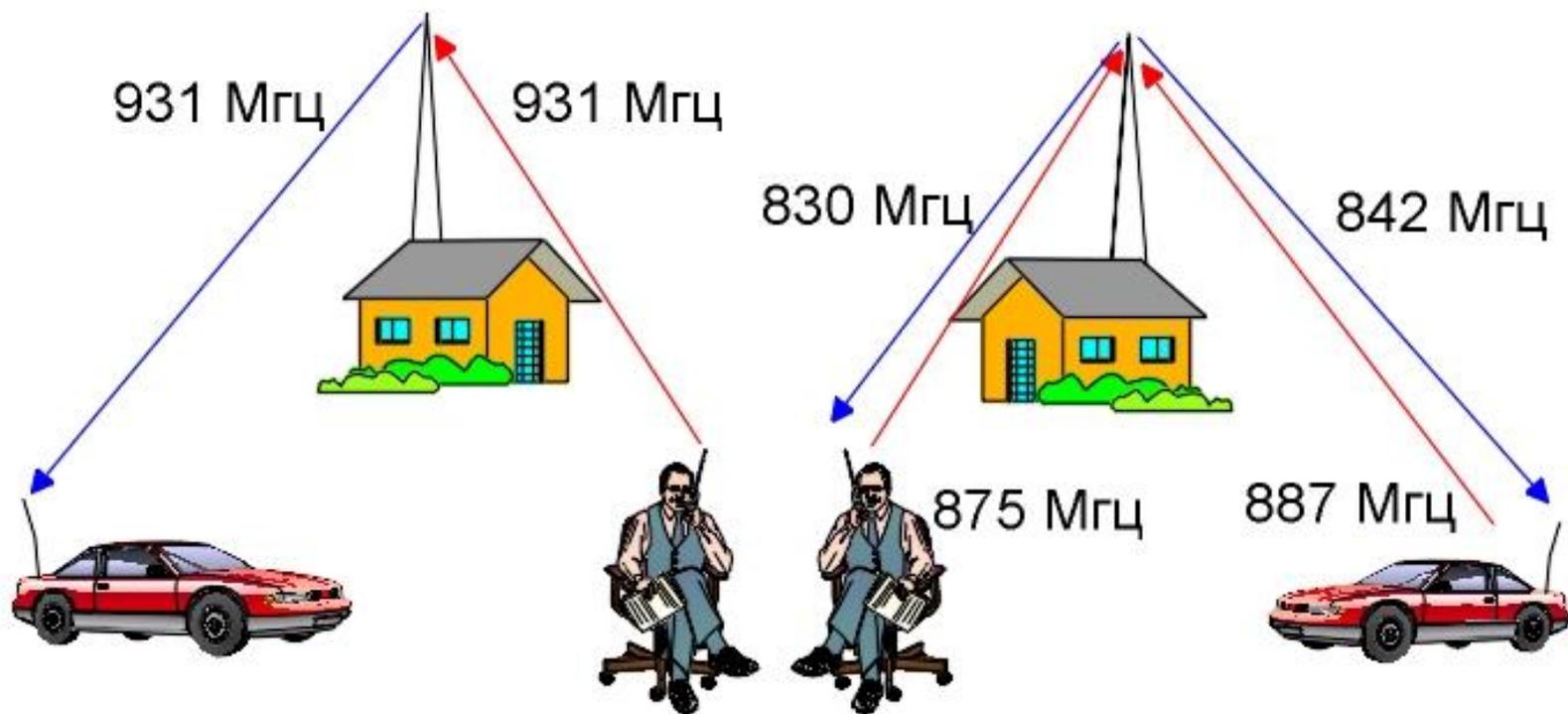
NAK: отрицательное квитирование

RxBusy: приемник занят

# WMAN 802.16, WiMAX

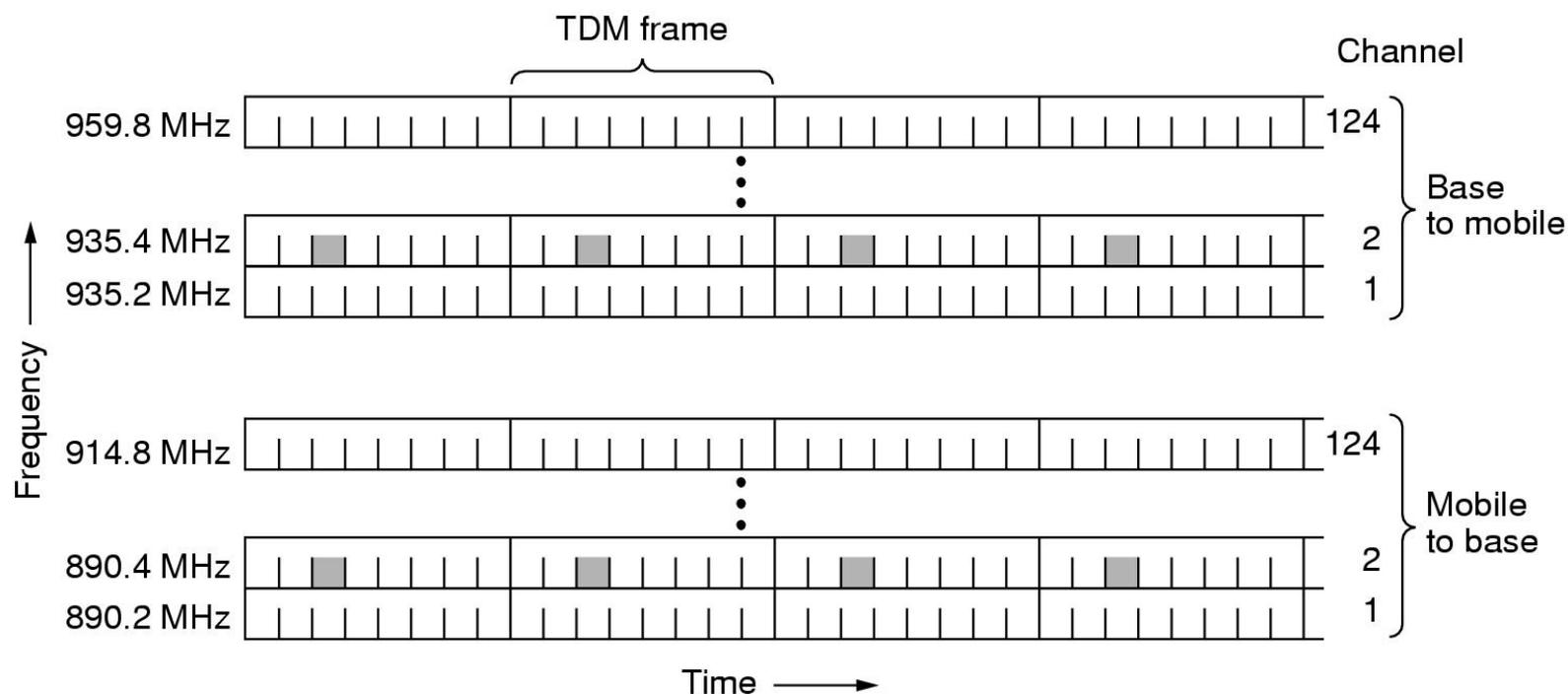
- IEEE 802.16 представляет собой рассчитанную на внедрение в городских беспроводных сетях технологию, которая обеспечивает беспроводное подключение к Интернету через точки доступа в режиме connection-oriented. Альтернатива xDSL.
- Mobile Broadband Wireless Access (MBWA) в разработке IEEE 802.20
- IEEE 802.16.1, определяет радиointерфейс для систем, работающих на частотах от 10 до 66 ГГц;
- IEEE 802.16e, 1-20ГГц (2048 QAM-64 каналов с откатом на BPSK)
- IEEE 802.16.2, регламентирует вопросы совместимости разных систем широкополосного беспроводного доступа;
- IEEE 802.16.3, определяет радиointерфейс для систем, работающих в лицензируемых диапазонах от 2 до 11 ГГц
- <http://grouper.ieee.org/groups/802/16/>

# Сотовые и пейджинговые системы СВЯЗИ



# Сотовые сети GSM

- GSM – 900 MHz
- DCS – 1800 MHz



2x124 каналов GSM, 8 временных слотов в каждом

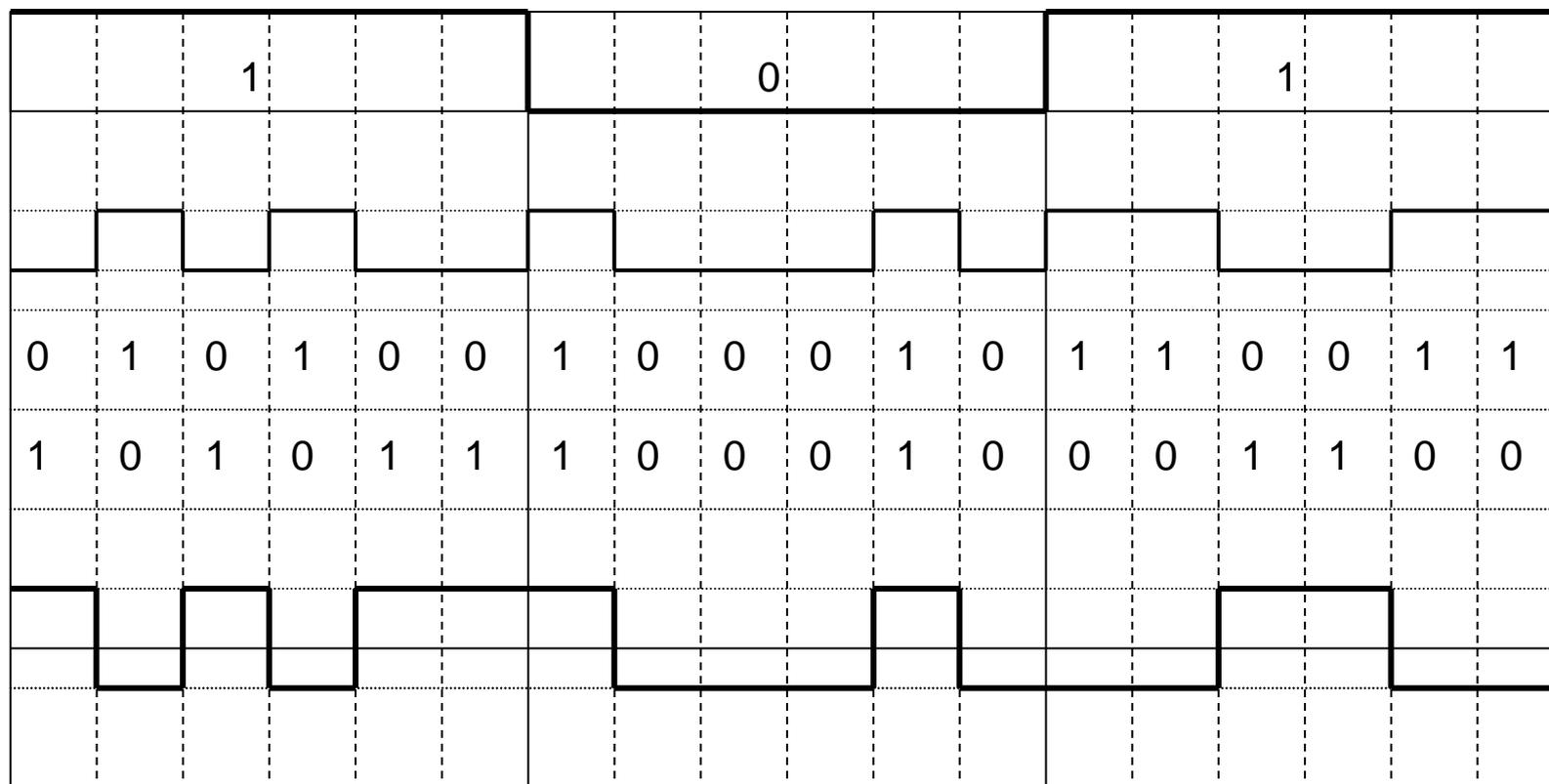
# Формат кадра GSM



# CDMA – Code Division Multiple Access

- В CDMA каждый бит-тайм делится на  $m$  коротких интервалов, называемых чипами. Обычно используется 64 или 128 чипов на бит.
- Каждой станции присваивается уникальный  $m$ -битный код (chip sequence).
- Чтобы передать 1 бит станция посылает свой чип-код. Для простоты далее будем предполагать, что  $m=8$ . Для того чтобы послать нулевой бит, посылается дополнение чип-кода по модулю один. Никакие другие кодовые последовательности не разрешены.
- Например, пусть станции 1 поставлен в соответствие чип-код 01010101, тогда при посылке логической 1 она отправляет код 01010101, а при отправке логического нуля - 10101010.
- Если имеется канал с полосой 1 МГц и 100 станций с FDM, то каждая из них получит по 10 КГц (10 кбит/с при 1 бите на Гц). При CDMA каждая станция использует весь частотный диапазон, так что будет получена скорость передачи 1 мегачип в секунду. При менее 100 чипов на бит CDMA обеспечивает большую пропускную способность, чем FDM.

# CDMA, один уровень



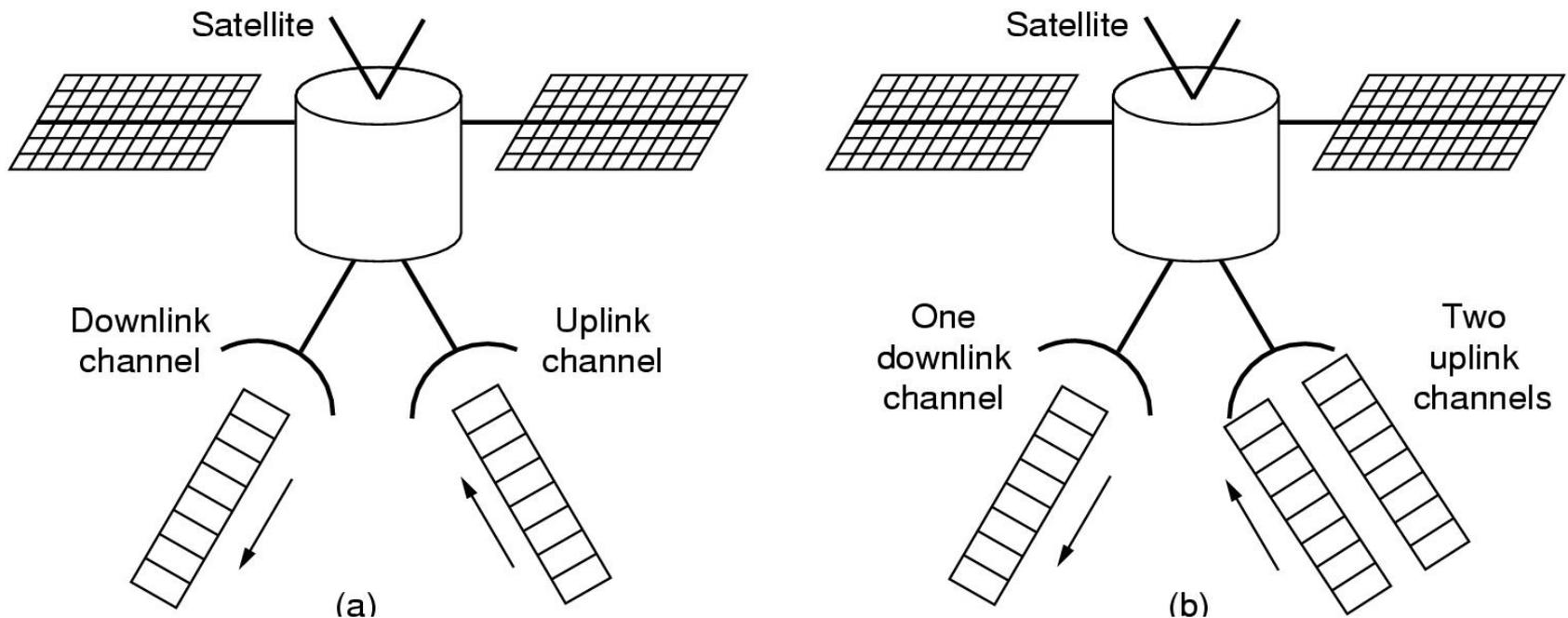
# CDMA

- Чип-коды можно представить в виде  $m$ -компонентных векторов. Чип-коды выбираются так, что все они попарно ортогональны (не любой уникальный чип-код пригоден, так, если станция 1 имеет чип-код 01010101, то станция 2 не может иметь чип-код 10101010, но чип-код 11101010 допустим).
- [http://book.itep.ru/4/41/mov\\_4181.htm](http://book.itep.ru/4/41/mov_4181.htm)
- Раздел 4.2 А. Танненбаум

# Спутниковые сети, распределение ресурсов

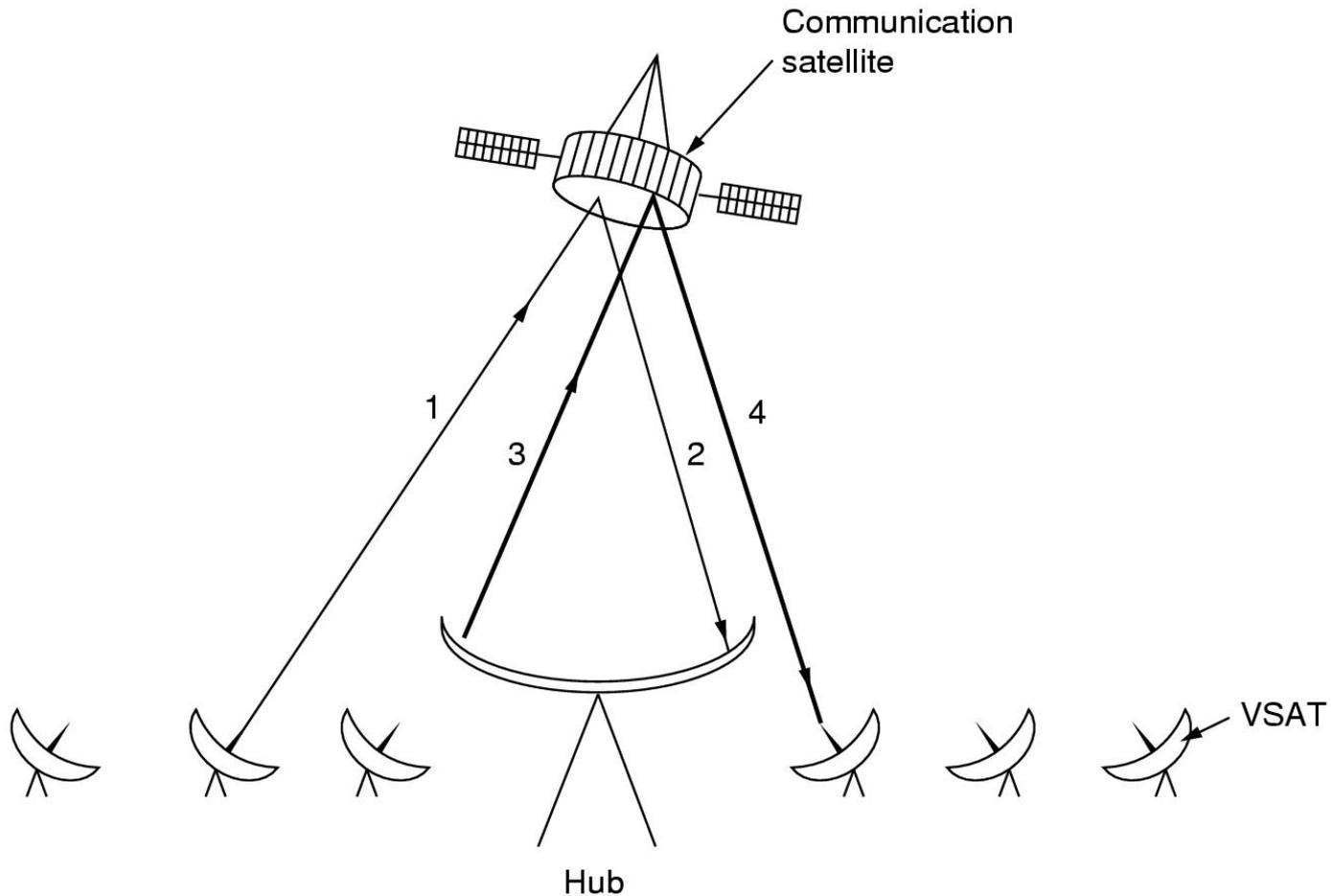
- TDM Time Division Multiplexing  
(временные слоты)
- FDM Frequency Division Multiplexing  
(частотные поддиапазоны)
- CDMA Code Division Multiple Access  
(кодированное разделение в системах с  
множественным доступом)

# Приемно-передающие тракты СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ



Одна система антенна–преобразователь–антенна называется **транспондер** (ствол). Для современных геостационарных спутников число транспондеров порядка 20-30. Кроме того, на одной позиции геостационарной орбиты может находиться несколько спутников.

# Приемно-передающие тракты СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ



# Спутниковые частотные диапазоны

<b>Диапазон</b>	<b>Нисходящие сигналы</b>	<b>Восходящие сигналы</b>	<b>Ширина полосы</b>	<b>Проблемы</b>
L	1,5 ГГц	1,6 ГГц	15 МГц	Узкая полоса; переполнен
S	1,9 ГГц	2,2 ГГц	70 МГц	Узкая полоса; переполнен
C	4,0 ГГц	6,0 ГГц	500 МГц	Наземная интерференция
Ku	11 ГГц	14 ГГц	500 МГц	Дождь
Ka	20 ГГц	30 ГГц	3500 МГц	Дождь, стоимость оборудования

# Затухание в атмосфере без учета дождя на линии спутник-Земля

Угол места	Затухание в идеальной атмосфере, дБ			Затухание в атмосфере, с учетом паров воды 5 г/м <sup>3</sup> , дБ		
	Диапазон (Название, средняя частота диапазона ГГц)					
	С, 4	Ку, 11-12	Ка, 18	С, 4	Ку, 11-12	Ка, 18
0	1,54	2,3	8,0	2,0	3,3	9,7
5	0,4	0,7	2,0	0,7	1,1	2,8
10	0,2	0,38	1,0	0,5	0,7	1,2
15	0,15	0,28	0,75	0,2	0,35	1,0
20	0,1	0,2	0,6	0,12	0,25	0,7
25	0,05	0,15	0,48	0,1	0,21	0,6
30	-	0,08	0,37	0,08	0,13	0,35
45	-	0,05	0,25	0,07	0,11	0,3

Здесь и далее использованы материалы журнала «Спутниковая связь», Изд-во ООО Гротек.

# Шумы атмосферы без учета дождя (Татм, К)

Угол места	Идеальная атмосфера, К			Атмосфера с учетом паров воды 5 г/м <sup>3</sup> , К		
	Диапазон					
	С	Ки	Ка	С	Ки	Ка
0	78	107	234	96	138	256
5	23	39	96	39	58	124
10	12	22	53	28	39	63
15	9	16	41	12	20	53
20	6	12	34	7	15	39
25	3	9	27	6	13	34
30	-	5	23	5	8	20
45	-	3	15	4	7	17

Примечание. При определении Татм значение термодинамической температуры на территории СНГ принято равным 260 К.

# Влияние погодных условий на BER при передаче данных

Рекомендации ITU (сокращенные данные) для спутниковых каналов Intelsat и Eutelsat:

Вероятность ошибки на бит, более	Intelsat (SuperIBS) Eutelsat (HighGradeSMS)		Intelsat (BasisIBS), Eutelsat (StandartSMS)	
	P <sub>M</sub> %	P <sub>T</sub> %	P <sub>M</sub> , %	P <sub>T</sub> %
10 <sup>-7</sup>	10	4	-	-
10 <sup>-6</sup>	2	0,64	3	1
10 <sup>-3</sup>	0,2	0,04	-	-

Примечание 1. Вероятность ошибки 10<sup>-8</sup> гарантируется только в ясную погоду.

Примечание 2. P<sub>M</sub> и P<sub>T</sub> – отношения наблюдаемой продолжительности дождей заданной интенсивности к периодам в 1 месяц и один год.

# Распределение емкости КГ спутников связи и вещания

Диапазон частот	В мире			В России		
	1998	2001	2004	1998	2001	2004
C	40	35	30	95	80	50
Ku	59	64	53	5	20	50
Ka	1	1	17	-	-	?

Первые в СССР геостационарные спутники связи и вещания  
и современные им зарубежные спутники

Параметры	Радуга	Горизонт	Intelsat-4	Intelsat-4A
Срок службы, лет	3	3	5	7
Рабочий диапазон	C	C/Ku/L	C	C
Число стволов	6	6/1/1	12	24

# Действующие спутники "Экспресс", "Горизонт" и "Ямал"

Название КА	Точка стояния	Дата запуска	Принадлежность	Примечание
Горизонт-37	14° з.д.	15.07.1992	ФГУП КС	С-диапазон, 6 стволов по 34 МГц
Экспресс-А, № 3 (Экспресс-3А)	11°з.д.	23.06.2000	ФГУП КС	С-диапазон, 11 стволов по 36 МГц, 1 ствол 40 МГц; Ки-диапазон, 5 стволов по 36 МГц
Стационар-12 (Горизонт-43)	40° в.д.	25.01.1996	ФГУП КС	С-диапазон, 6 стволов по 34 МГц
Стационар-5 (Горизонт-44)	53° в.д.	25.05.1996	ФГУП КС	С-диапазон, 6 стволов по 34 МГц
Экспресс-А, № 2 (Экспресс-бА)	80° в.д.	12.03.2000	ФГУП КС	С-диапазон, 11 стволов по 36 МГц, 1 ствол 40 МГц; Ки-диапазон, 5 стволов по 36 МГц
Ямал-100	90° в.д.	06.09.1999	ОАО "Газком"	С-диапазон, 10 стволов по 36 МГц
Стационар-6 (Горизонт-40)	96,5° в.д.	29.10.1993	ФГУП КС	С-диапазон, 6 стволов по 34 МГц
Экран-М, №18	99° в.д.	07.04.2001	ФГУП КС	1 активный ствол, 770 МГц
Экспресс-9	103°в.д.	26.09.1996	ФГУП КС	С-диапазон, 10 стволов по 34 МГц
Стационар-7 (Горизонт-36)	140° в.д.	02.04.1992	ФГУП КС	С-диапазон, 6 стволов по 34 МГц
Стационар-16 (Горизонт-45)	145° в.д.	07.06.2000	ФГУП КС	С-диапазон, 6 стволов по 34 МГц

по состоянию на октябрь 2001 г.

# Сравнительные данные зарубежных и отечественных спутников

Параметр	Intelsat-7	Eutelsat-W2, Eutelsat -W3	Intelsat-9	Экспресс-AM (80° в.д.)
Год запуска первого спутника серии	1993	1998	2001	2003
Срок службы, лет	10,9	12	13	12
Масса спутника (сухая), кг	1470	1500*	1700*	Н.Д.
Мощность солнечных батарей в конце срока службы, Вт	3851	5840	7000*	6000
Масса полезной нагрузки, кг	442	260 (без антенн)	560*	570
Потребление полезной нагрузки, Вт	2670	4100	5300*	4200
Число активных стволов: С-диапазон	26	-	44	10
Ки-диапазон	10	24	12	14
ЭИИМ в основной рабочей зоне, дБВт: С-диапазон	35-40	-	35-45	35-42
Ки-диапазон	45-49	47-53	47-53	45
Эквивалентная рабочая полоса частот, МГц: С-диапазон	1512	-	2596	436
Ки-диапазон	720	1692	792	756
Примечание * Приблизительные данные.				

# Спутники связи и вещания организации Eutelsat (на 06.2001)

Спутник	Точка стояния	Дата запуска	РН	Окончание работы
Eutelsat-2F2	12,5° з.д.	15.01.91	Ariane-44L	2001
Telecom 2A	8° з.д.	16.12.91	Ariane44LP	2001
Telecom 2D	8° з.д.	08.08.96	Ariane-4	2006
Eutelsat-W3	7° в.д.	12.04.99	Atlas-2AS	2011
Eutelsat-W1R	10° в.д.	06.09.00	Ariane-4	2012
Hot Bird-1	13° в.д.	28.03.95	Ariane-44LP	2006
Hot Bird-2	13° в.д.	21.11.96	Atlas-2A	2011
Hot Bird-3	13° в.д.	02.09.97	Ariane-4	2011
Hot Bird-4	13° в.д.	27.02.98	Ariane-4	2012
Hot Bird-5	13° в.д.	09.10.98	Atlas-2A	2012
Eutelsat-W2	16° в.д.	05.10.98	Ariane-4	2010
Eutelsat-2F3	21,5° в.д.	07.12.91	Atlas-2AS	2001
DFS-2	25,5° в.д.	24.07.90	Ariane-44LP	2000
EuroBird-1	28,5° в.д.	08.03.01	Ariane	2015
Eutelsat-2F4	28,5° в.д.	09.07.92	Н.Д.	2002
Eutelsat-1F4	33° в.д.	16.09.87	Ariane-3	* *
Eutelsat-W4	36° в.д.	24.05.00	Atlas-3	2012
SeSat	36° в.д.	18.04.00	Протон	2010

по состоянию на 2 кв. 2001 г.

# Спутники связи и вещания организации Intelsat (на 07.2001)

Спутник	Точка стояния	Дата запуска	РН	Год окончания работы
Intelsat-511	29,5° з.д.	29.06.85	Atlas-G	3 кв. 2002
Intelsat-601	34,5° з.д.	29.10.91	Ariane-44L	4 кв. 2004
Intelsat-602	62° в.д.	27.10.89	Ariane-44L	4 кв. 2001
Intelsat-603	24,5° з.д.	14.03.90	Titan-3	2кв. 2002
Intelsat-604	60° в.д.	23.06.90	Titan-3	4 кв. 2002
Intelsat-605	27,5° з.д.	14.08.91	Ariane-44L	4 кв. 2005
Intelsat-701	180° в.д.	22.10.93	Ariane-44L	4кв. 2010
Intelsat-702	176° в.д.	17.06.94	Ariane-44L	4кв. 2011
Intelsat-704	66° в.д.	10.11.95	Atlas-2AS	1 кв.2010
Intelsat-705	18° з.д.	22.03.95	Atlas-2AS	4 кв. 2009
Intelsat-706	53° з.д.	17.05.95	Ariane-44P	4кв. 2011
Intelsat-707	1° з.д.	14.03.96	Ariane-44P	2кв. 2012
Intelsat-709	50° з.д.	15.06.96	Ariane-44P	2кв. 2012
Intelsat-801	31,5° з.д.	28.02.97	Ariane-44P	1 кв.2013
Intelsat-802	174° в.д.	25.06.97	Ariane-44P	2кв. 2013
Intelsat-804	64° в.д.	20.12.97	Ariane-42L	1 кв.2013
Intelsat-805	55,5° з.д.	18.06.98	Atlas-2AS	2014
Intelsat-901	180° з.д.	09.06.01	Ariane-4	2016
Intelsat-902	62° в.д.	30.08.01	Ariane-44L	2016
APR-1	83° в.д.	03.04.99	Ariane-42P	2010
APR-2	110,5° в.д.	18.07.98	Long March	2010

# Параметры полезной нагрузки спутников Eutelsat и SeSat

Параметры	Eutelsat-2	Eutelsat-W	SeSat
Рабочий диапазон частот, ГГц: - ИСЗ-Земля	10,95-11,2	10,95-11,7	10,95-11,2
	11,45-11,7	-	11,45-11,7
	12,5-12,75	12,5-12,75	12,5-12,75
- Земля-ИСЗ	14-14,5	13-13,25 13,75-14	13,75-14
Число стволов	16	24	18
Полоса частот ствола, МГц	36/72*	36/72*	72
Мощность передатчика, Вт	50	90	95
Максимальный ЭКИМ, дБВт: - широкий луч	49 (Widebiam)	49 (фиксиров.)	48 (фиксиров.)
	- узкий луч	53 (Superbiam)	53 (перенацелив.)
Уровень ОД в максимуме, дБ/К: - широкий луч	Н.Д.	Н.Д.	+4 (фиксиров.)
	- узкий луч	Н.Д.	+6 (перенацелив.)
Поляризация	линейная	линейная	линейная
Частоты маяка (телеметрия), МГц	Н.Д.	Н.Д.	11450,35
			12501
			11199,5

Примечания: \* для серии Eutelsat-2 - 9 стволов по 72 МГц, в Eutelsat-W4 все стволы по 33 МГц, в Eutelsat-W3 и W2 21 ствол по 36 МГц и 13 стволов по 72 МГц, Eutelsat-W1R все стволы по 72 МГц.

# Стоимость изготовления и запуска спутников Eutelsat

Контракт	Стоимость млн дол.
Изготовление спутника - серии Eutelsat-2	50
Изготовление спутника - серии Eutelsat-W	115
Запуск спутника серии Eutelsat-2	65
Создание центров управления и мониторинга для Eutelsat-2	10

# Рабочие зоны спутников

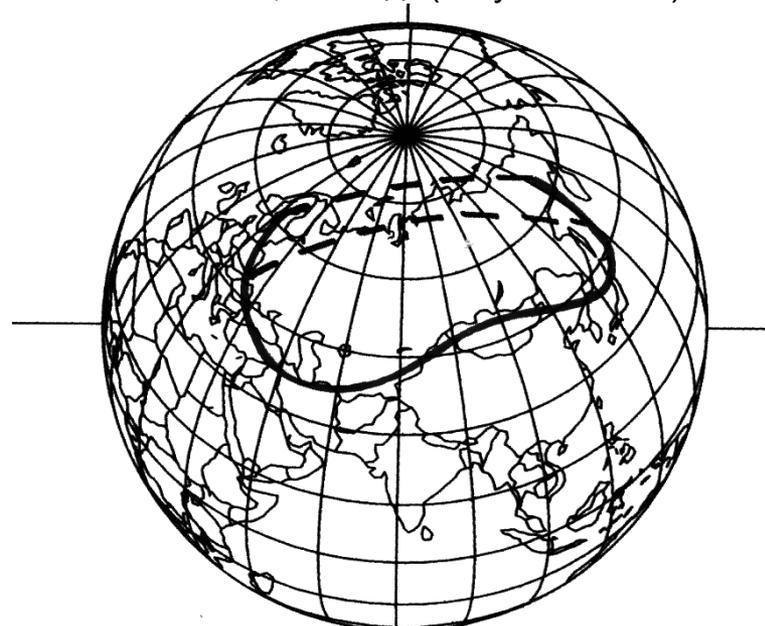
Eutelsat-W2, 16° в.д.



ЭИИМ max = 52 дБВт  
(G/T) max = +6 дБВт

Контур внешний: 45 дБВт  
внутренний 48 дБВт

Ямал-200, 90° в.д. (запуск 2003 г.)



Ku-диапазон  
ЭИИМ max = 49 дБВт

Контур 47 дБВт  
(G/T) max = +3 дБ/К

# Европейский стандарт DVB (Digital Video Broadcasting)

- Стандарт определяет
  - структуру передаваемого потока данных
  - систему канального кодирования и модуляции для мультипрограммных служб телевидения
    - DVB-T, T2 (terrestrial)
    - DVB-S, S2 (satellite)
    - DVB-C, C2 (cable)
    - DVB-SH (sat-handheld)
    - DVB-IPDC (вещание через IP)

