Вычислительные сети и Телекоммуникации

IPv6: отрицание, гнев, торг, депрессия, принятие

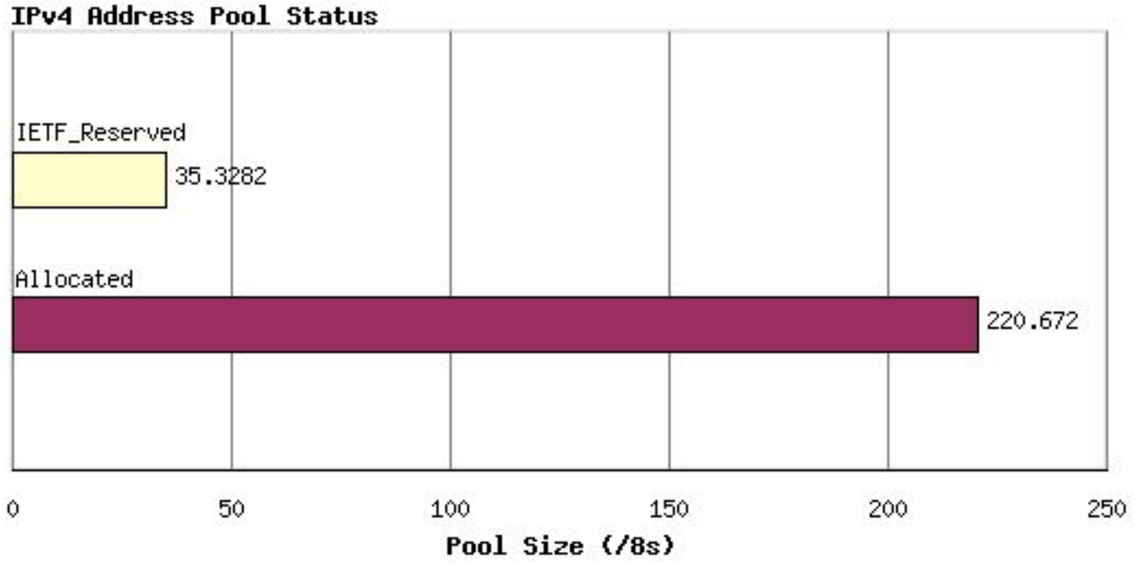
2019/2020, 8 семестр

Краткое содержание предыдущих серий

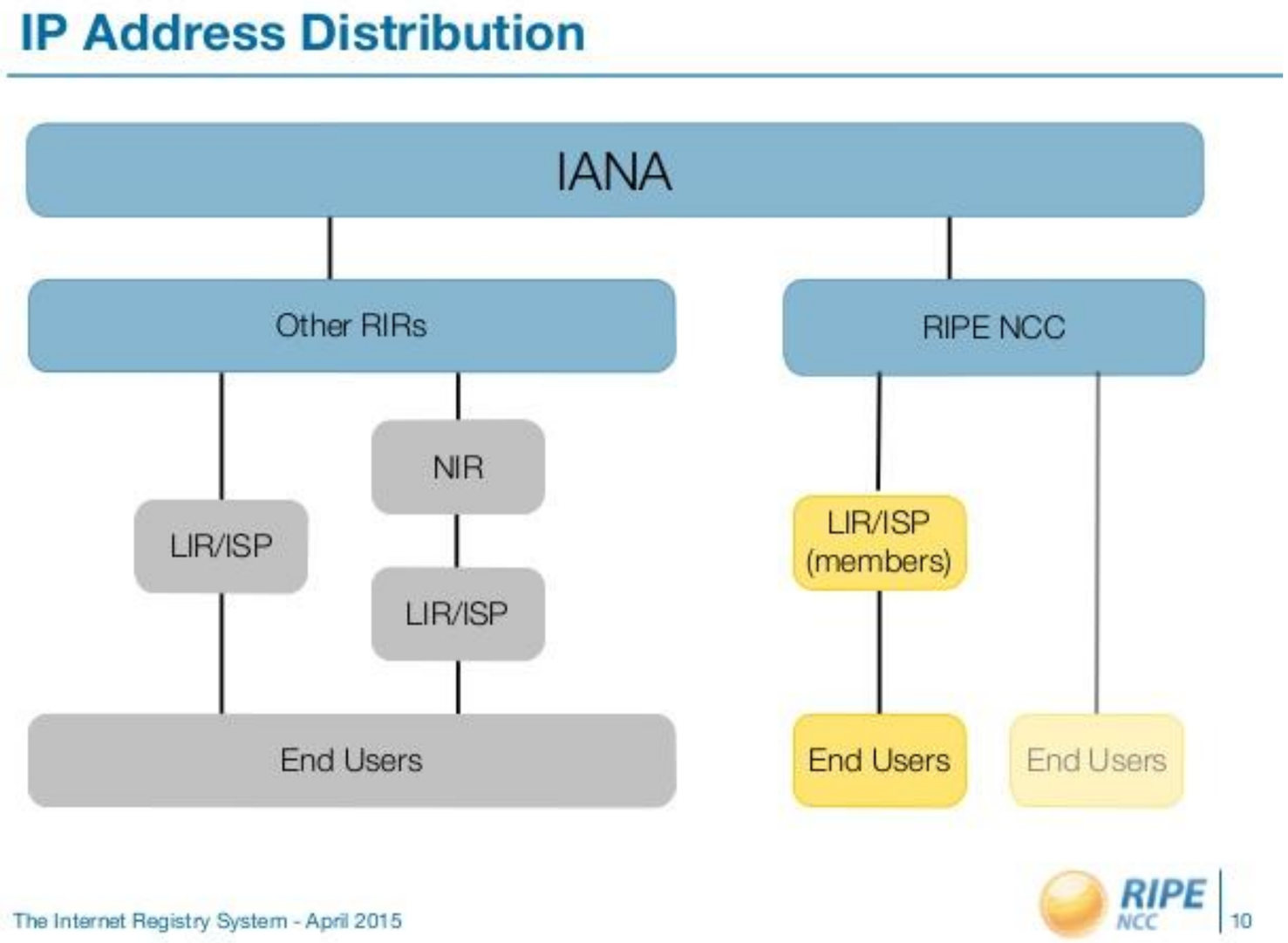
1983 – Создание и развертывание протокола IPv4
1992 – Первые прогнозы скорого исчерпания свободных адресов
1993 – Появление Classless Inter-Domain Routing (CIDR/VLSM)
1994 – Появление NAT
1996 – Первый официальный стандарт IPv6
2011 – Исчерпание резервов адресов IPv4 на уровне IANA
2019 – Исчерпание резервов адресов всеми RIR кроме AFRINIC
2020 – Вы находитесь здесь
????
PROFIT!

Структура адресного пространства IPv4

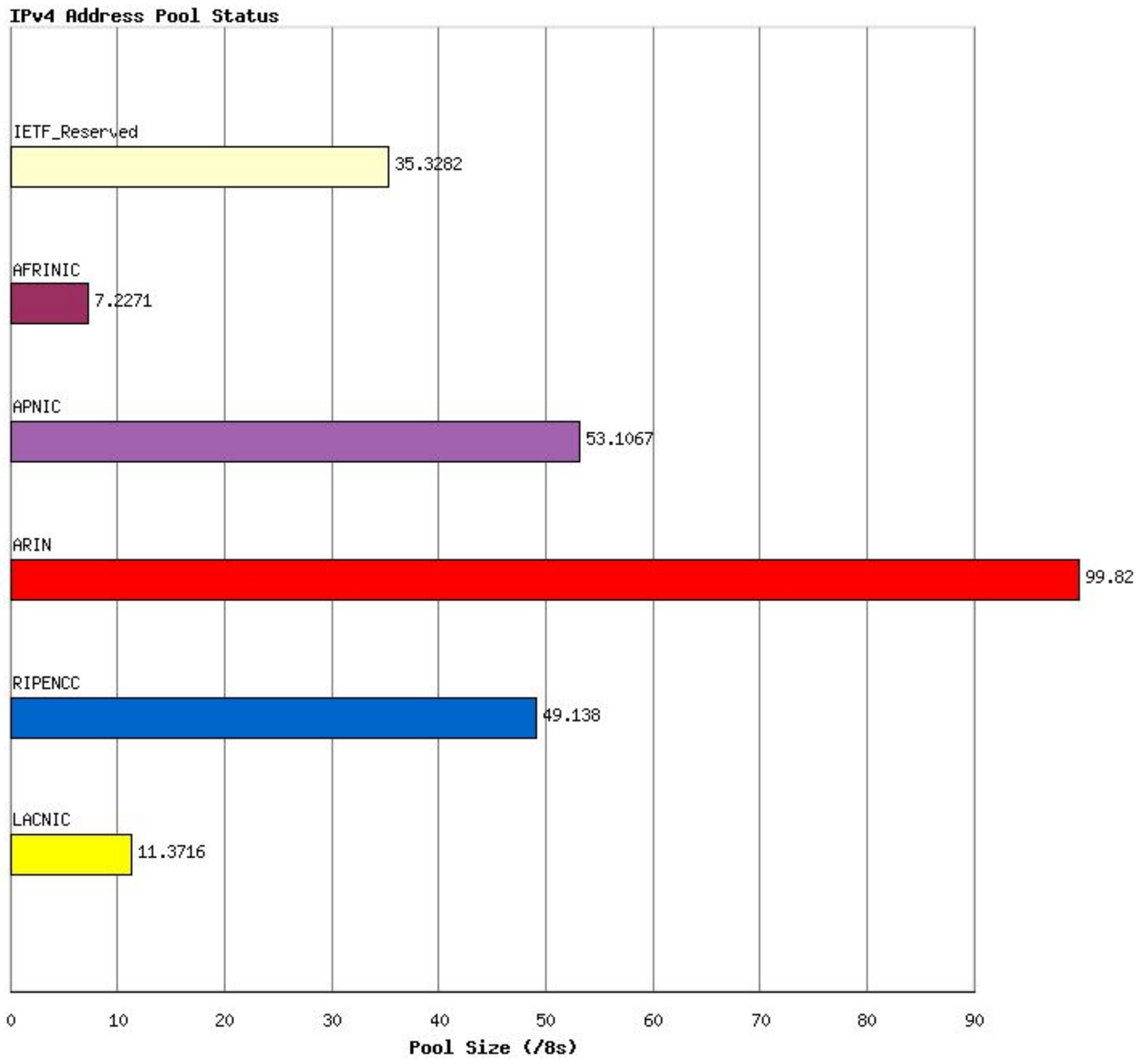
- 32 бита адреса, всего 4,294,967,296 адресов, или 256 сетей /8 (маска 255.0.0.0)
- Зарезервировано навсегда:
  - 16 блоков /8 «для будущего использования», бывший класс E
  - 16 блоков /8 для multicast-групп, бывший класс D
  - 1 блок /8 под 127.0.0.0/8
  - 1 блок /8 под 0.0.0.0/8
  - 1 блок /8 для 10.0.0.0/8
  - Некоторое количество разных блоков меньших, чем /8
- Итого зарезервировано ~ 35.3 блока /8 или 13.7% адресного пространства



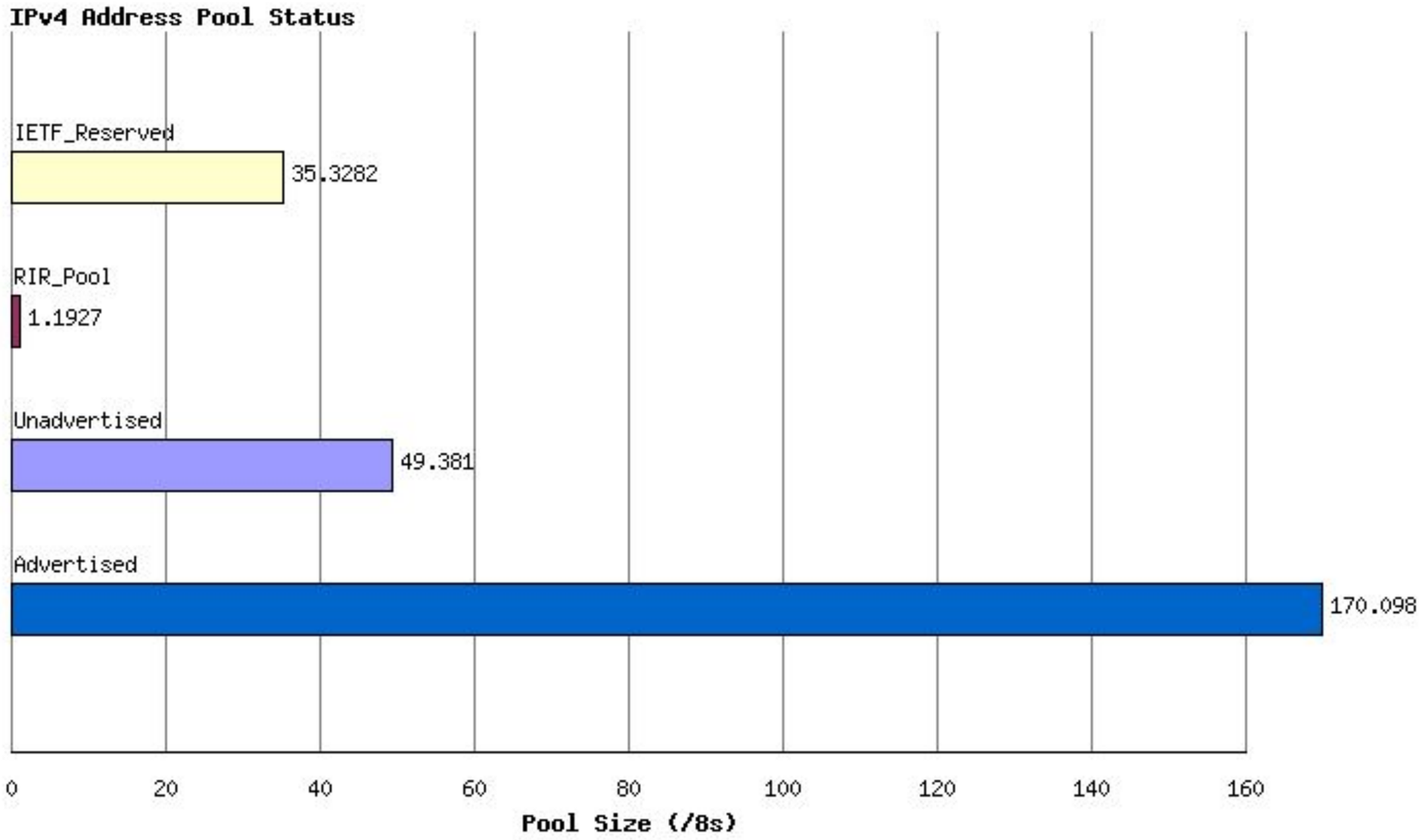
Иерархия делегирования IP-адресов



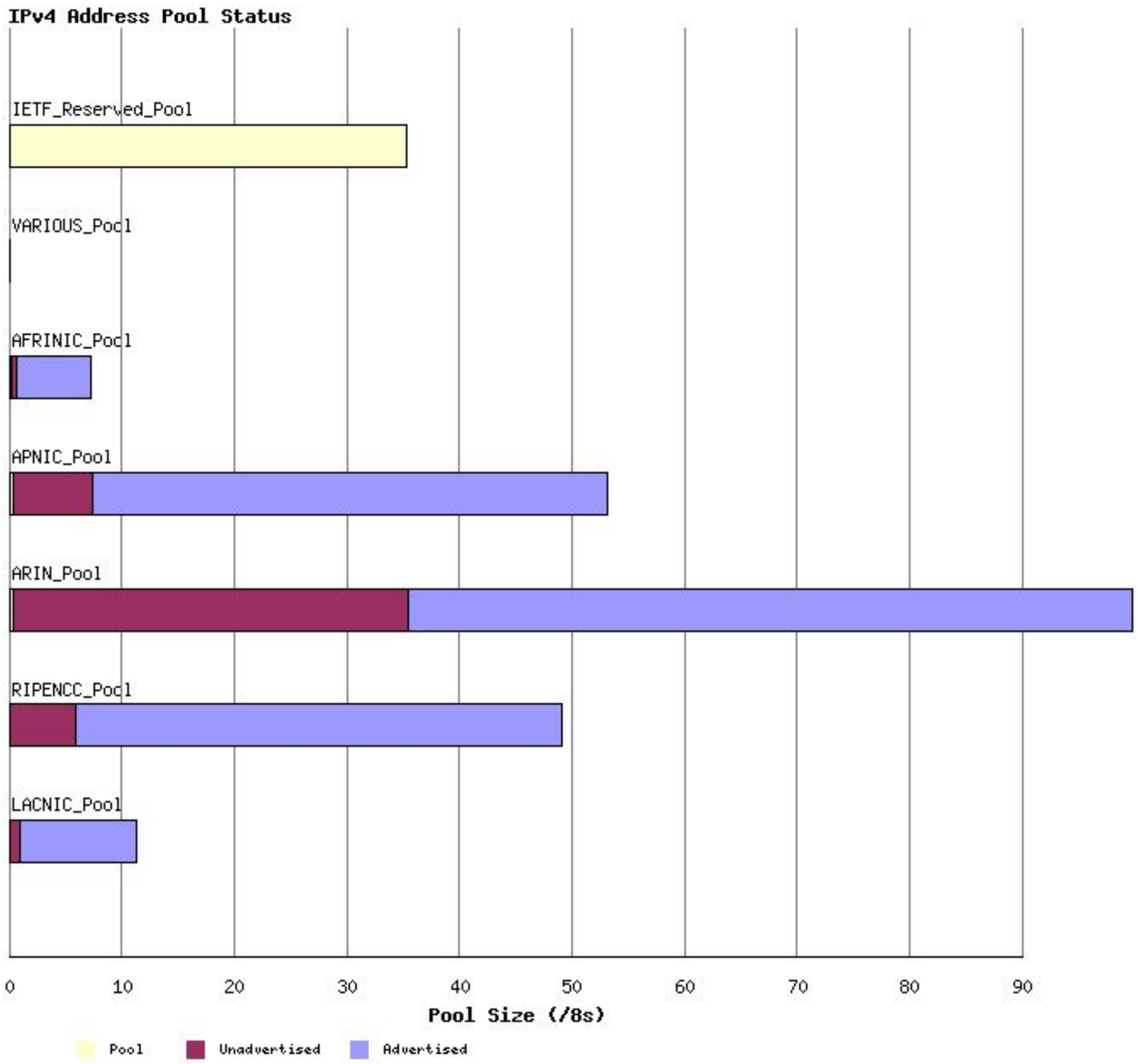
Количество блоков, выделенных различным RIR



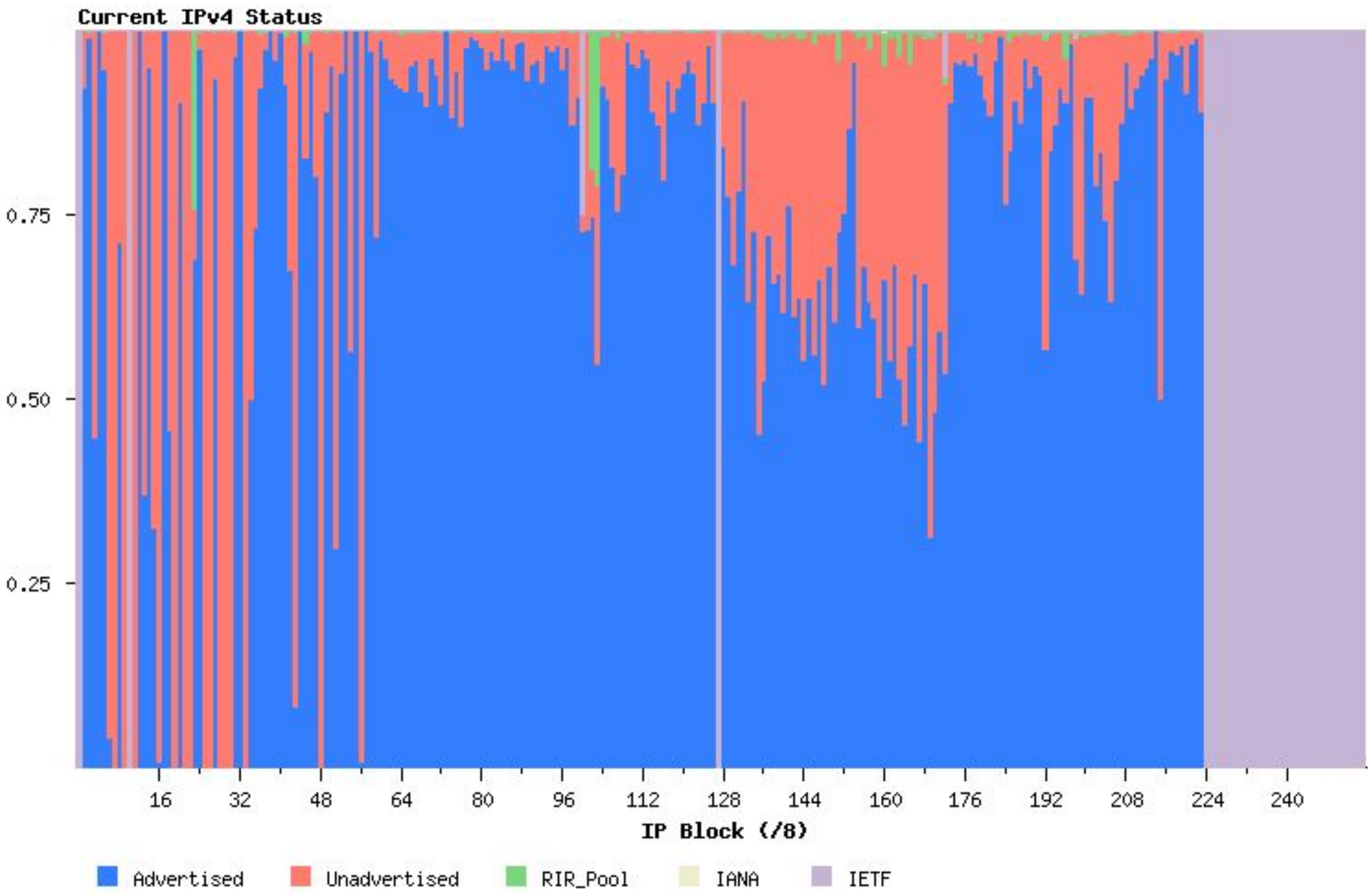
Статистика (не)используемых блоков адресов



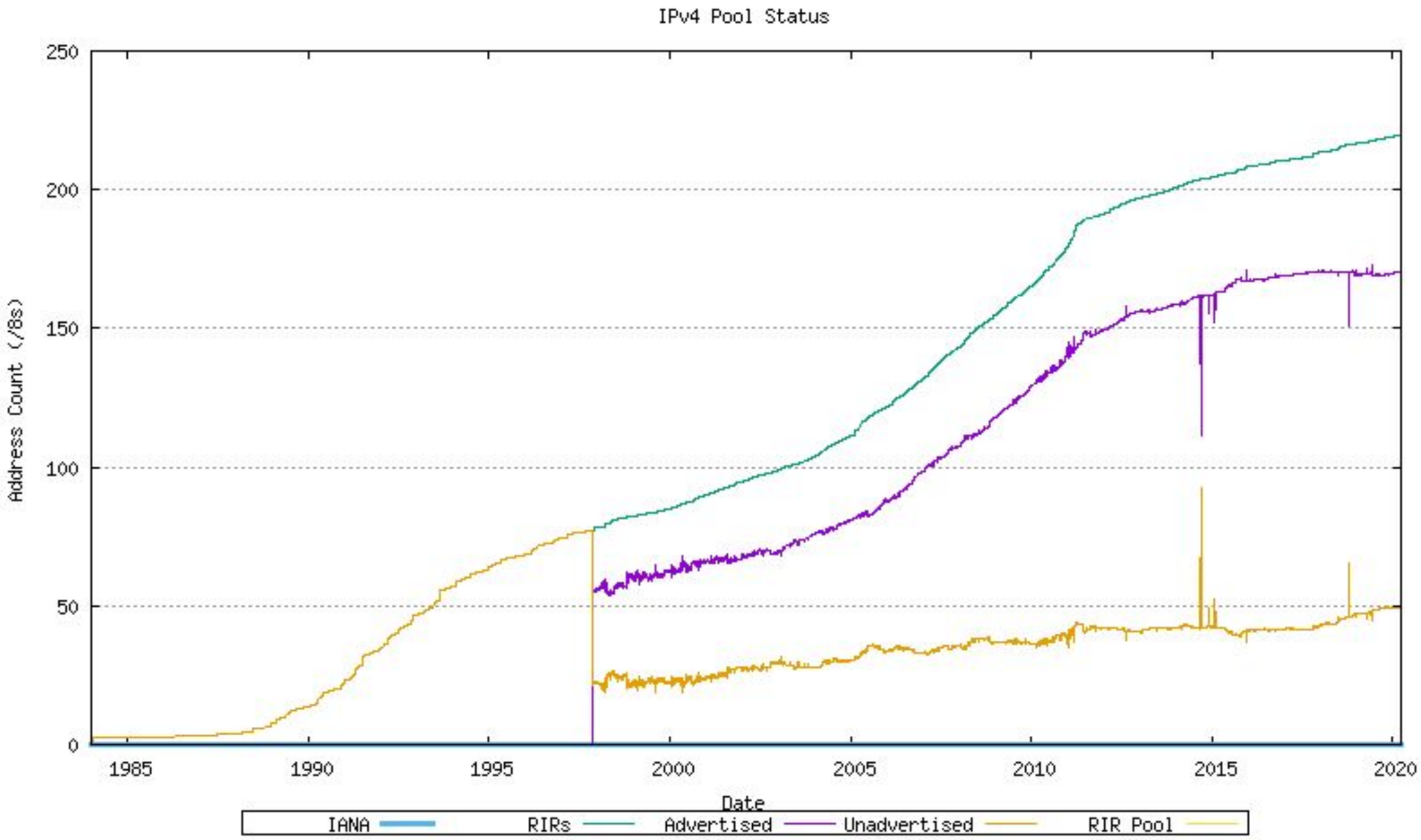
Статистика (не)используемых блоков в различных реестрах



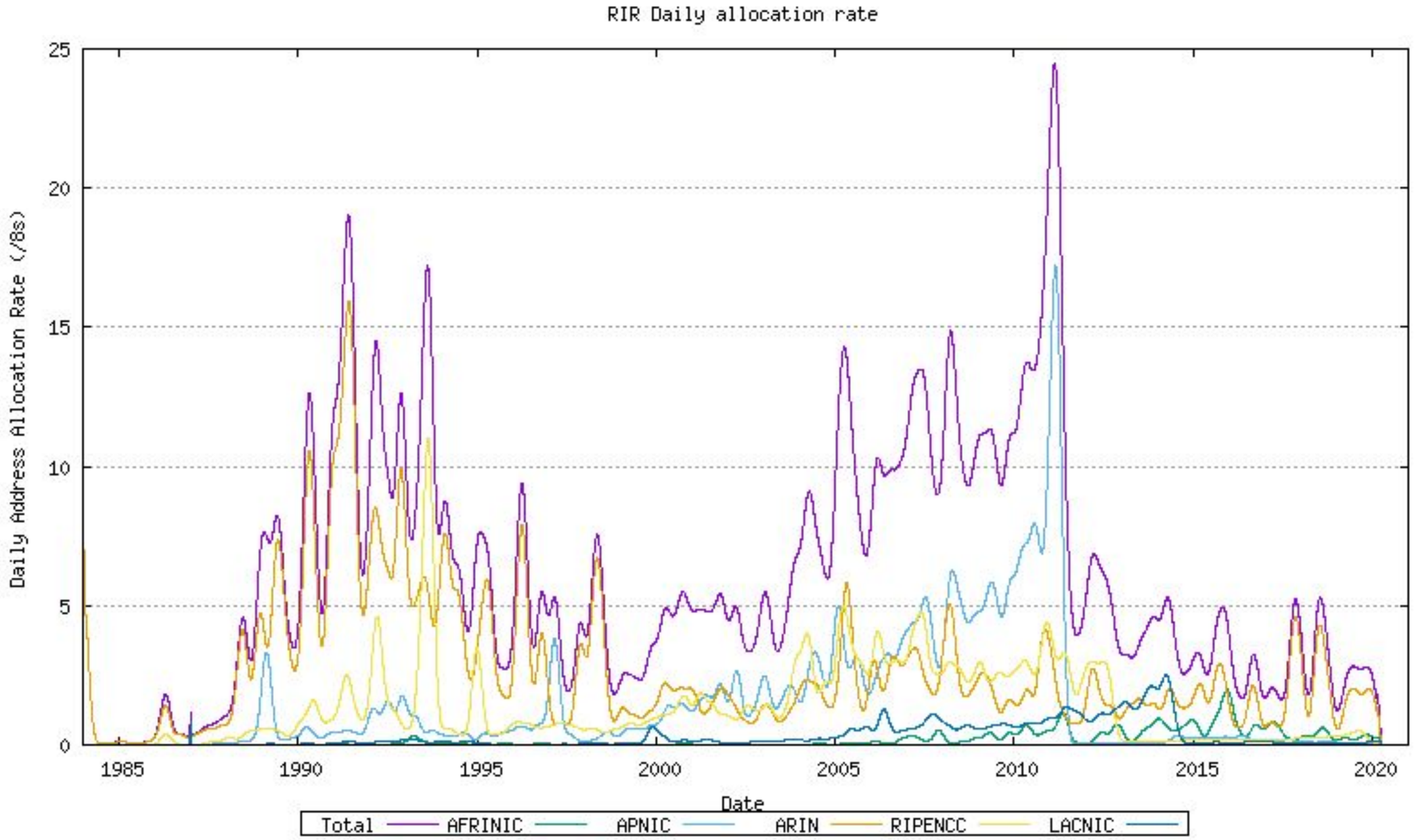
(Не)используемые адреса в разрезе номера сети



Состояние адресного пространства по годам



Динамика выдачи блоков по годам и реестрам



Наличные остатки блоков /8 по реестрам

Реестр	Окончание блоков	Окончание резервов	Остаток блоков
APNIC	14.04.2011		0.1646
RIPE NCC	14.09.2012	25.11.2019	0.0101
LACNIC	10.06.2014		0.0505
ARIN	24.09.2015	24.09.2015	0.0002
AFRINIC			0.1227

Кто виноват?

- Неудачная схема разбиения на классы и блоки, заложенная изначально
- Большие объемы адресного пространства, выделенные на заре технологии
- Бесконтрольная раздача адресов в лихие 90е
- Паника среди LIR в 2010-2011 годах
- Минимальное использование NAT в пределах ARIN
- Практическая невозможность изъятия неиспользуемого адресного пространства

Что делать?

IPv6 ACT NOW

Технические недостатки IPv4

- Малый размер адресного пространства
- Сложная схема деления на подсети и делегирования
- Большой размер таблицы глобальной маршрутизации
- Не универсальная схема присвоения адреса узлу
- Максимальный размер пакета 64 килобайта
- Фрагментация
- Неиспользуемые поля в заголовках и опции переменной длины
- Изменяющиеся поля в заголовке и контрольная сумма

Запись адреса IPv6

- Адрес длиной 128 бит, количество адресов около **$3.4x10^{38}$**
- Разбит на блоки длиной 64 бита для сетевой и хостовой части
- Записывается в шестнадцатиричном формате без лидирующих нулей:

fde8:b1f0:77a0:3424:020c:29ff:fe0c:47d5

- Блоки цифр, заполненные нулями, можно сокращать как **::**

fde8:b1f0:77a0:3424::1 вместо **fde8:b1f0:77a0:3424:0000:0000:0000:0001**

но fde8:b1f0:77a0:3424:0:29ff:fe0c:47d5 вместо **fde8:b1f0:77a0:3424:0000:29ff:fe0c:47d5**

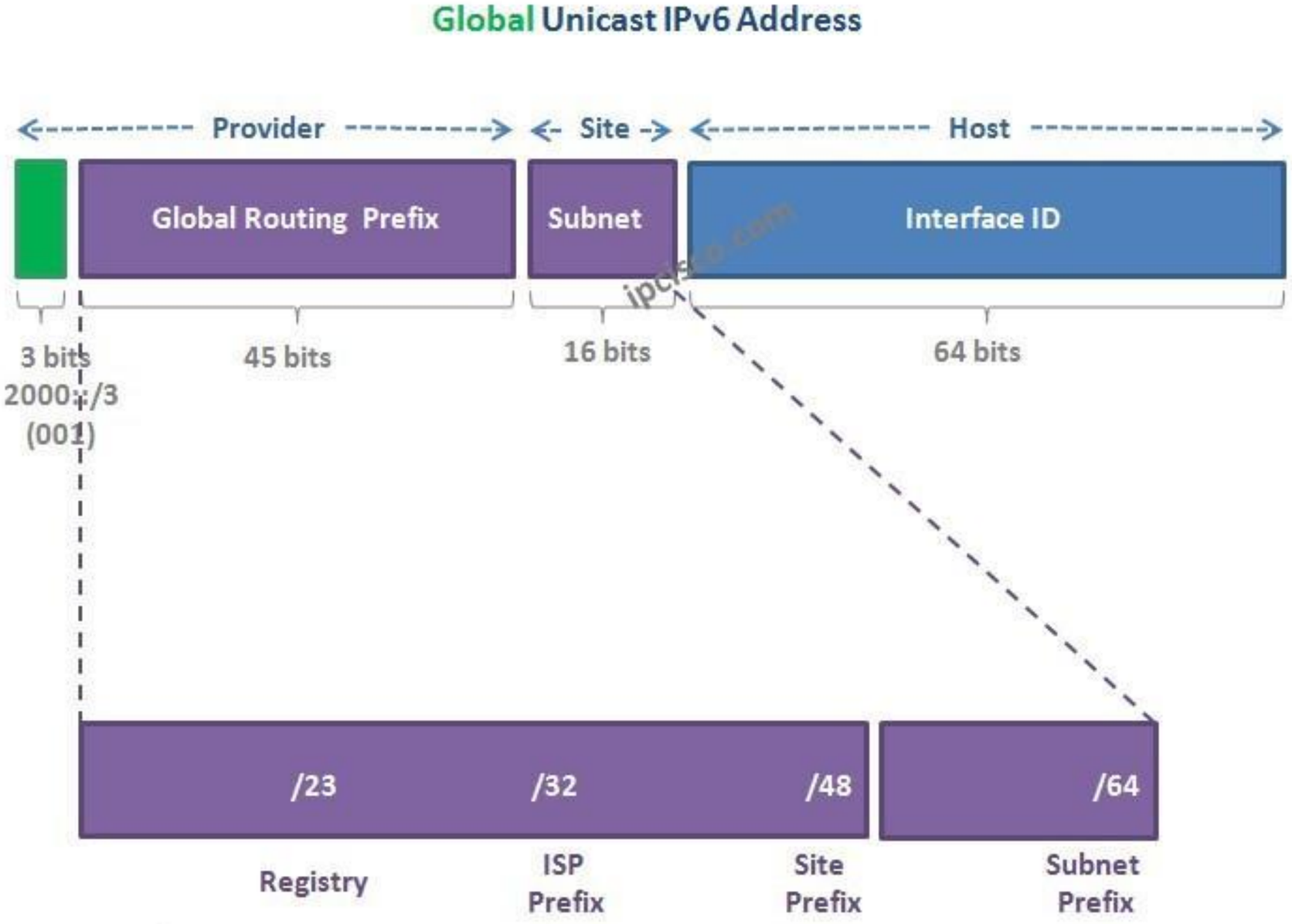
- Сокращается как **::** только самое длинное поле, считая с левой стороны
- При использовании в URL адрес заключается в квадратные скобки:

http://[fde8:b1f0:77a0:3424:20c:29ff:fe0c:47d5]/index.html

- У неуникальных адресов в пределах хоста указывается имя интерфейса:

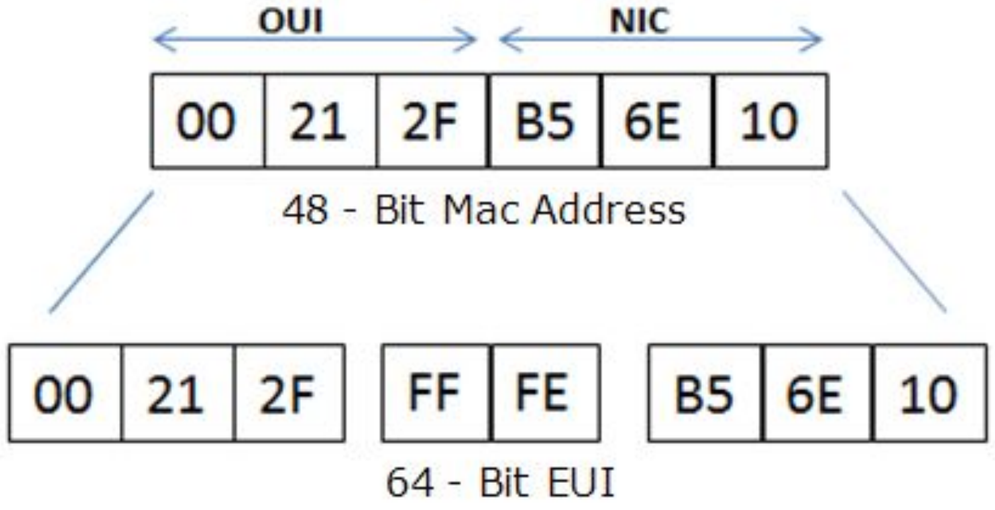
fe80::1ff:fe23:4567:890a%eth2

Структура unicast-адреса IPv6



Особенности делегирования подсетей в IPv6

- Минимальный размер подсети **/64**
- Минимальный размер делегирования подсети клиенту **больше /64**
- Рекомендуемый размер делегирования подсети клиенту **/56**
- Рекомендуемый размер делегирования подсети бизнесу **/48**
- Адреса маршрутизаторов на стыке в сети /64 из отдельного блока
- Хостовая часть адреса определяется на основании MAC-адреса узла (**EUI-64**)



fe80::0221:2fff:feb5:6e10

Некоторые узнаваемые и специальные адреса

- **2000::/3** – текущий блок для раздачи адресов RIR
- **2001:678::/29** – блок для provider independent адресов
- **2001:7f8::/29** – блок для адресов IX и глобальной инфраструктуры
- **2001:db8::/32** – блок адресов для использования в документации
- **::1/128** – loopback-адрес, аналог **127.0.0.1** в IPv4
- **::/0** – маршрут по умолчанию, аналог **0.0.0.0/0** в IPv4
- **::/128** – любой локальный адрес, аналог **0.0.0.0/32** в IPv4
- **fc00::/7** – приватные IPv6 сети, аналог **10.0.0/8** в IPv4
- **fe80::/10** – link-local сеть, аналог **169.254.0.0/16** в IPv4 (ZeroConf)

Автоматическая конфигурация адреса с использованием SLAAC

- **SLAAC** = Stateless Address Autoconfiguration
- На интерфейсе автоматически настраивается адрес из link-local сети **fe80::/10**
- С этого адреса в мультикастовую группу all-routers **ff02::2** отправляется запрос Router Solicitation **(RS)** с использованием Neighbor Discovery Protocol (**ND, NDP**)
- На этот запрос роутер отвечает со своего link-local адреса сообщением Router Advertisement **(RA)** в мультикастовую группу all-hosts **ff02::1**
- Ответ роутера содержит префикс и длину префикса (верхние 64 бита)
- Клиент автоматически генерирует полный IPv6 адрес из префикса и локального EUI-64
- Конфигурация полностью автоматическая, не требует настройки и не хранит никакого состояния
- Для корректной работы необходим префикс сети не длиннее /64
- Также можно использовать DHCPv6 или статические адреса (удачи!)

Основные технологические отличия IPv6 от IPv4

- Заголовок фиксированного размера и не содержит контрольных сумм
- Блоки опций
- Максимальный размер пакета 4 гигабайта
- Фрагментация осуществляется отправителем на основе данных PMTUD
- Промежуточные маршрутизаторы не фрагментируют пакеты
- Встроенная поддержка IPSEC без костылей (ну, почти)
- Поддержка глобального мультикаста
- Сокращение количества записей в таблице глобальной маршрутизации
- Разумная политика делегирования
- Автоматическая настройка всего при правильном подходе к планированию
- NAT более не нужен

Переход от IPv4 к IPv6

В порядке предпочтения или от работающего к не работающему:

- Архитектура Dual Stack
- Туннелирование IPv6 внутри IPv4 https://tunnelbroker.net/
- NAT64
- Маппинг адресов IPv4 в IPv6

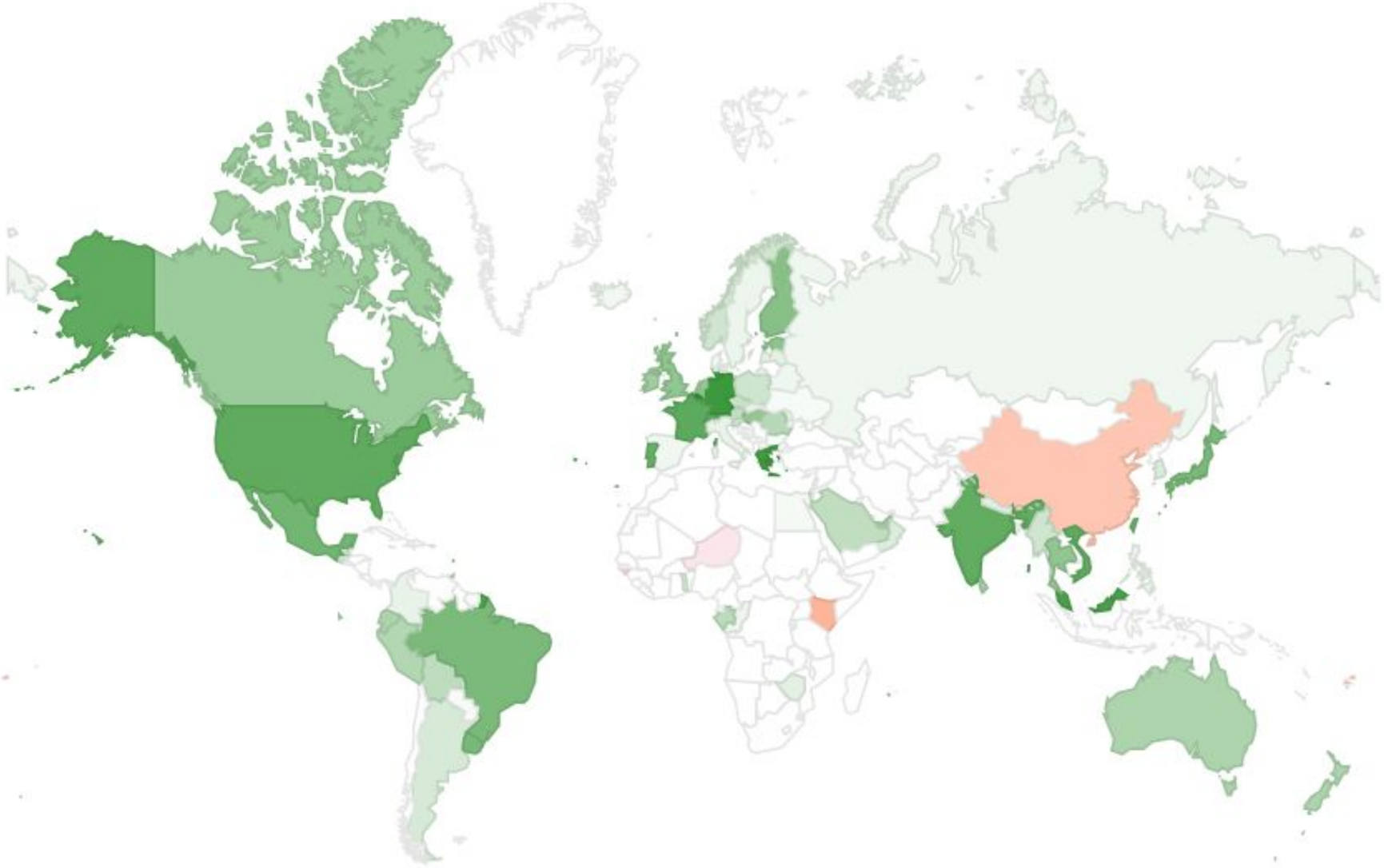
Проблемы:

- Что делать с DNS (DNS64? DNSSEC?)
- Фундаментальные различия в API нижнего уровня
- Появление IPv6-only операторов не за горами

Причины проблем с внедрением IPv6

- Хороший сетевой администратор – ленивый сетевой администратор
- Отсутствие поддержки IPv6 клиентским оборудованием SOHO-сегмента
- Исторические проблемы с дырами в реализации IPv6 в различных ОС
- Возможность теневого обхода механизмов сетевой безопасности
- Ложное восприятие технологии, как слишком сложной
- Неправильное понимание операторами принципов делегирования префиксов
- Проблемы с поддержкой со стороны оператора
- Сложности с реализацией DPI для IPv6
- Отсутствие сайтов и сервисов, работающих только по IPv6
- Ок, ок, но когда-нибудь потом

Текущий статус внедрения по данным Google



WE ♥ IPv6