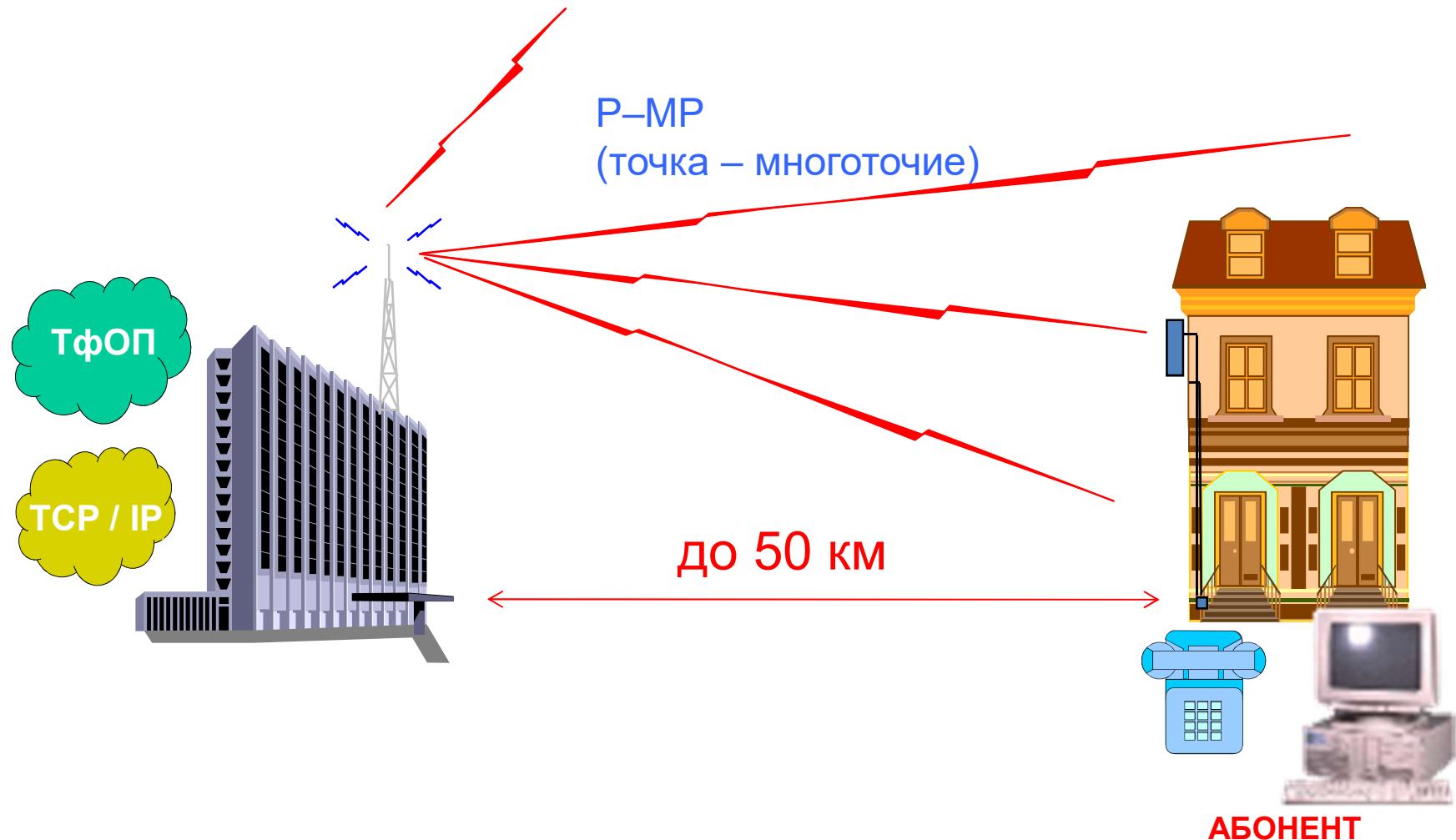




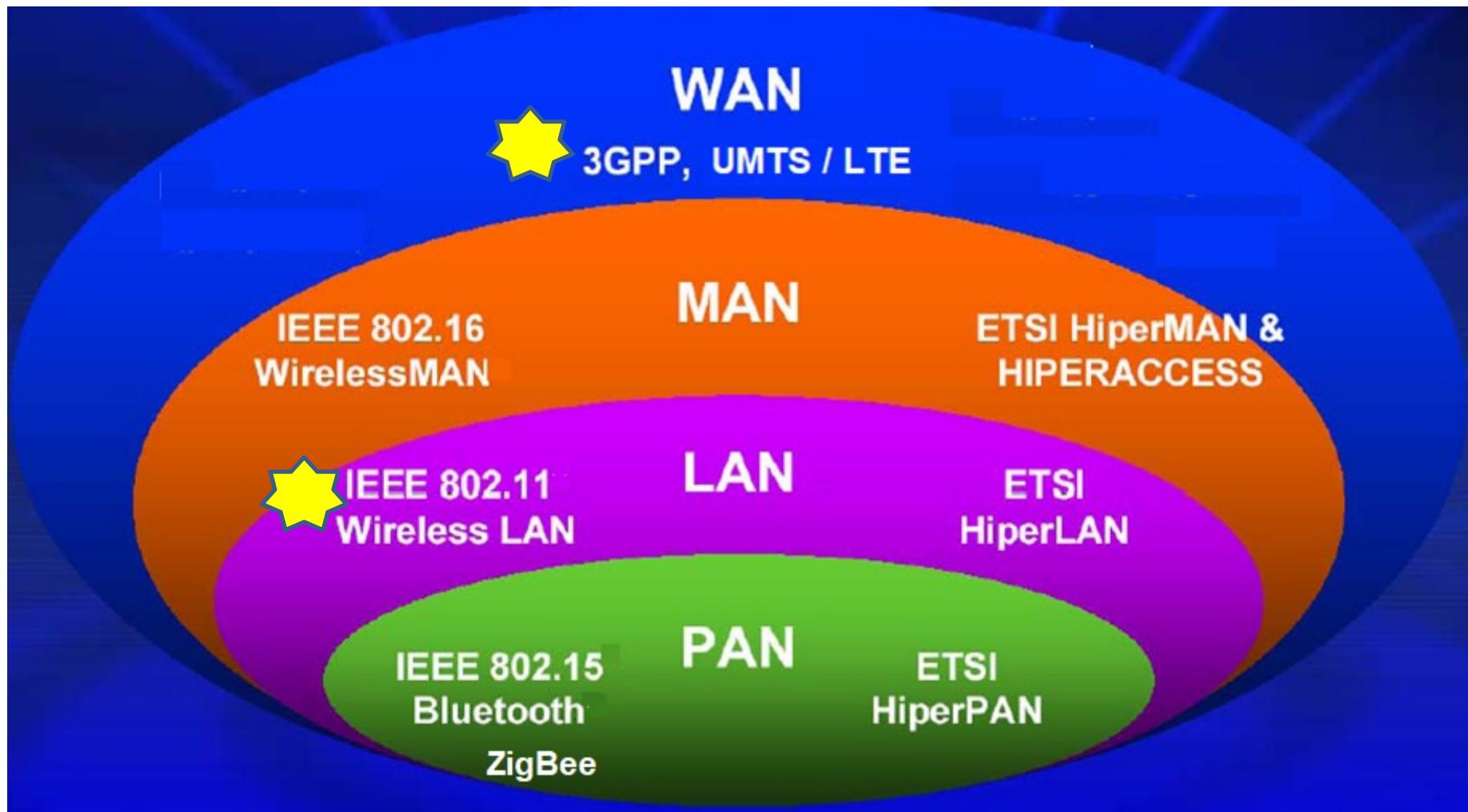
$$\text{БД} = \text{РД} + \text{IR} + \text{VLC} + \dots$$



## Абонентский радио доступ



## Радио доступ к компьютерам



PAN – Personal Area Network – сети персонального доступа (до 10 метров)

LAN – Local Area Network – сети локального доступа (до 300 ... 500 м)

MAN – Metropolitan Area Network – сети городского масштаба (до 20 ... 50 км)

WAN – Wide (World) Area Network – глобальные сети

## Тенденции трафика абонентов радиодоступа (сотовой связи)

Стандарт	Число абонентов, млн.
Всего	7480
GSM/UMTS/LTE	7010
UMTS (WCDMA)	2300
CDMA2000	470
LTE	1920

Статистика  
абонентов  
радиодоступа  
(сотовой связи) на  
декабрь 2016г.

## Global Mobile Data Traffic Drivers



	2016	2021
More Mobile Users	4.9 Billion	5.5 Billion
More Mobile Connections	8 Billion	12 Billion
Faster Mobile Speeds	6.8 Mbps	20.4 Mbps
More Mobile Video	60% of Traffic	78% of Traffic

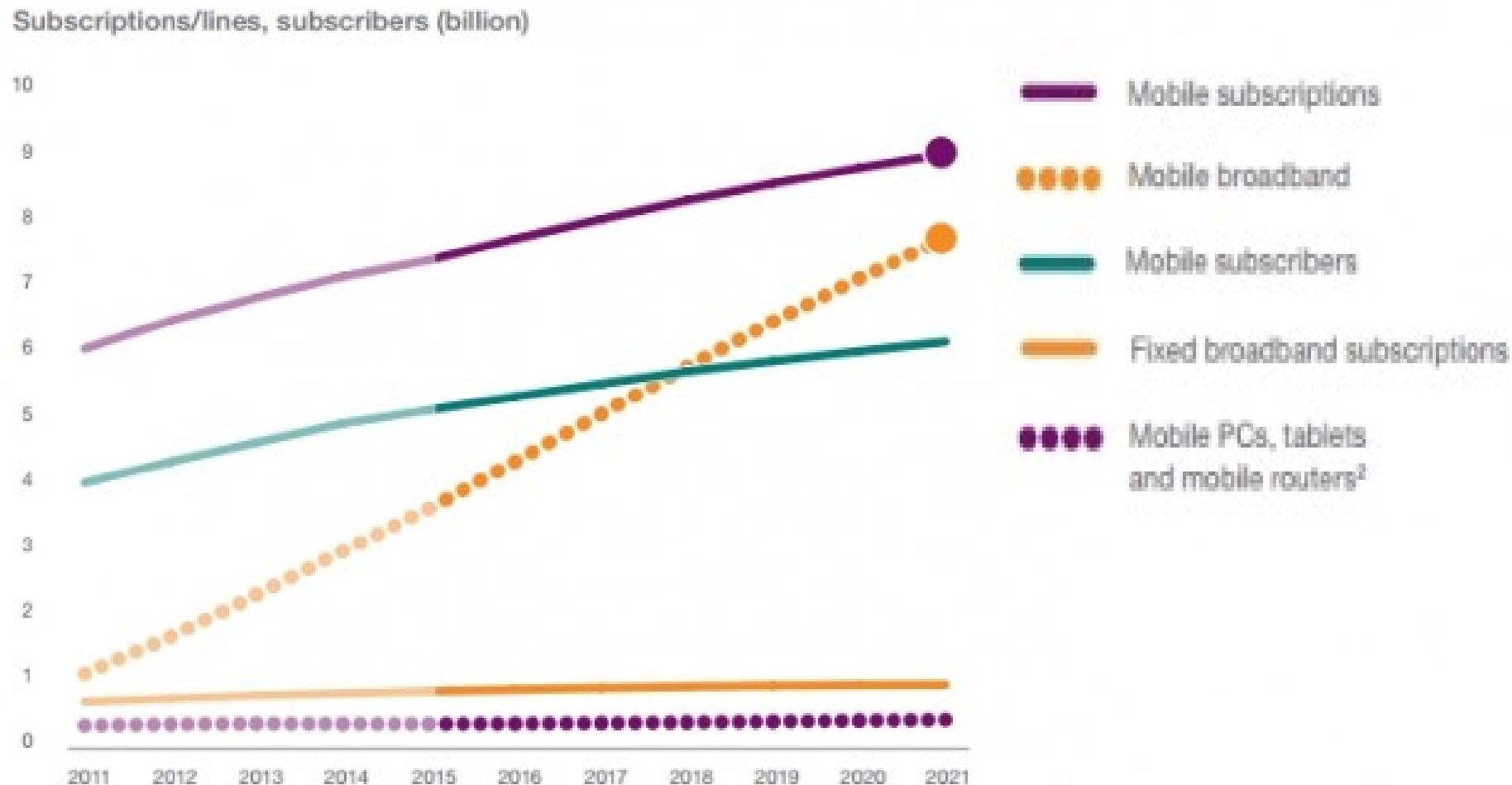
Source: Cisco VNI Global Mobile Data Traffic Forecast, 2016–2021

© 2017 Cisco and/or its affiliates. All rights reserved. Cisco Public.

## Прогноз 2021 г. – показатели мобильного трафика данных ([Cisco](#))

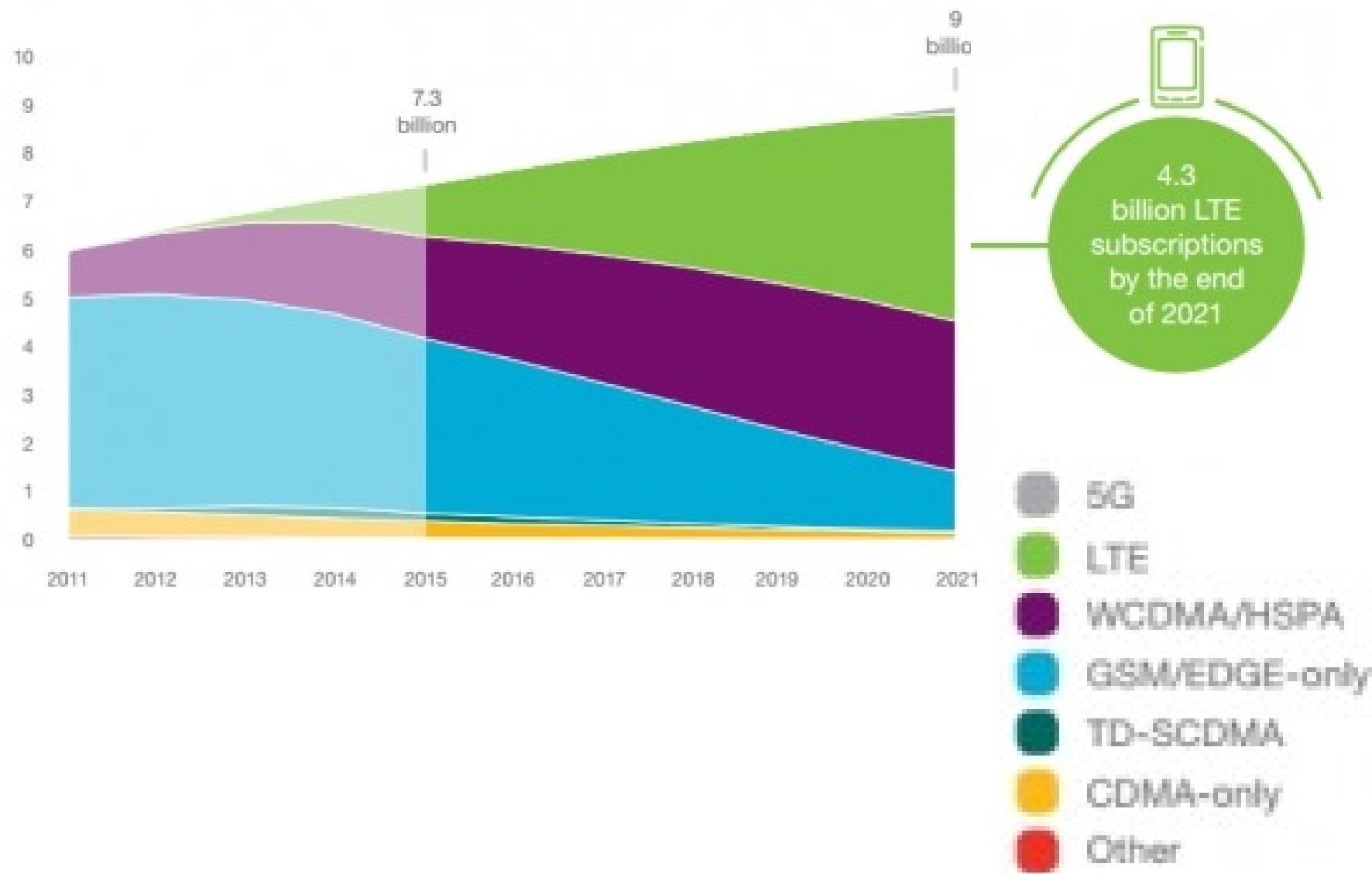
- доля мобильного трафика данных составит **20%** всего IP-трафика (в 2016 г. этот показатель составлял лишь 8%);
- на душу населения будет приходиться 1,5 мобильных устройства, около 12 млрд устройств, подключенных к мобильным сетям, включая модули межмашинной связи (показатели 2016 г. – 8 млрд устройств и 1,1 устр. на душу населения);
- скорость мобильных подключений увеличится втрое и к 2021 г. достигнет **20,4** Мбит/с (показатель 2016 г. – 6,8 Мбит/с);
- M2M-соединения будут представлять 29% (3,3 млрд) всех мобильных подключений (показатель 2016 г. – 5% (780 млн)). С распространением [IoT](#)-приложений в потребительском и бизнес-сегментах [M2M](#) станет самым быстрорастущим типом мобильного соединения;
- на долю 4G к 2021 г. будет приходиться 58% всех мобильных соединений (в 2016 г. – 26%) и 79% всего мобильного трафика передачи данных;
- общее число смартфонов достигнет 6,2 млрд и превысит половину всех устройств и подключений (показатель 2016 г. – 3,6 млрд).

## Прогнозное количество подключений и абонентов в период до 2021 года (Ericsson)



## Распределение абонентов по технологиям

Mobile subscriptions by technology (billion)



# Библиографический список

## Основная литература

1. Никитина, А. В. Сети радиодоступа четвертого поколения. Стандарт LTE: технологии и процедуры: учебное пособие / А. В. Никитина, А. Е. Рыжков - СПб. : СПбГУТ, 2012. – 87 с.
2. Рыжков, А. Е. Гетерогенные сети радиодоступа [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. Е. Рыжков, В. А. Лаврухин; рец. А. Л. Гельгор, А. Е. Кучерявый. - СПб. : СПбГУТ, 2017. – 92 с.
3. Бабков, В. Ю. Сотовые системы мобильной радиосвязи [Электронный ресурс]: учебное пособие/ В. Ю. Бабков, И. А. Цикин. - СПб.: БХВ-Петербург, 2013. - 432 с.

## Дополнительная литература

1. Сети стандарта LTE. Развитие технологий радиодоступа [Электронный ресурс]: монография / А. Е. Рыжков [и др.]; - СПб.: СПбГУТ, 2015. - 254 с. – имеется печатный аналог.
2. Бабков, В. Ю. Сотовые системы мобильной радиосвязи: учебное пособие для вузов / В. Ю. Бабков, А. И. Цикин ; рец.: М. А. Сиверс, Ю. С. Шинаков: СПбГПУ, 2011. - 426 с.
3. Многоканальные системы радиодоступа : методические указания по выполнению лабораторных работ / В. Е. Коротин [и др.] ; - СПб. : СПбГУТ, 2007. - 70 с.
4. UMTS. Стандарт сотовой связи третьего поколения / А.Н.Волков, А.Е.Рыжков, М.А.Сиверс. – СПб.: Издательство “Линк”, 2008. – 224с.

**Ресурсы  
информационно-  
телекоммуникац  
ионной сети  
«Интернет»**

Наименование ресурса	Адрес
Электронная библиотека СПбГУТ	<a href="http://lib.spbgut.ru/">http://lib.spbgut.ru/</a>
Поисковая система Google	<a href="https://www.google.com">https://www.google.com</a>
Поисковая система Академия Google	<a href="https://scholar.google.com">https://scholar.google.com</a>
ЭБС «Айбукс»	<a href="http://ibooks.ru">http://ibooks.ru</a>
ЭБС «Лань»	<a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a>
ЭБС «IPR-books»	<a href="http://www.iprbookshop.ru">http://www.iprbookshop.ru</a>
«Единое окно доступа к информационным ресурсам»	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>

# Форматы аудио и видео, передаваемых по сетям радиодоступа

Модель OSI		
Тип данных	Уровень (layer)	Функции
Данные	7. Прикладной (application)	Доступ к сетевым услугам
Поток	6. Уровень представления (presentation)	Представление и преобразование информации
Сеансы	5. Сеансовый (session)	Управление сеансом связи
Сегменты	4. Транспортный (transport)	Прямая связь между конечными пунктами и надежность
Пакеты / Дейтаграммы	3. Сетевой (network)	Маршрутизация и логическая адресация (адресация конечных точек)
Кадры, блоки	2. Канальный (data link)	Передача информации между соседними узлами. Физическая адресация.
Биты	1. Физический (physical)	Работа со средой передачи. Модуляция, кодирование информации



Международная  
организация по  
стандартизации

## Форматы аудио и видео, передаваемых по сетям радиодоступа

Для передачи в Интернете файлы фрагментируют и передают в виде **дейтаграмм**.

Дейтаграмма состоит из заголовков и поля данных. Размер поля данных составляет 46 – 1500 байт.

Дейтаграмма имеет 2 заголовка:

- уровня L3 (заголовок Интернет-протокола),
- уровня L4 (заголовок TCP или UDP протоколов)

Заголовок IP | Заголовок TCP/UDP | Поле данных

### Структура дейтаграммы

Уровень L3 обеспечивает маршрутизацию (обмен дейтаграммами) между конечными терминалами: пользователем и сервером услуг. Оба терминала на уровне L3 имеют глобальные адреса Интернета. Уровень L4 определяет позиции файла в терминале (порты), а также определяет протокол передачи. Возможны 2 варианта доставки файлов:

- UDP (User Datagram Protocol) – передача без подтверждения,
- TCP (Transmission Control Protocol) – передача с подтверждением.

Передачу видео в реальном времени ведут по протоколу UDP/IP. Чтение и запись файлов (в том числе мультимедийных), либо запись видео в промежуточном буфере идет по протоколу TCP/IP. В сетях радиодоступа не обрабатывают сообщения на уровнях, начиная с уровня L3. Фактически на уровне L3 производят сжатие заголовков дейтаграмм, а также формируют управляющие команды (сигнализацию). Обработка сообщений в сетях радиодоступа идет на уровнях L1 и L2.

Передачу телевидения с использованием радиодоступа к абонентским терминалам осуществляют путем передачи Интернет-дейтаграмм.

## Сценарии (сервисы) реализации IPTV

1. *Телевизионное IP-мультивещание*. Оператор передает несколько ТВ программ, из которых абонент осуществляет свой выбор.
2. *WEB-TV*. Передача идет на низких скоростях. Файл сбрасывают в буфер абонентской станции, а далее следует просмотр файла на требуемой скорости передачи. Так, например, передают видеоролики сайта YouTube. Сюда же относится On-line телевещание: передача низкоскоростных видеороликов со специальных сайтов.
3. *Видео по требованию (VoD – Video on Demand)*. Оператор предоставляет абоненту меню фильмов, роликов, а абонент осуществляет выбор и заказ фильма с немедленным просмотром.
4. *Near Video on Demand (nVoD)*. Абонент заранее заказывает фильм (программу) к просмотру (заказал сегодня – смотрим завтра). Заказанный фильм предварительно сбрасывают на локальный видеосервер, откуда и идет передача.
5. *Домашний кинотеатр (виртуальный кинозал)*. На локальном видеосервере оператора записано несколько кинофильмов, которые можно смотреть по определенному расписанию.
6. *Телевидение со сдвигом по времени*. Оператор записывает контент нескольких каналов; спустя определенное время их можно просматривать.
7. *Персональный видеорекодер (PVR – Personal Video Recorder)*. Абонент заранее планирует просмотр определенных передач из ТВ программы (например, спорт). Оператор организует запись этих программ, а абонент просматривает их в удобное для себя время.
8. *Видеоконференц-связь*.
9. *Передача ТВ программ посредством IP-протокола*.

## Основные стандарты, используемые в IPTV

MPEG 2 (считается устаревшим) со скоростью передачи видео 3,5 – 6 Мбит/с с передачей звукового сопровождения по стандарту MUSICAM (Masked Pattern for Adapted Universal Coding and Multiplexing), обозначаемому также как MPEG Layer II;

MPEG 4 (part 2) со скоростью передачи видео от 64 кбит/с до 2 Мбит/с при разрешении от 176x144 до 352x288 соответственно),

H.263 или [MPEG-4 Part 10](#)/AVC. Рекомендации не устанавливает ограничений на скорость передачи видеоинформации. Ограничение вносит оконечное оборудования и сети передачи данных. Максимальная возможная скорость, установленная стандартом для видеоконференций от 64 кбит/с до 4 Мбит/с для разрешения от 176x144 до 352x576 соответственно. С повышением разрешающей способности до 576x720 скорость передачи возрастает до 8 Мбит/с.

Звуковое сопровождение, а также аудио файлы передают, используя уровни I, II или III стандарта MPEG 2 со скоростями 32, 48, 56, 64, 96, 112, 192, 256, 384 и 448 кбит/с. Также можно использовать систему DRM – Digital Radio Mondiale.

Для передачи видео с пониженной скоростью применяют стандарт MPEG-4 Part 2 (MPEG-4 Visual) или стандарт H.263, предназначенный в первую очередь для видеоконференций (скорость ниже 128 кбит/с).

При переходе к телевидению высокой четкости HD:ТВЧ (разрешение 1280x920 и 1920 x1080) и далее к 4К:УВЧ (разрешение 3840x2160) требуемые скорости передачи по каналу связи возрастают до 25 Мбит/с.

## Формулируемые задачи курса

1. Определение пользовательской нагрузки в сетях радиодоступа при передаче телевидения.
2. Расчет необходимого канального ресурса сети радиодоступа для реализации требуемой нагрузки.

Сложность поставленных задач обусловлена двумя факторами:

- ✓ ограничением полосы радиоканалов
- ✓ случайными характеристиками радиоканала  
(отношением сигнал/помеха на входе приемника)

*Допустимые скорости передачи данных зависят напрямую от этого отношения: чем ниже отношение сигнал/помеха, тем меньше скорость передачи в радиоканале.*

## Ограничение полосы радиоканалов

Требования к диапазонам частот для использования в сетях радиодоступа, как к системам массового обслуживания:

- стремлением к возможности организации широкополосных каналов для увеличения информационной емкости
- ограничением дальности связи для возможности повторного использования частот

низкая-----	<i>Емкость несущей</i>	--- высокая
высокая-----	<i>Загруженность спектра</i>	--- низкая
большие -----	<i>Размеры сот</i>	----- малые
низкая-----	<i>Стоимость технологии</i>	--- высокая
300 МГц		66 ГГц

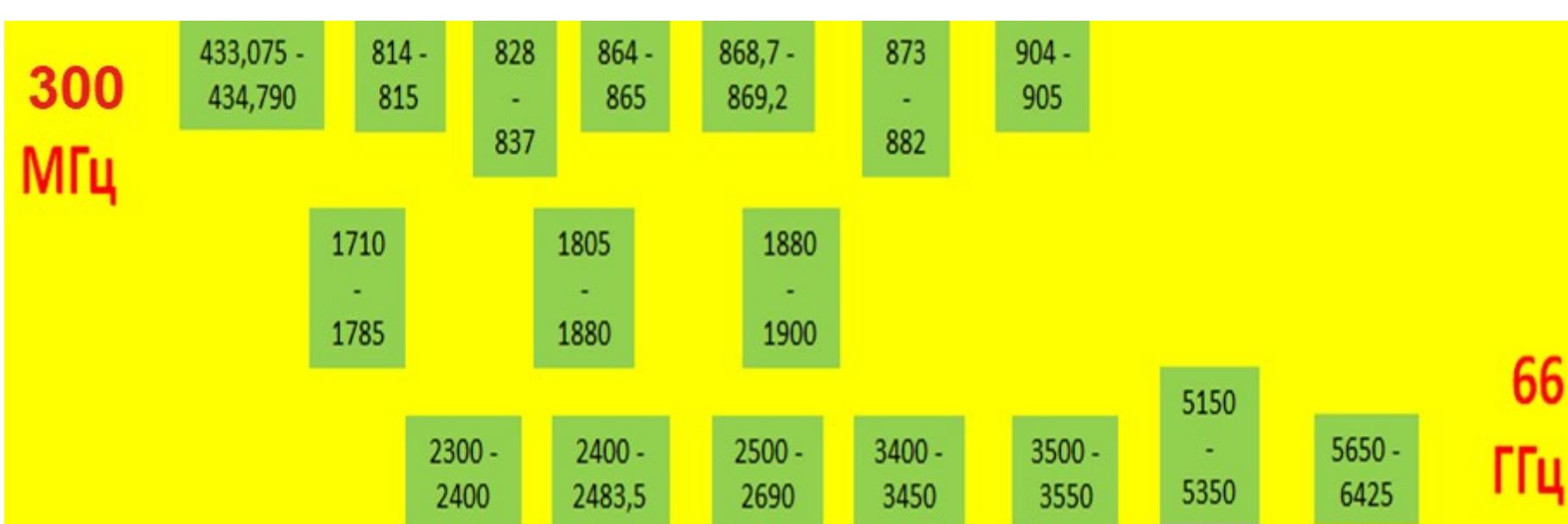
## Системы, существующие с сетями радиодоступа

300 МГц	1 ГГц	2 ГГц	4 ГГц	10 ГГц	66 ГГц
<ul style="list-style-type: none"><li>• Р-З СС</li><li>• РД СотС</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• СССВ</li><li>• WLL</li><li>• СТ, DECT</li><li>• РД СотС</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• W-DSL</li><li>• Bluetooth</li><li>• Wi-Fi</li><li>• WiMAX</li><li>• MMDS</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• РРЛ</li><li>• WiMAX</li><li>• РД СотС</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• РРЛ</li><li>• LMDS</li><li>• WiMAX</li><li>• СССВ</li></ul>	

Р-З СС – радиально-зоновые системы связи или транкинговые системы, осуществляющие автоматическое распределение каналов связи между абонентами на время сеанса связи и допускающие режим прямой связи между абонентскими станциями, СССВ – системы спутниковой связи и вещания, W-DSL – радио удлинитель, РД СотС – радиодоступ сотовых систем связи, СТ – беспроводной телефон, предшественник DECT, РРЛ – радиорелейные линии связи, MMDS – беспроводный аналог кабельного телевидения, LMDS – микроволновая система распределения телевидения (части используется в качестве магистралей сотовой связи).

→  
эффекты  
значительного  
затухания  
радиоволн в  
земной  
атмосфере из-за  
рассеяния на  
взвешенных  
молекулах воды

## Безлицензионные диапазоны



## Пропускная способность – формула Клода Шеннона

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

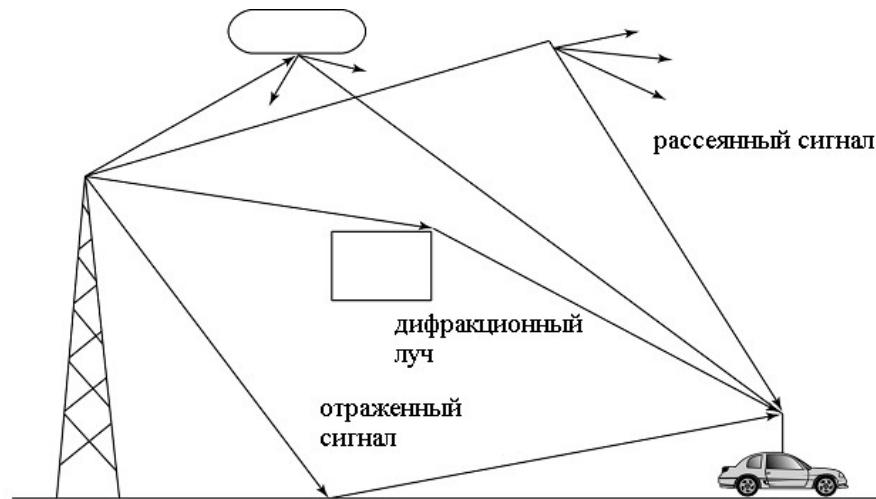
$C$  – пропускная способность канала, бит/с;

$B$  – полоса пропускания канала, Гц;

$S/N$  – отношение мощности сигнала к шуму (SNR).

Все системы радиодоступа 3G и 4G **адаптивны**, т.е. меняют скорость передачи данных в радиоканале в зависимости от качества канала связи. Различие между системами 3G и 4G состоит в том, что в сетях 3G время управления скоростью передачи не специфицировано, а в сетях 3G+ и 4G управление форматом передачи осуществляют в реальном времени (задержка составляет 10 мс).

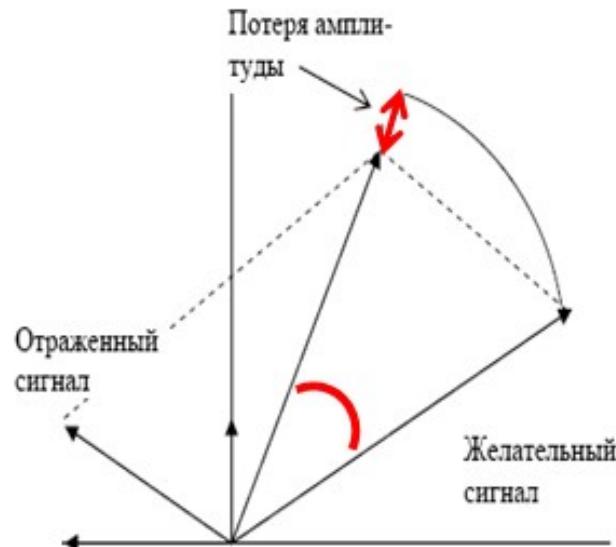
# Случайные характеристики радио канала



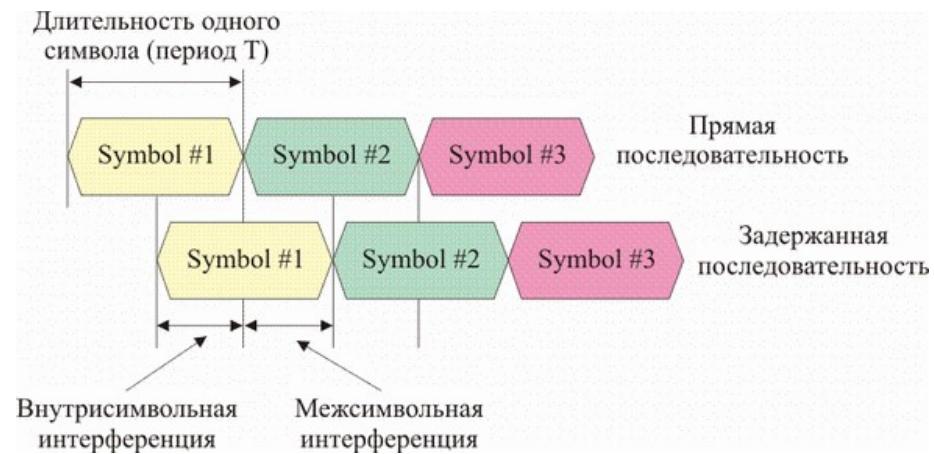
## МНОГОЛУЧЕВОСТЬ:

отражение,  
рассеяние,  
преломление

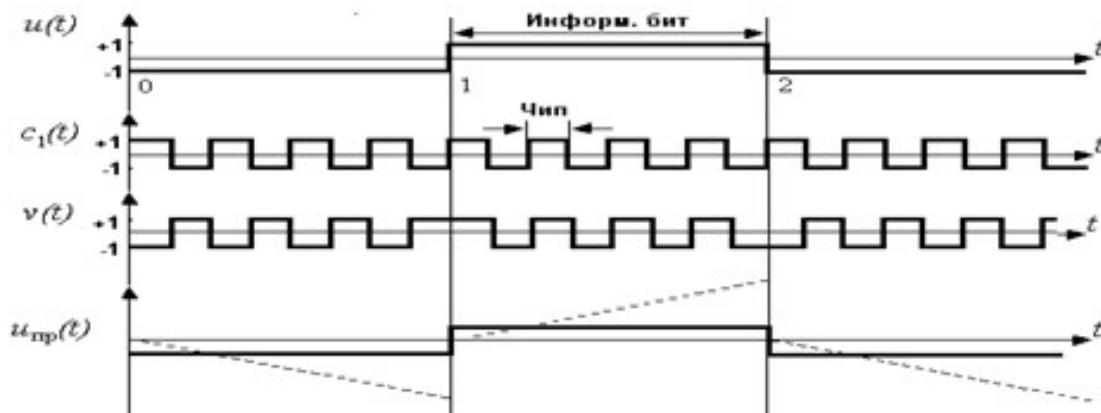
## замирание (fading)



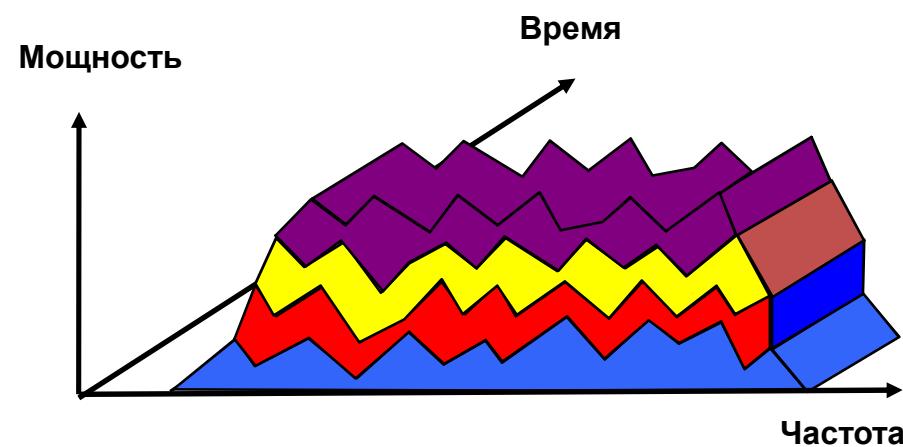
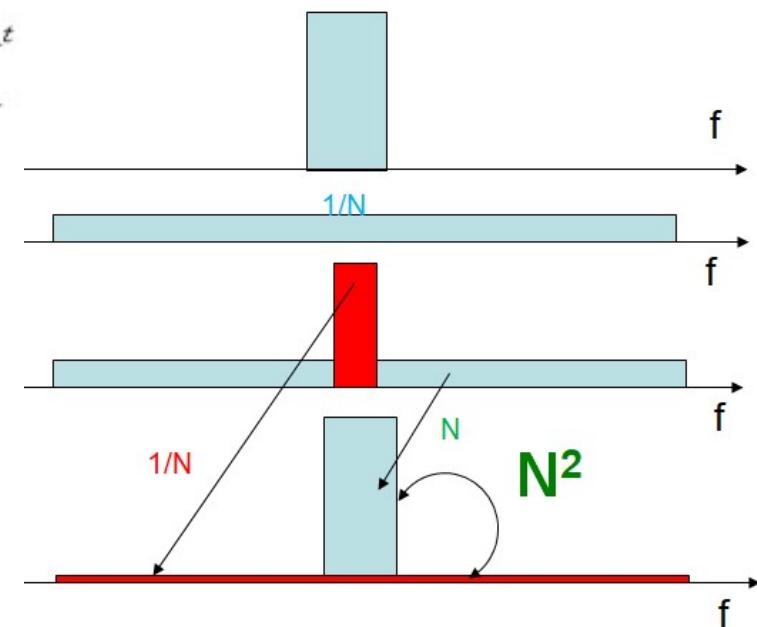
## временное рассеяние (межсимвольная интерференция)



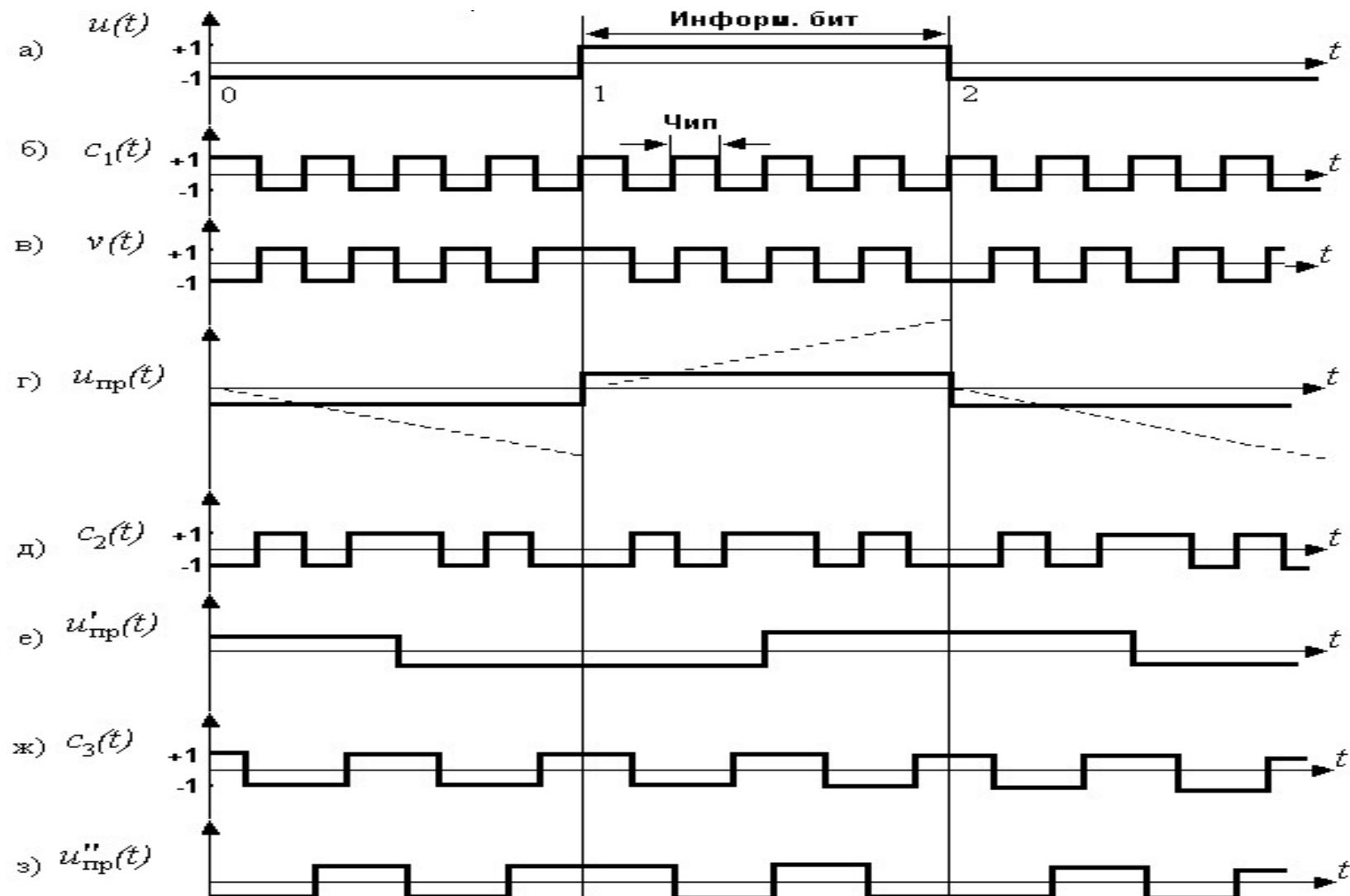
## Технология прямого расширения спектра



DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum



## Множественный доступ на основе кода (CDMA)



Отношение Вчип/Всимв называют коэффициентом расширения спектра SF. SF=2, 4, 8, 16

## Ортогональные коды RW (Радемахера – Уэлша)

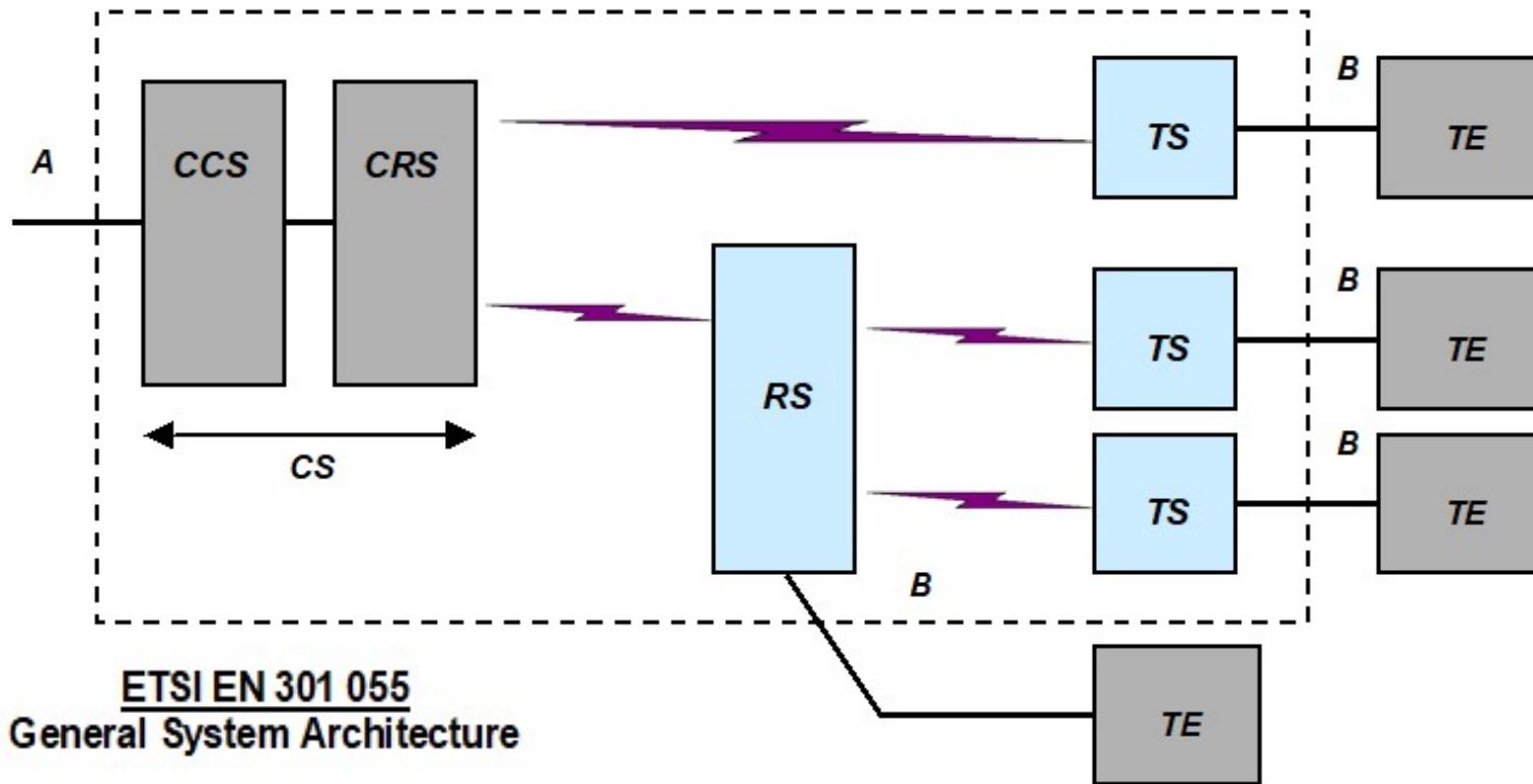
### Матрица Адамара

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{red arrow}} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \quad A_{i+1} = \begin{pmatrix} A_i & A_i \\ A_i & -A_i \end{pmatrix}$$

$$\sum_{j=1}^n c_j(i) \times c_k(i) = \begin{cases} n, & \text{если } j = k \\ 0, & \text{если } j \neq k \end{cases}$$

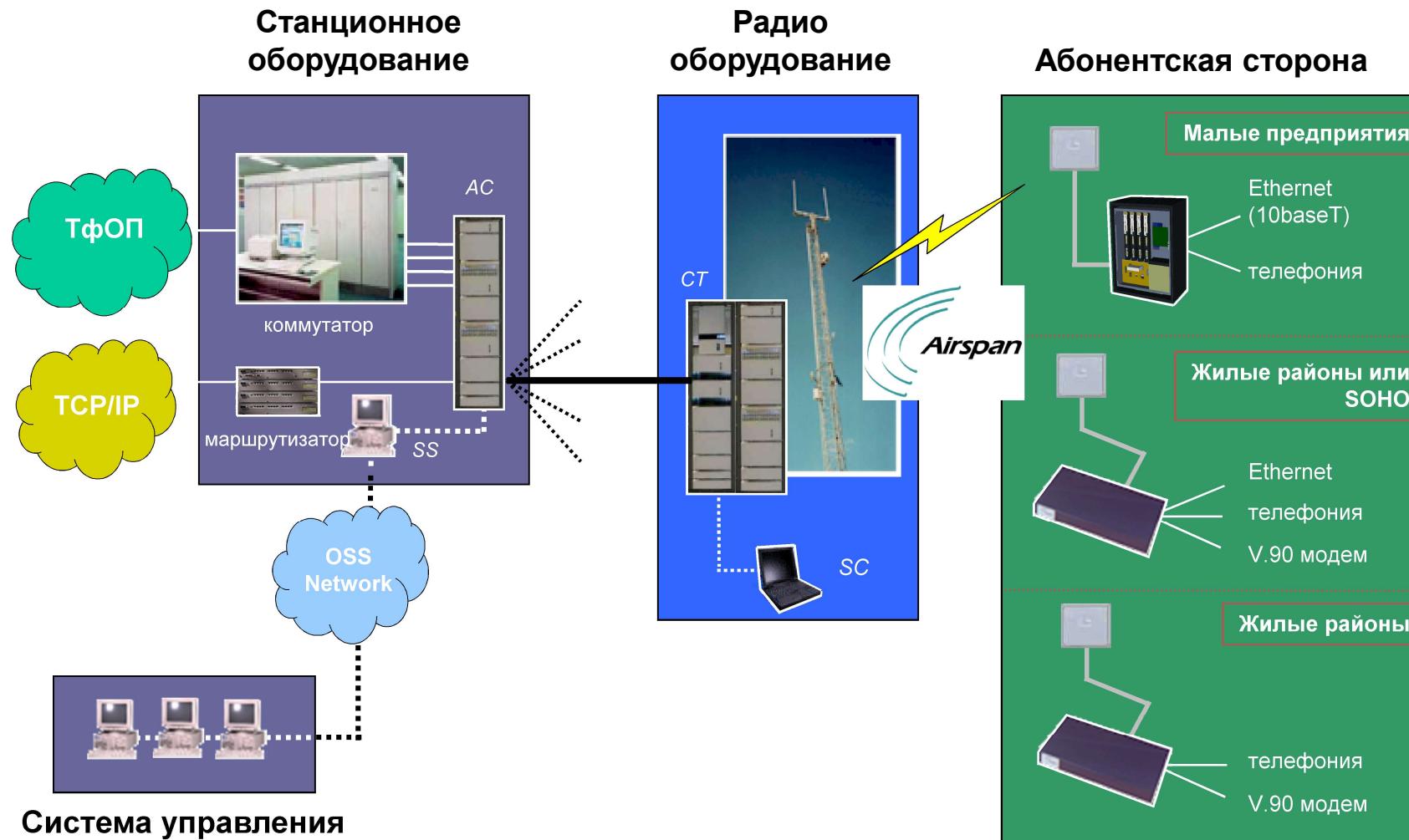
## Эталонная модель радио доступа

Европейский институт телекоммуникационных стандартов



- A** – точка подключения к опорной сети,
- B** – точка подключения пользовательского интерфейса,
- CS** – станционное оборудование радиодоступа,
- CCS** – контроллер радио базовых станций (центральных терминалов),
- CRS** – радио базовые станции (центральные терминалы),
- RS** – радио ретрансляторы (может быть оборудован пользовательским интерфейсом),
- TS** – радио терминал (абонентский терминал),
- TE** – абонентское оборудование.

# Фиксированный радиодоступ AS-4000 (Airspan Corp.): CDMA – DSSS



г. Москва / Московская область

г. Санкт-Петербург / Ленинградская область

г. Новосибирск

г. Калуга

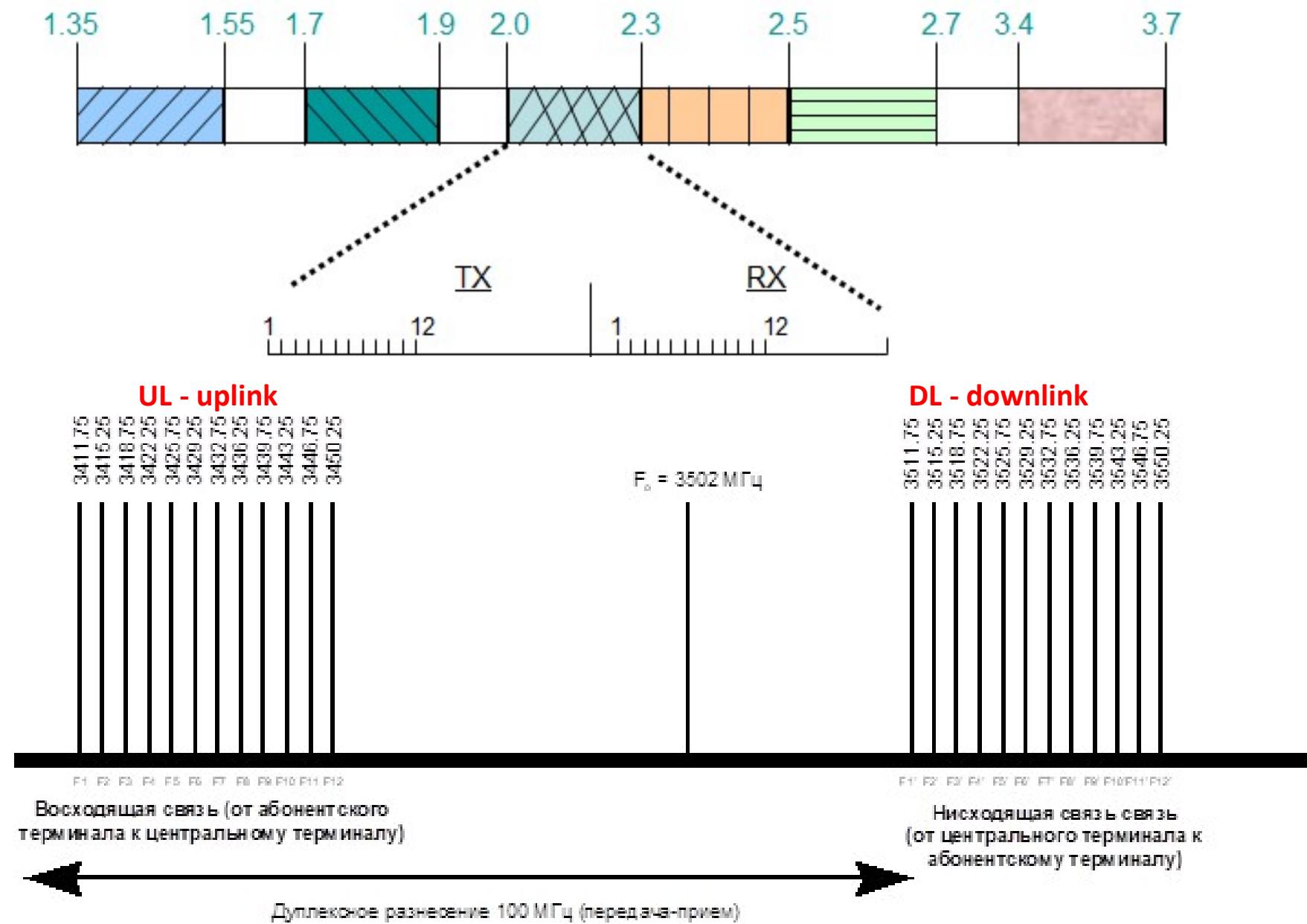
г. Самара / Самарская область

г. Хабаровск

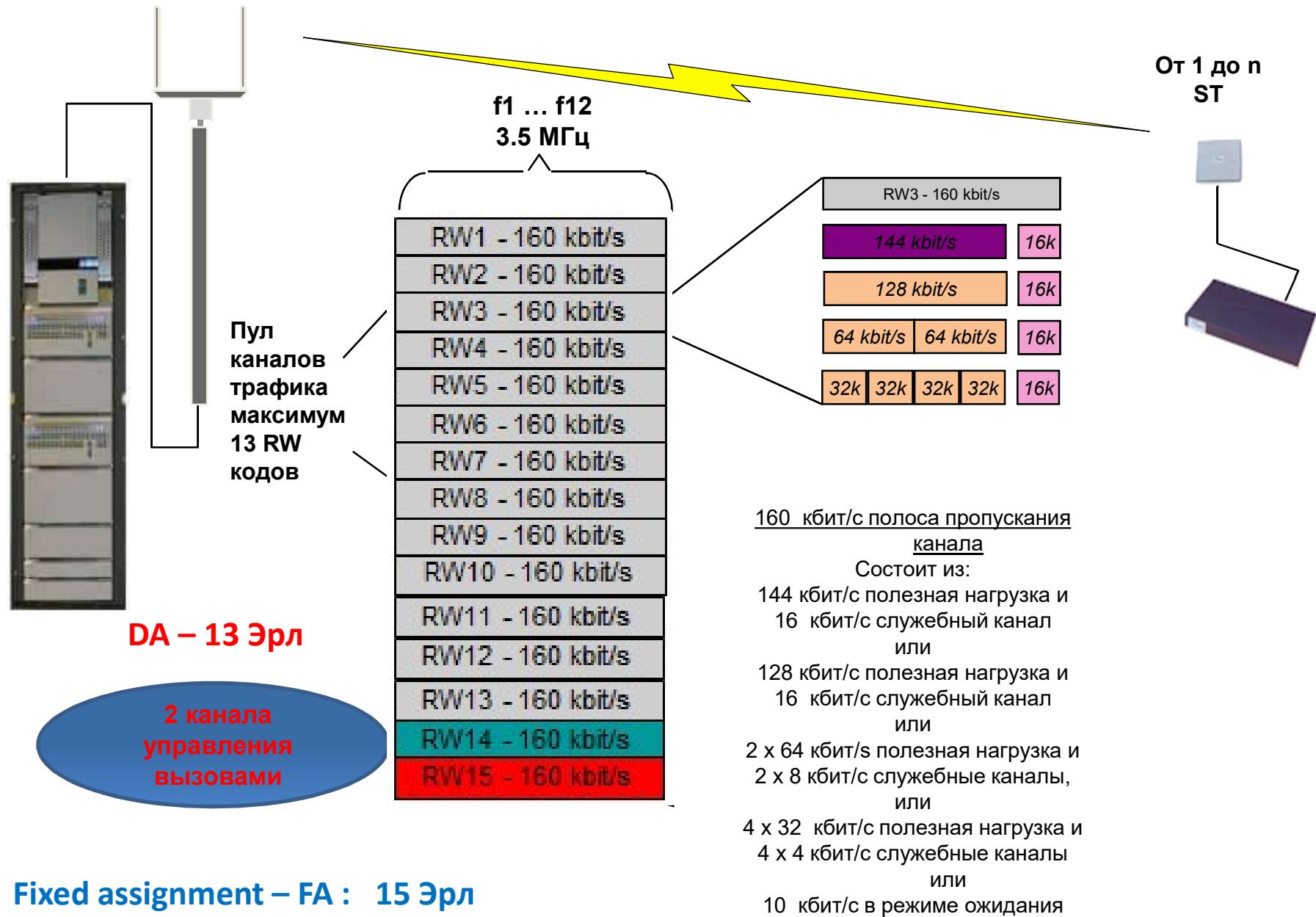
г. Магнитогорск

г. Нижний Новгород

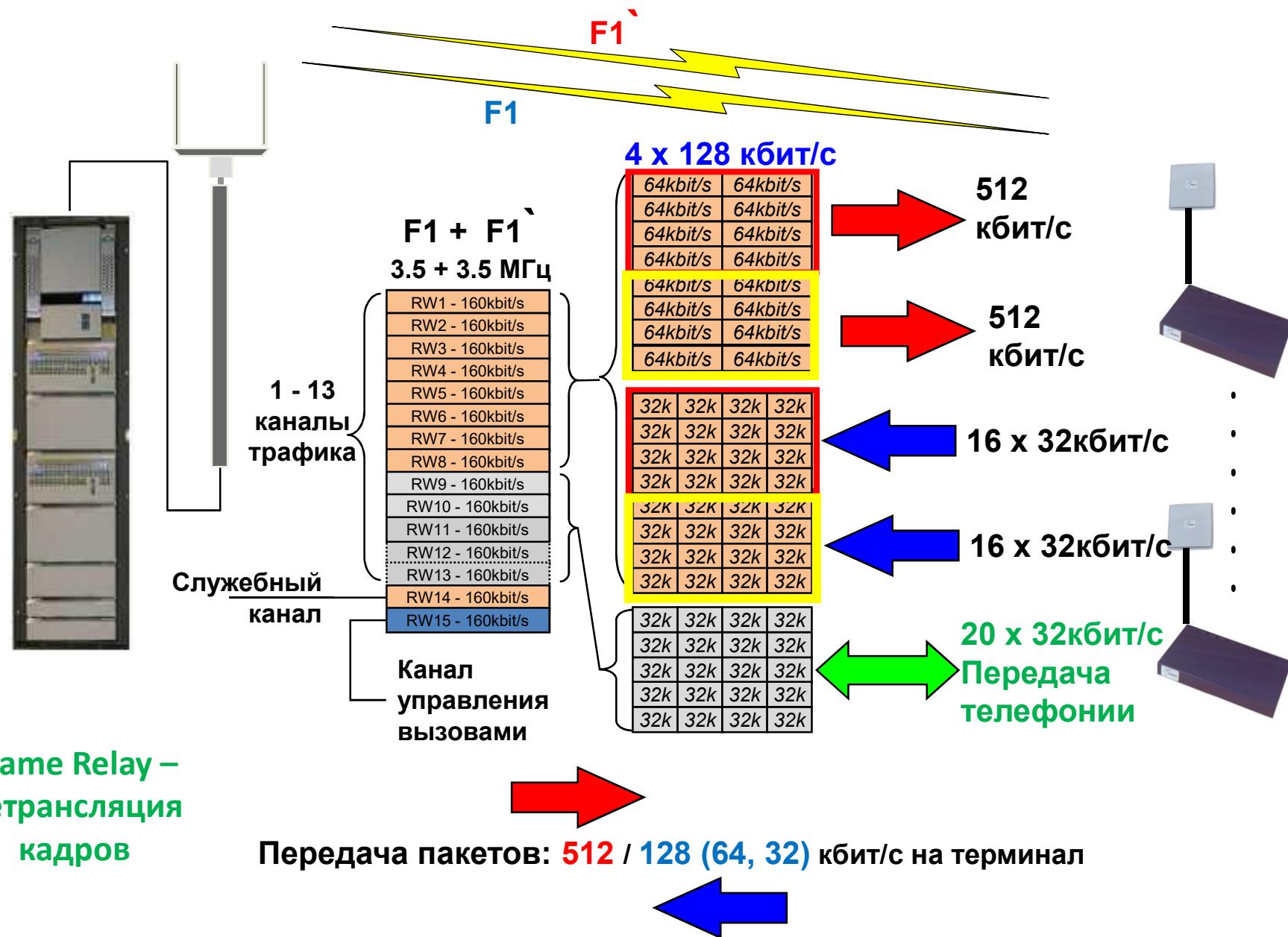
## Диапазоны частот и канальный план



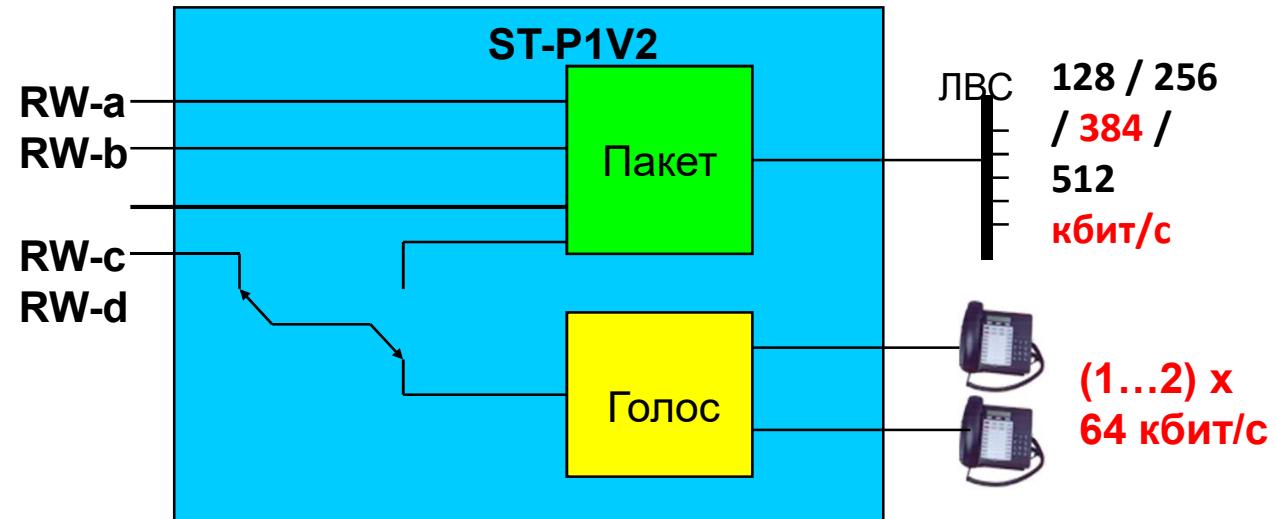
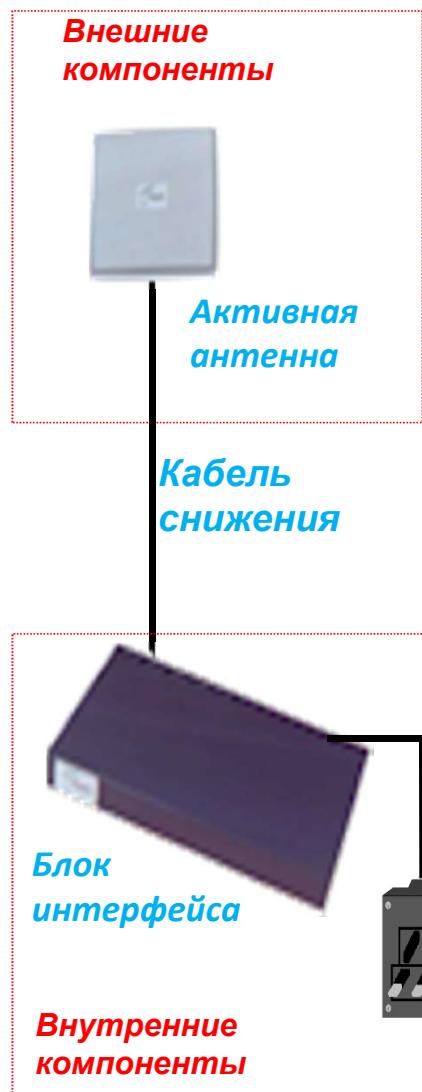
# Пропускная способность кодового канала



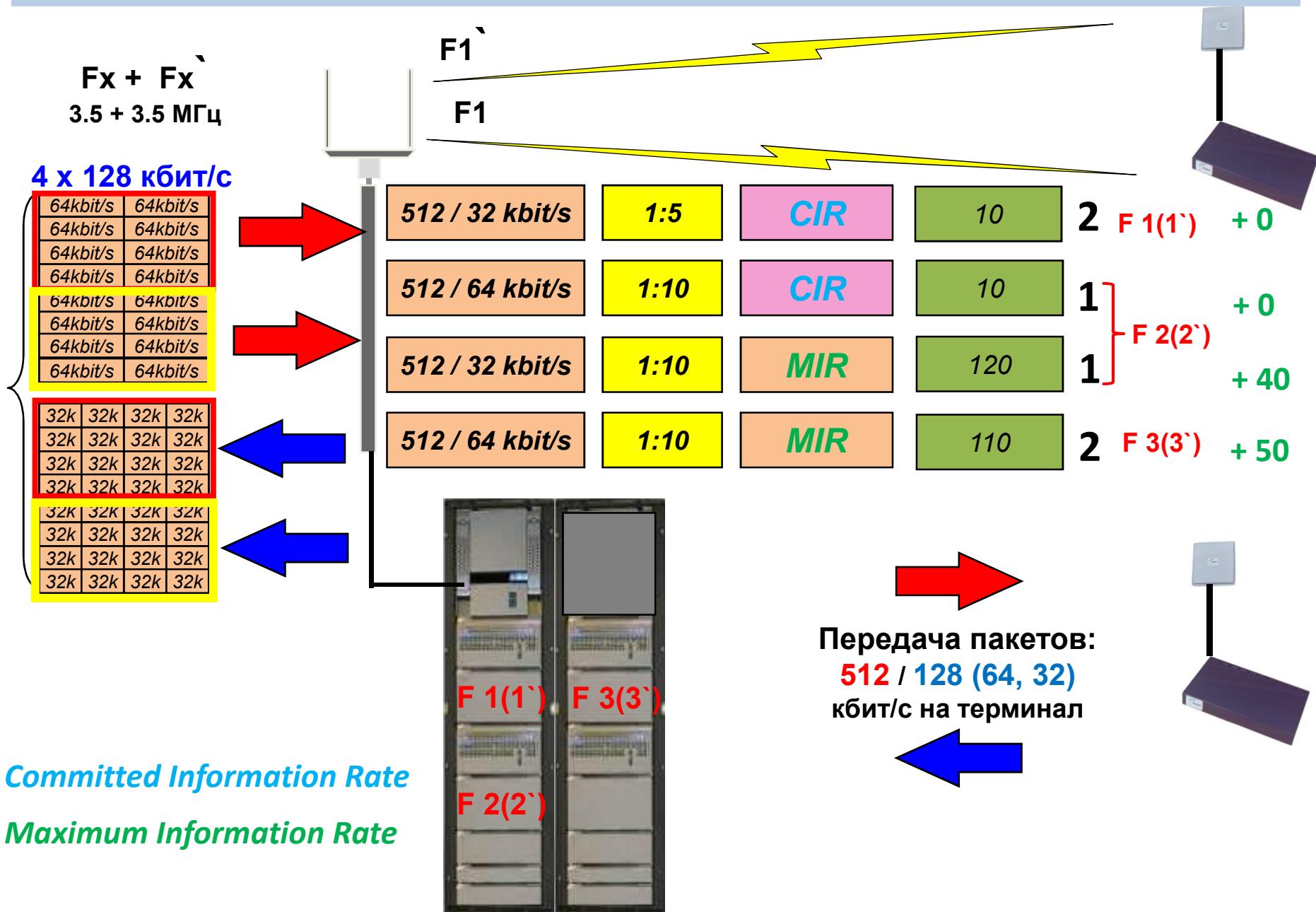
## Передача аудио и видео потоков



## Передача аудио и видео потоков

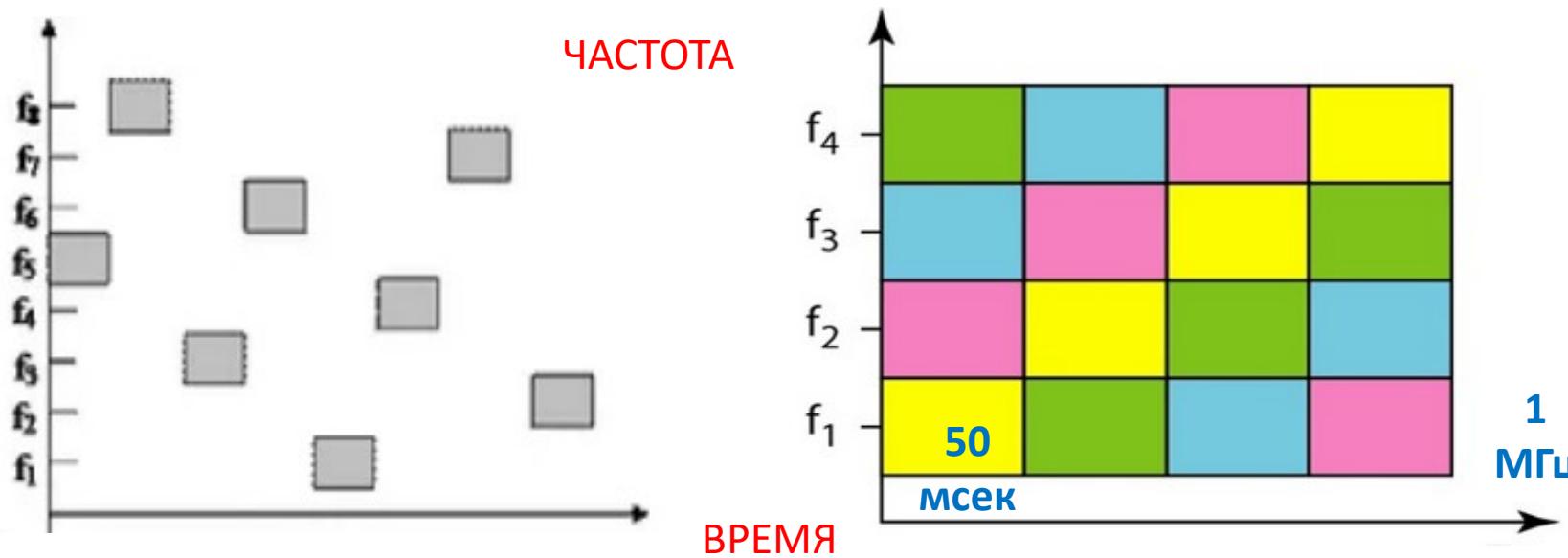


## Планирование нагрузки



## Технология расширения спектра скачками по частоте (ППРЧ)

FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum



Польз. каналы

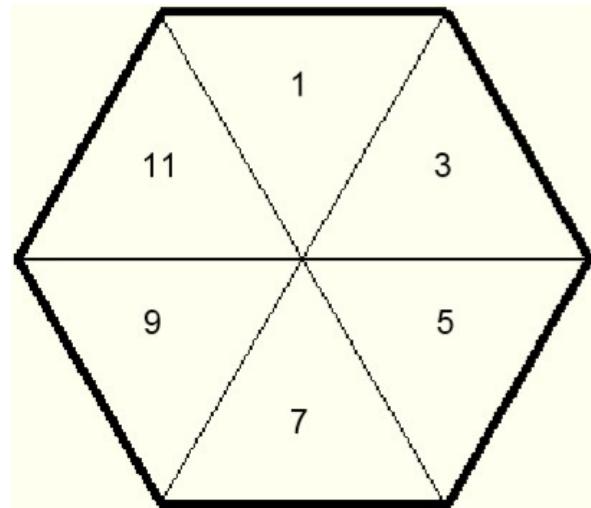
№ ПОСЛ -ТИ	Частотные каналы							
	0	1	2	3	4	5	6	
1	0	1	2	3	4	5	6	
2	0	2	4	6	1	3	5	
3	0	3	6	2	5	1	4	
4	0	4	1	5	2	6	3	
5	0	5	3	1	6	4	2	
6	0	6	5	4	3	2	1	

99

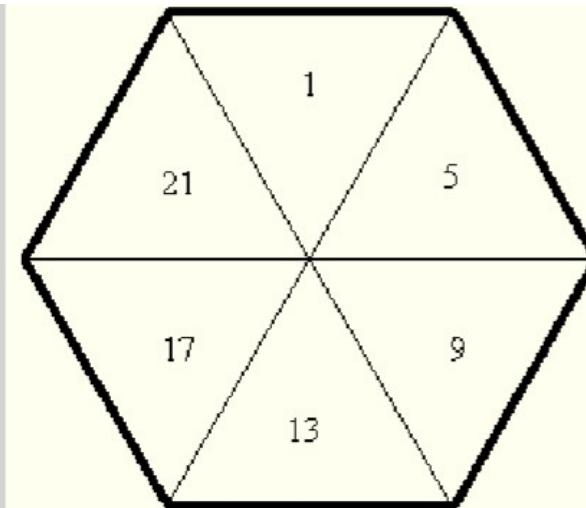
32 + 32

## Кодовое разделение доступа (CDMA)

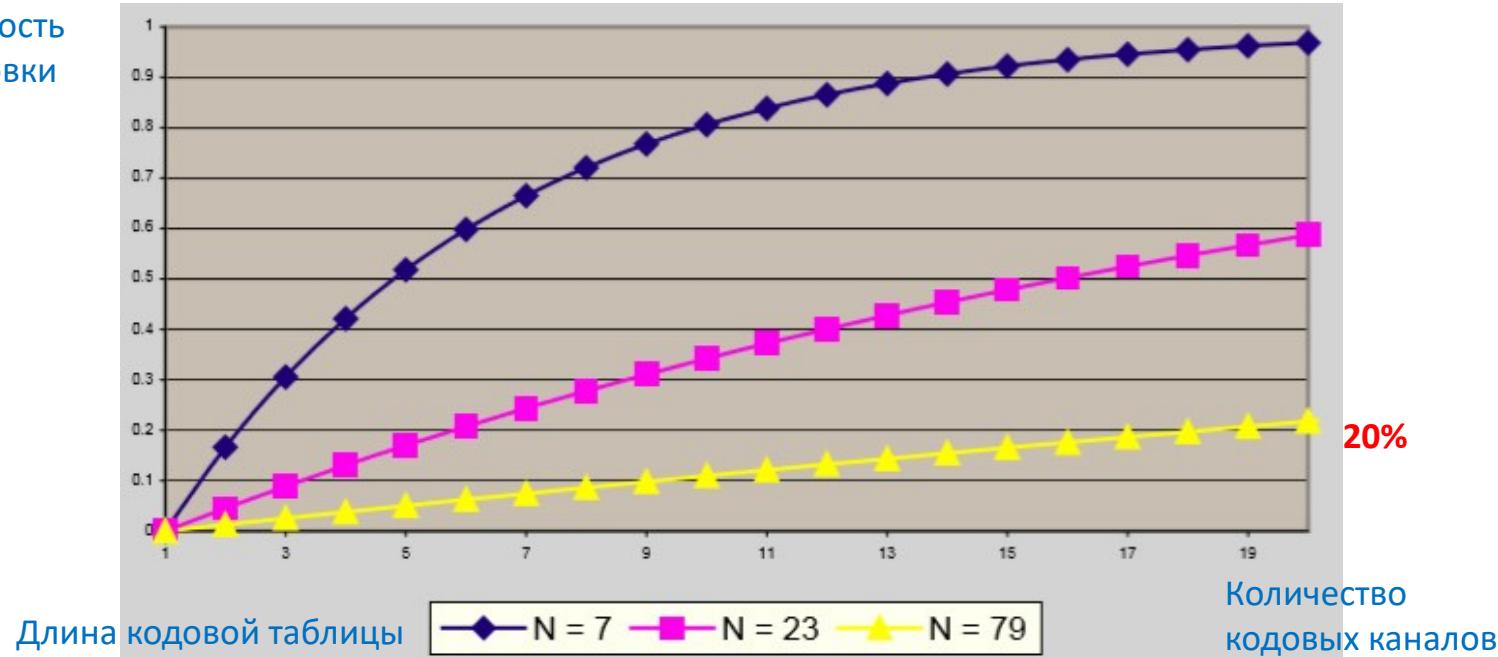
FDD – 2 МГц



TDD – 4 МГц (60 дБ затухания)



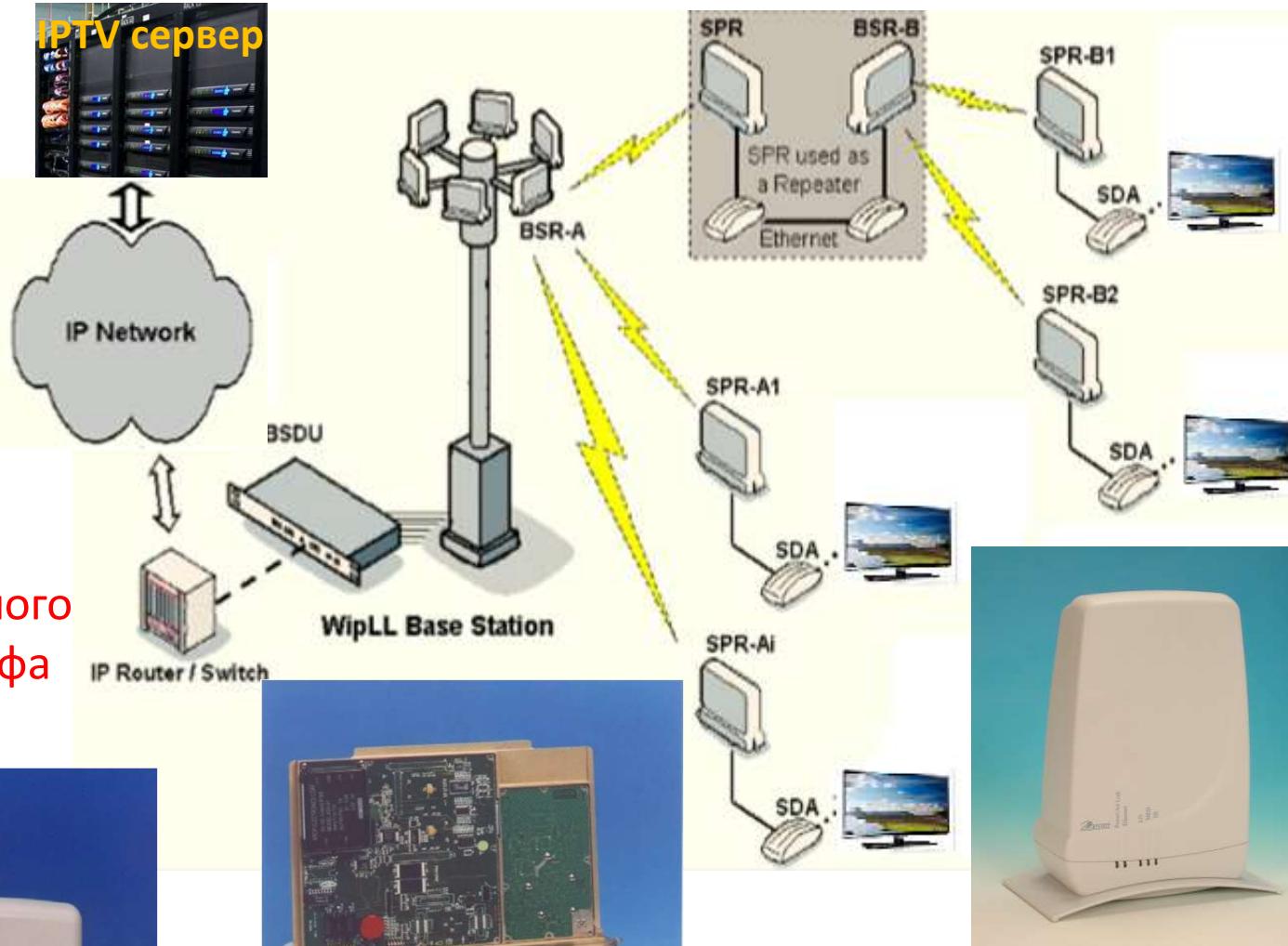
Вероятность  
блокировки



## Фиксированный радиодоступ WipLL (Marconi Corp.): CDMA – FHSS



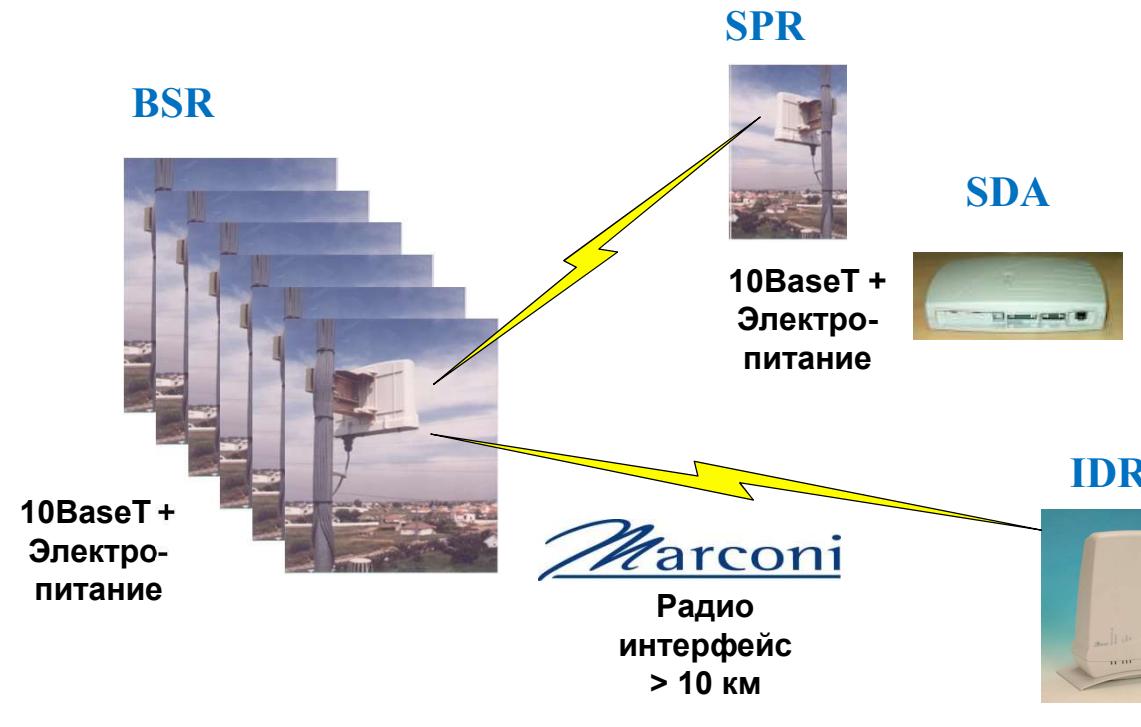
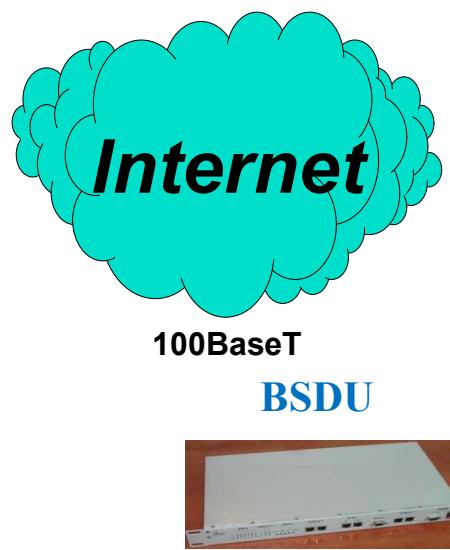
Система беспроводного  
абонентского шлейфа  
на основе IP



Wireless IP-Based Local Loop System



# Архитектура согласно эталонной модели радио доступа



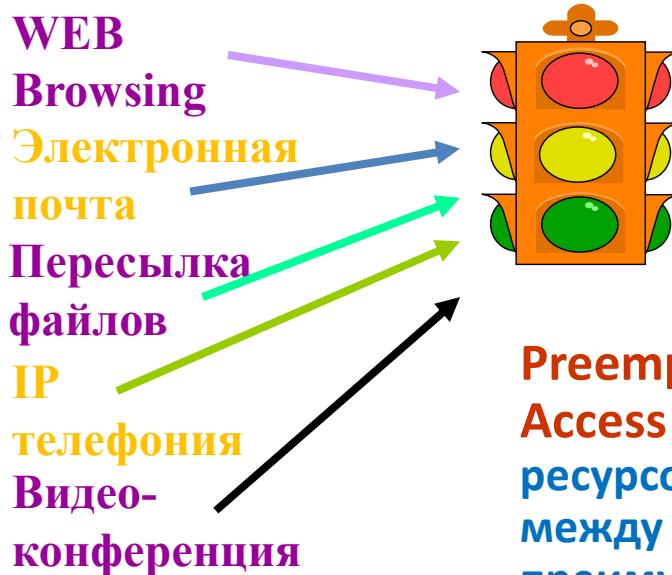
**Base Station Distribution Unit –**  
распределительный блок базовой станции

**Base Station Radio –**  
радио базовая станция

**Subscriber Premise's Radio –**  
абонентский радио блок

**Subscriber Data Adaptor –**  
абонентский адаптер данных

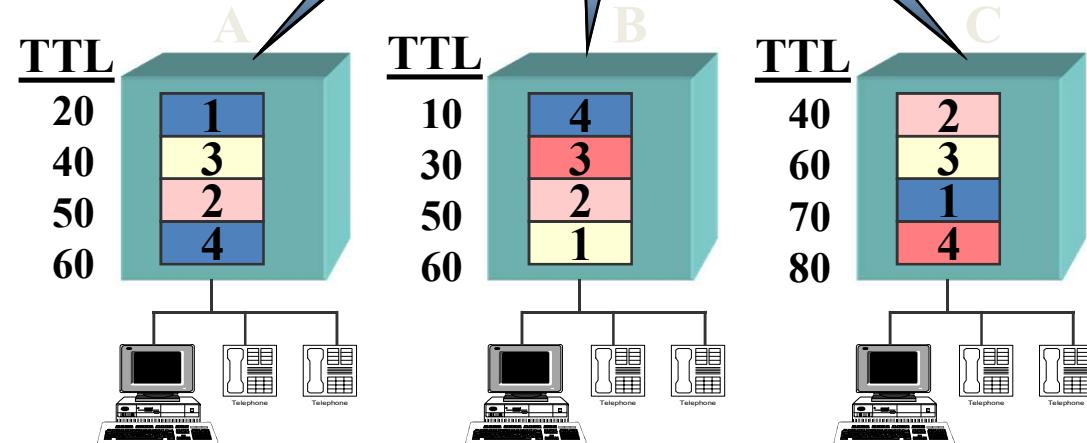
## PPMA – множественный доступ с опросом по преимуществу



Preemptive Polling Multiple Access – распределение ресурсов доступа и передачи между пользователями по преимуществу прав (в соответствии с TTL)



B4	10
A1	20
B3	30
C2	40
A2	50
B1	60
C1	70
C4	80



## Планирование нагрузки

### SpeedNet



- Токио, Иокогама
- BSR – на опорах линий электропередачи
- 20 000 SPR

