



Ольга Макарова

## УЯЗВИМОСТЬ ИНТЕРНЕТА: МИФЫ И РЕАЛЬНОСТЬ

*Dear Mr. Andropov,*

*My name is Samantha Smith. I am ten years old. Congratulations on your new job. I have been worrying about Russia and the United States getting into a nuclear war. Are you going to vote to have a war or not? If you aren't please tell me how you are going to help to not have a war. This question you do not have to answer, but I would like to know why you want to conquer the world or at least our country. God made the world for us to live together in peace and not to fight.*

*Sincerely,  
Samantha Smith*



А  
Н  
А  
Л  
И  
З

Это письмо американской школьницы С. Смит, адресованное Председателю Президиума Верховного Совета и Генеральному Секретарю ЦК КПСС Ю. Андропову, было отправлено в ноябре 1982 г. и опубликовано в газете *Правда* в 1983 г.

Написать его Саманту побудили фотографии Ю. Андропова и Р. Рейгана на обложке журнала *Time Magazine*. Они были названы *людьми года*, однако в посвященной этому событию статье говорилось, что новый руководитель Советского Союза — человек крайне опасный и представляет реальную угрозу для безопасности США. Сегодня очевидно, что Ю. Андропов не планировал начинать ядерную войну с США, но для журналистов все годы, пока он был у власти, эта тема оставалась неисчерпаемым информационным поводом.

Сегодня мало кто всерьез задумывается об угрозе ядерной войны. Современный жупел и бесконечный информационный повод — безопасность глобального интернета и вероятность его полного или частичного отключения. Страсти накалились настолько, что того гляди появится новая С. Смит, которая напишет президентам России и США письмо с просьбой сохранить глобальный интернет.

Слухов, действительно, ходит немало. Можно вспомнить историю о якобы имевших место учениях по отключению российских пользователей от глобального интернета или о российской подлодке, намеревавшейся не то взорвать, не то перерезать кабельные системы, соединяющие материки. Звучит драматич-

но, но для специалистов очевидно, что силами одного провайдера, даже уровня глобального Tier 1, невозможно отключить интернет даже для всех пользователей одной страны, что и говорить о глобальном *блэкауте*. Также непонятно, как именно российская подводная лодка угрожала межконтинентальным кабельным системам. Ведь континенты соединены между собой по принципу *каждый с каждым*, причем не одной и не двумя, а значительно большим числом кабельных систем<sup>1</sup>.

Интернет представляет собой весьма сложную структуру, и проанализировать все возможные типы угроз для его функционирования — задача, выходящая далеко за рамки нашего исследования. В этой статье мы попробуем разобраться в том, насколько уязвима та часть инфраструктуры глобального интернета, которая отвечает за пропуск трафика. Мы намеренно не будем касаться уязвимостей системы доменных имен. Это большая тема, требующая отдельного обсуждения. В этой статье мы будем исходить из предположения, что стабильности работы системы доменных имен ничего не угрожает, и преобразование доменного имени в IP-адрес осуществляется во всех случаях.

## **ИНФРАСТРУКТУРА ОПОРНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

Для целей этой статьи под термином *инфраструктура опорных региональных сетей* мы будем понимать инфраструктуру кабельных, спутниковых и радиорелейных линий связи, задействованных для организации связи между городами одной страны. На территории Российской Федерации термин *инфраструктура опорной региональной сети* часто заменяют термином *магистральные сети связи Российской Федерации*.

Для организации инфраструктуры опорных региональных сетей (backbone/core networks) операторы, как правило, используют волоконно-оптические кабельные системы. Системы спутниковой связи и радиорелейные системы используются для организации линий связи в удаленных и труднодоступных регионах, в которых строительство и обслуживание волоконно-оптических линий связи экономически нецелесообразно или технически невозможно.

На рисунках 1, 2, 3 представлены карты сетей отдельных крупных операторов связи, входящих в состав инфраструктуры опорной региональной сети США, и карта инфраструктуры опорной региональной сети США.

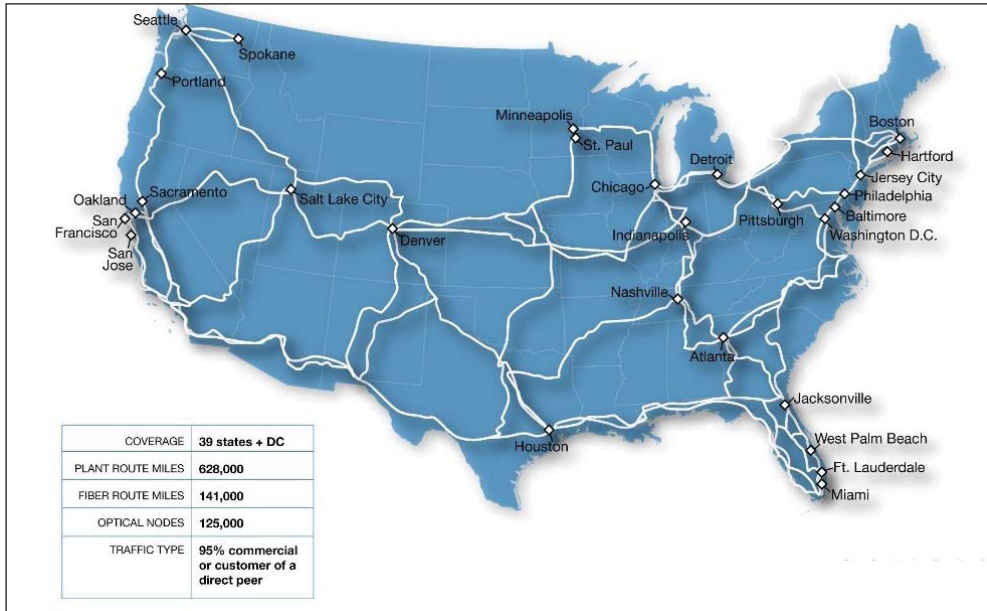
Следует обратить внимание на то, что инфраструктура опорных сетей резервируется по кольцевому принципу. Аналогичным образом организована инфраструктура сетей связи других крупных операторов, работающих в разных странах и на разных континентах.

Основу инфраструктуры опорной региональной сети Российской Федерации составляют сети следующих операторов связи: ПАО *Ростелеком*, ПАО *МТС*, ПАО *Мегафон*, ПАО *Вымпелком*, ЗАО *Компания ТрансТелеком* (рис. 4–6).

## **ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ПЕРЕХОДЫ**

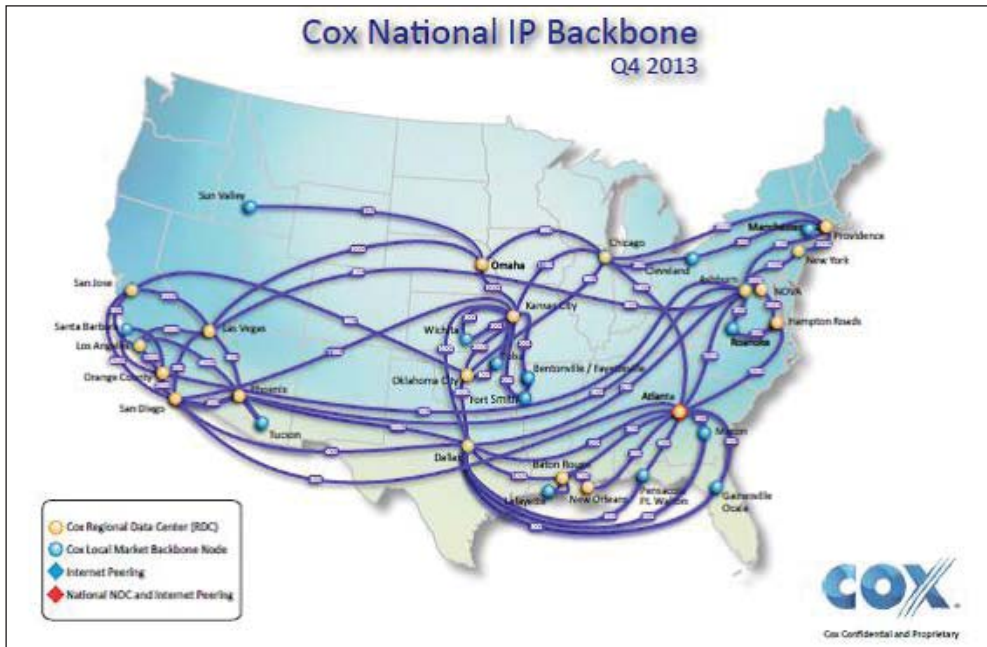
Для организации инфраструктуры, связывающей сети в составе опорных региональных инфраструктур, находящихся в разных странах, но на одном континенте,

**Рисунок 1. Карта сети оператора Comcast, обслуживающего более 15 млн домохозяйств в США, входящей в состав инфраструктуры опорной региональной сети США**



Источник: <http://business.comcast.com/about-us/our-network>

**Рисунок 2. Карта сети оператора Cox Communications, входящей в состав инфраструктуры опорной региональной сети США**

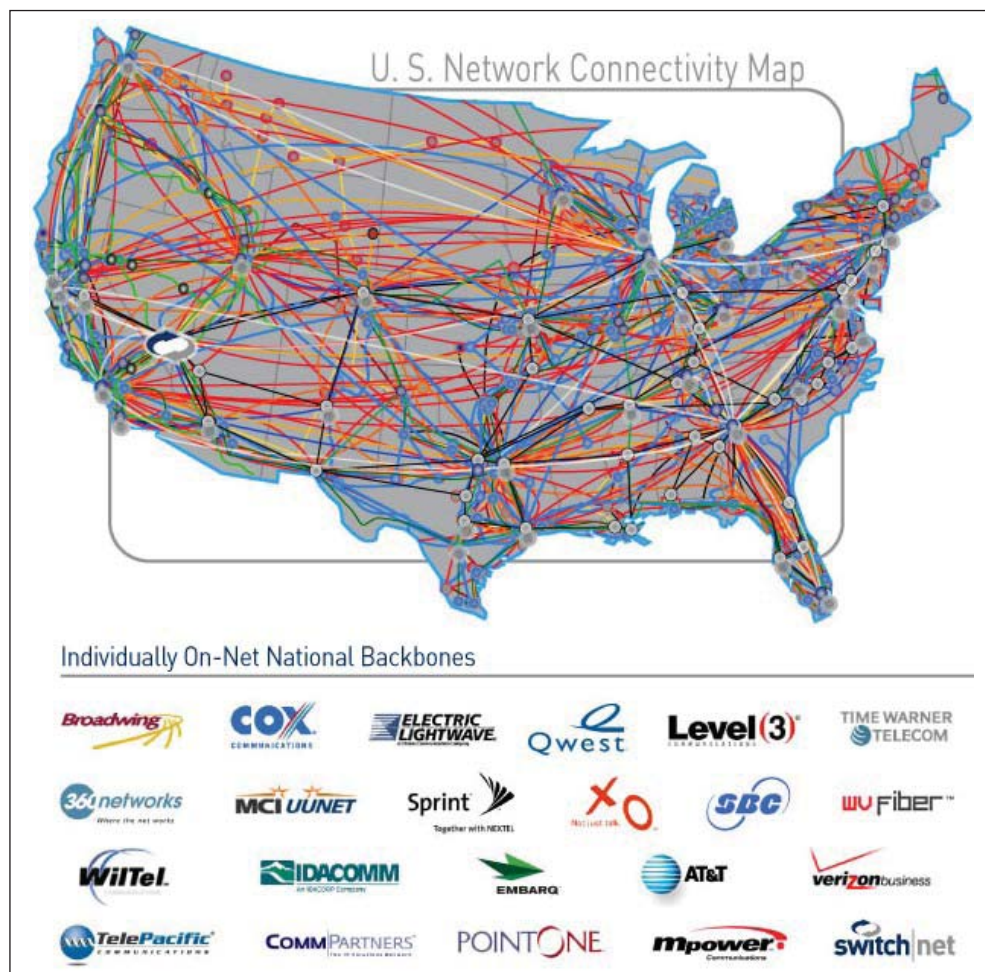


Источник: <http://www.cox.com/wcm/en/business/datasheet/national-ip-backbone-map.pdf>



Э  
И  
Л  
А  
Н  
А

Рисунок 3. Инфраструктура опорной региональной сети США



Источник: <http://www.hughandbecky.org/2013/internet-access-to-africa/>

операторы строят трансграничные переходы (в терминологии законодательства в области связи Российской Федерации *пограничные переходы*), преимущественно с использованием наземных волоконно-оптических линий связи.

Операторы, претендующие на роль региональных Tier 1, в обязательном порядке имеют собственные трансграничные переходы, которые используются для организации каналов связи для присоединения к глобальным Tier 1, а также к региональным точкам обмена трафиком. Термины *глобальный* и *региональный Tier 1* будут раскрыты в следующих разделах настоящей статьи.

На текущий момент в Российской Федерации зарегистрировано порядка 89 трансграничных переходов.

**Рисунок 4. Карта сети оператора ПАО Ростелеком, входящей в состав инфраструктуры опорной региональной сети Российской Федерации**



Источник: [http://www.rt.ru/data/doc/backbone\\_map.pdf](http://www.rt.ru/data/doc/backbone_map.pdf)

**Рисунок 5. Карта опорной сети оператора ПАО МТС, входящей в состав инфраструктуры опорной региональной сети Российской Федерации**

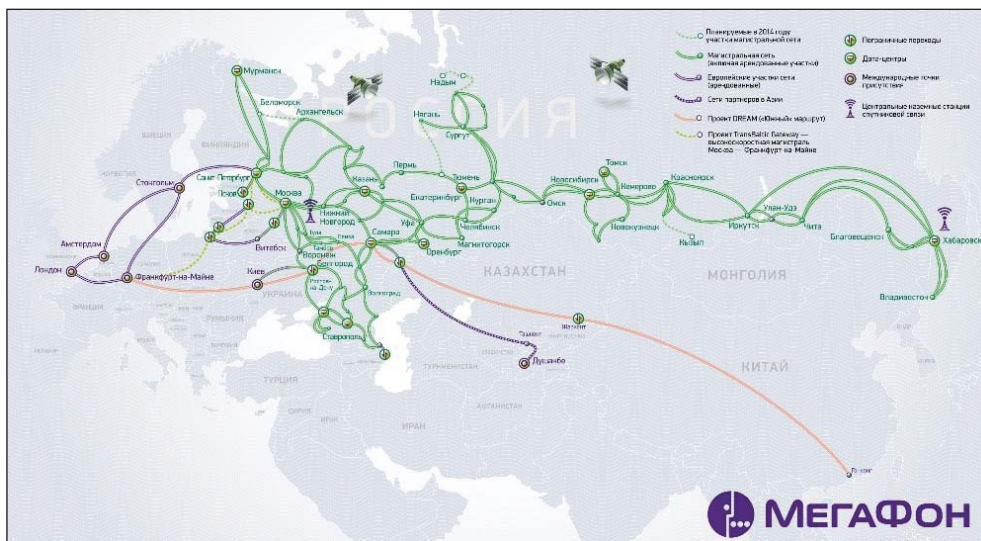


Источник: ПАО МТС

Строительству трансграничных переходов уделяется большое внимание, в том числе в рамках Тунисской программы Всемирной встречи на высшем уровне по вопросам информационного общества 2005 г., как основному фактору, ускоряющему решение проблемы цифрового неравенства.



**Рисунок 6. Карта сети оператора ПАО Мегафон, входящей в состав инфраструктуры опорной региональной сети Российской Федерации**



Источник: [http://moscow.megafon.ru/operators/help/megafon\\_network/main\\_map/](http://moscow.megafon.ru/operators/help/megafon_network/main_map/)

## **ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ПЕРЕХОДЫ МЕЖДУ КОНТИНЕНТАМИ, ПОДВОДНЫЕ КАБЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

Для организации межконтинентальных трансграничных переходов формируются консорциумы, которые прокладывают подводные кабельные системы.

На сегодняшний день связь между Европой и Америкой обеспечивают 7 подводных кабельных систем: Hibernia Atlantic, TAT-14, Atlantic — Crossing 1, TAT — TNG — Atlantic, Flag Atlantic — 1, Yellow и Appolo. Система Greenland Connect соединяет Исландию, Гренландию и Северную Америку. В свою очередь, Исландию с материком соединяют системы FARICE-1, CANTAT-3. DANICE. Азию и Северную Америку соединяют TATA TNG-PACIFIC, TRANS-PACIFIC EXPRESS, CHINA US, JAPAN US, PACIFIC CROSSING, UNITY/EAC PACIFIC. В 2016 г. планируется завершить строительство системы FAST, а в 2017 г. — системы NEW CROSS PACIFIC. Относительно недавно Европу и Азию соединяли преимущественно подводные кабельные системы: SEA-ME-WE 3, FLAG EUROPA ASISA, SEA-ME-WE 4. Однако в настоящее время для пропуска трафика между Европой и Азией наряду с подводными кабельными системами активно строятся и развиваются наземные кабельные системы, проходящие через Российскую Федерацию, Монголию, Казахстан, Белоруссию, Украину, Польшу, Финляндию, Швецию и прибалтийские страны. Полную карту подводных кабельных систем можно найти на сайте *TeleGeography* по адресу <http://submarine-cable-map-2015.telegeography.com/>.

Таким образом, сегодня в кабельных системах существует возможность резервирования маршрутов не только на уровне одного направления (задействуя ресурсы разных наземных и подводных кабельных систем попутного направления, к примеру Европа — Азия), но и возможность частичного резервирования маршрутов

путем задействования различных кабельных систем на различных направлениях, например частичное резервирование направления Азия — Америка через Европу.

Наряду с этим, глобальные игроки рынка продажи контента и информационно-коммуникационных сервисов, в первую очередь американские, за которыми вплотную следуют китайские, на данный момент стремятся разместить свое оборудование (серверы) в наиболее востребованных точках обмена трафиком на разных континентах, в так называемых *телехаусах* (датацентрах для телеком-инфраструктуры) — местах сосредоточения узловой инфраструктуры крупных, средних и мелких операторов. Кроме точек обмена трафиком и телехаусов, контент-сервис-провайдеры и провайдеры информационно-коммуникационных сервисов активно размещают оборудование в сетях региональных операторов. Для этого не всегда выбираются операторы регионального уровня Tier 1, так как в данном случае провайдерам главное встать как можно ближе к конечному потребителю. Это один из наиболее важных аспектов современного ландшафта предоставления доступа к контенту и информационно-коммуникационным сервисам и один из способов максимального охвата, а иногда и захвата целевой аудитории, ценность которой возрастает пропорционально росту числа пользователей контента и информационно-коммуникационных сервисов.

При такой организации раздачи контента и услуг контент-сервис-провайдер имеет возможность экономить на закупке услуг IP-транзита у upstream-провайдеров. Действуя по принципу *любое подключение, в любом месте, в любое время* контент-сервис-провайдеры получают максимально возможную гибкость при организации подключений. Такой ландшафт предоставления контента и информационно-коммуникационных сервисов фактически лишает продавцов услуг IP-транзита и upstream-провайдеров их рыночной силы. Они уже не могут активно влиять ни на принятие контент-сервис-провайдером решения об установлении соединений, ни на раздачу трафика с платформы контент-сервис-провайдера.

Тем не менее, чтобы понять, что реально влияет на качество услуг, оказываемых конечным клиентам, будет полезно проанализировать некоторые наиболее серьезные аварии на подводных кабельных системах.

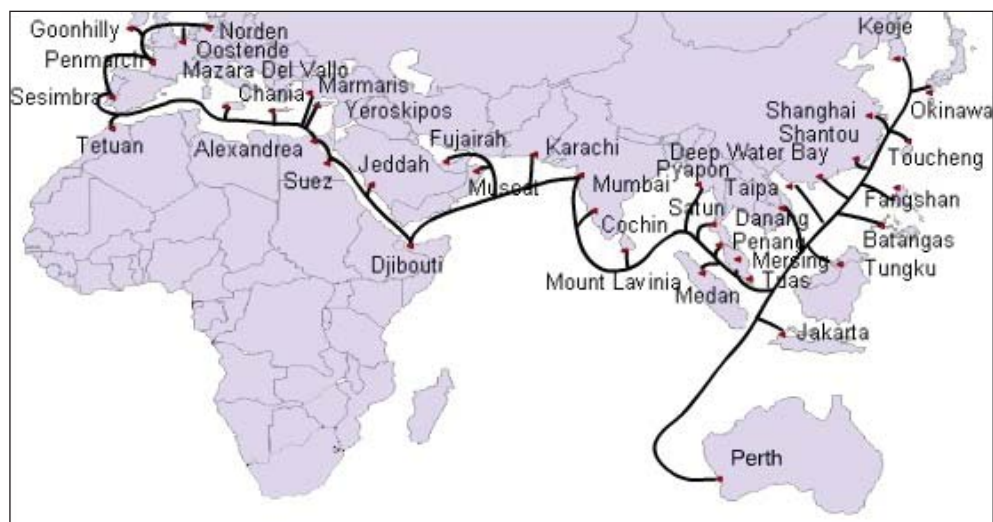
В июле 2005 г. возникло повреждение кабеля подводной кабельной системы SEA-ME-WE 3. Некоторые источники утверждают, что в повреждении кабеля виноваты излишне любопытные морские обитатели. Повреждение произошло в 35 км к югу от г. Карачи. Поврежден был не опорный кабель системы SEA-ME-WE 3, а так называемый *кабельный отвод* — кабель, соединяющий береговой колодец с опорным кабелем (см. рис. 7). Поэтому ухудшение качества услуг наблюдалось только в Пакистане.

В результате аварии в Пакистане возникли серьезные проблемы со всеми видами связи, включая доступ к интернету. Следует отметить, что в то время в Пакистане собственные информационные ресурсы были развиты достаточно слабо, кэширующие серверы ведущих поставщиков информации на территории Пакистана не размещались, поэтому в структуре потребления трафика присутствовала значительная доля зарубежного трафика, получить который можно было только через подводную кабельную систему. Впрочем, с тех пор ситуация изменилась незначительно.

26 декабря 2006 г. из-за землетрясения у берегов Тайваня случилось очередное повреждение кабельной системы SEA-ME-WE 3. Ухудшение качества связи имело место у пользователей на Тайване и частично в Южной Корее и Китае<sup>3</sup>.



Рисунок 7. Подводная кабельная система SEA-ME-WE-3. Место повреждения кабеля выделено красным



Источник: <http://hlaoo1980.blogspot.ru/2013/07/leaked-underground-cable-disrupting.html>, <http://www.smh.com.au/news/breaking/communication-breakdown-in-pakistan/2005/06/29/1119724673577.html?from=moreStories>, <http://timesofindia.indiatimes.com/world/pakistan/Pakistan-cut-off-from-the-world/articleshow/1154683.cms?referral=PM>

30 января 2008 г. в Египте, в районе Александрии, якорем судна была повреждена резервная кабельная система SEA-ME-WE 4. В результате обрыва кабеля пользователи из Соединенных Штатов и Европы не могли осуществлять международные звонки в страны Ближнего Востока и Южной Азии. Услуги связи были недоступны более чем для 70% пользователей Египта<sup>4</sup>.

Следует отметить, что Египет, как и Пакистан, не имеет собственных сколь-нибудь значимых информационных ресурсов, основное потребление трафика составляют зарубежные ресурсы, кэширующие серверы на территории страны не размещались.

19 декабря 2008 г. вновь были серьезно повреждены кабельные системы SEA-ME-WE 4, FLAG FEA и GO-1. Также происходили аварии 10 января 2013 г., 30 января 2014 г. и 8 января 2015 г.

15 сентября 2015 г. возник очередной обрыв кабеля. Проблемы с доступом к интернету испытывали пользователи Сингапура и Австралии. Особые проблемы возникли у пользователей продукции *Apple*, так как именно в это время осуществлялось обновление операционных систем iOS 9 и OS X<sup>5</sup>.

Следует отметить, что проблемы со скачиванием обновлений *Apple* в этот период испытывали не только пользователи из Сингапура и Австралии. Летом 2015 г. компания *Apple* поменяла подходы к организации каналов распространения своих продуктов. Если до лета 2015 г. обновления *Apple* были доступны через сети доставки контента (CDN) глобальных контент-провайдеров, таких как *Akamai*, *Level 3* и др.,



то по состоянию на 15 сентября 2015 г. обновления *Apple*, поменявшего стратегию раздачи контента, должны были стать доступными для операторов и их пользователей исключительно через прямые соединения между оборудованием *Apple* и оборудованием каждого оператора связи в точках обмена трафиком и телехаусах.

К сожалению, специалисты *Apple* на момент раздачи новых версий iOS не смогли корректно настроить таблицы маршрутизации, и большую часть обновлений пользователи операторов получили через сети глобальных Tier 1, у некоторых из которых из-за создавшейся внештатной ситуации ряд стыков оказались перегруженными. Представители *Apple* не смогли дать однозначный ответ на вопрос, что произошло с маршрутизацией трафика.

Статистика аварийных ситуаций в других кабельных системах аналогична статистике аварийных ситуаций, приведенных выше.

Таким образом, основные причины аварийных ситуаций — природные явления, гражданские суда, чуть реже морские обитатели.

При возникновении аварийных ситуаций наименее защищенными оказываются пользователи тех стран, где:

- отсутствуют собственные информационные ресурсы;
- отсутствуют развитые точки обмена трафиком;
- не развита структура телехаусов;
- не установлены прямые соединения между основными региональными Tier 1 (пиринговые соединения);
- региональные Tier 1 не сформировались или вытеснены с рынка западными игроками — продавцами услуг IP-транзита;
- ведущие глобальные контент-сервис-провайдеры не размещают кэширующие серверы в виду отсутствия технической возможности, наличия политической воли не допускать размещения кэширующих серверов зарубежных контент-сервис-провайдеров или отсутствия экономической целесообразности такого размещения.

Иными словами, наиболее уязвимыми являются пользователи тех стран, где отсутствует национальная интернет-экосистема. Но в большинстве случаев интернет оказывается относительно устойчив к авариям на подводных кабельных системах.

Гораздо сильнее страдают голосовые сервисы, в первую очередь, услуги международной телефонной связи. Несмотря на достаточно широкое распространение интернет-технологий, многие операторы до сих пор используют системы цифровой иерархии (SDH) для пропуска междугородного телефонного трафика. В договорах такая организация услуг по пропуску готового трафика относится к категории *premium*, то есть высшего качества. Одновременно с этим специализированные услуги для корпоративных клиентов, в числе которых онлайн-доступ к торгам на бирже, также являются очень уязвимыми в случае аварии на кабельных системах.

В последнее время отчетливо прослеживается новый тренд — постепенная миграция международного голосового трафика в IP-сети. В отдельных странах этот процесс идет очень быстро, в других достаточно медленно и тяжело. В первую оче-



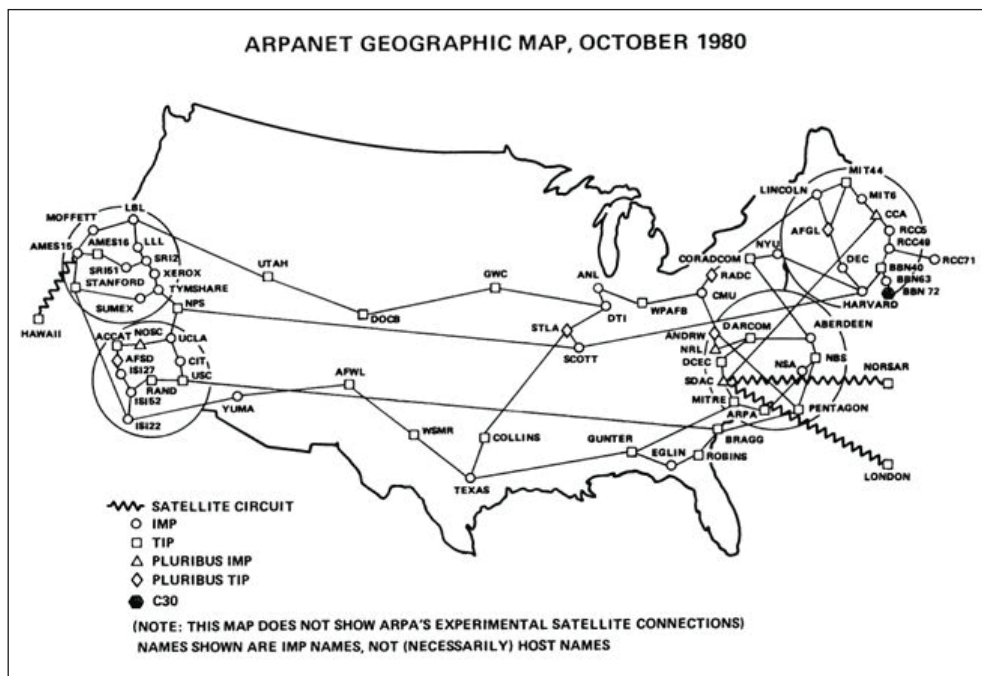
редь, сложность перехода определяется привычками и привязанностями, а также мифами о ненадежности IP-сетей, бытующими в среде профессионалов. На самом деле такой переход был бы вполне оправданным, ведь, как мы видим на практике, любой обрыв на подводной кабельной системе оказывает меньшее воздействие на функционирование глобального интернета, чем на телефонию, так как за счет своей распределенности и присутствия многих глобальных ресурсов в различных точках земного шара интернет страдает значительно меньше, чем международная телефония, организованная в SDH-системах, или специализированные услуги для корпоративных клиентов.

Впрочем, чтобы IP окончательно закрепился на международном телефонном транзите, с высокой степенью вероятности потребуются смена поколений, то есть смена людей, а не оборудования или программного обеспечения.

## ИНТЕРНЕТ-ЭКОСИСТЕМЫ: ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ

Для того чтобы разобраться в структуре современного интернета и убедиться в ее устойчивости, нам придется вернуться на много лет назад, в те времена, когда интернет перестал быть спонсируемым министерством обороны США проектом и начал свое движение по планете. Инфраструктура интернета того времени выглядела примерно так:

Рисунок 8. Инфраструктура интернета 1980 г.



Источник: <http://personalpages.manchester.ac.uk/staff/m.dodge/cybergeography/atlas/historical.html>

Как только проект стал коммерческим, возникла необходимость научиться зарабатывать на нем деньги. И тогда появились правила.

## **КЛУБ ГЛОБАЛЬНЫХ TIER 1 — ОСНОВА ИНФРАСТРУКТУРЫ ПЕРВОЙ ОПОРНОЙ СЕТИ ГЛОБАЛЬНОГО ИНТЕРНЕТА**

Нашлось шесть компаний, часть которых получила в наследство, а часть достроила зачатки инфраструктуры глобального интернета. Они образовали между собой прямые связи по принципу *каждый с каждым* (см. рисунок 8). Эти связи получили название *пиринговых соединений*, а взаимоотношения между владельцами этих связей стали называться *пирингом*. Таким образом, сформировалась сущность глобальных Tier 1, сети которых составили основу инфраструктуру самой первой опорной сети глобального интернета.

Пиринг-партнеры могли обмениваться друг с другом трафиком своих клиентов и присоединенных к ним операторов, интернет-сервис провайдеров, контент-сервис-провайдеров и пр., которые имели собственные автономные системы. Но ни один из пиринг-партнеров не мог осуществлять транзит (передачу) трафика клиентов, присоединенных операторов и др. одного пиринг-партнера другому пиринг-партнеру через свою автономную систему.

## **НЕСКОЛЬКО СЛОВ ОБ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ**

В настоящее время автономная система (AS) может использовать несколько протоколов внутренней маршрутизации, а в некоторых случаях и несколько наборов метрик в рамках одной AS. При этом администрирование автономной системы для других автономных систем выглядит как единый план внутренней маршрутизации и показывает согласованную картину доступности ресурсов в этой автономной системе.

Каждая автономная система имеет уникальный идентификатор — номер автономной системы — Autonomous System Number (ASN). Номер автономной системы используется при обмене маршрутными данными между соседними автономными системами, а также в качестве обозначения самой автономной системы. Обычно автономная система использует один или несколько протоколов внутренней маршрутизации (IGP) для передачи сведений о маршрутизации в пределах данной AS. Рекомендуемым протоколом внешней маршрутизации сегодня является Border Gateway Protocol (BGP).

## **МОДЕЛИ РАСЧЕТОВ В ИНТЕРНЕТЕ**

Все присоединявшиеся к глобальному Tier 1 операторы, контент-сервис-провайдеры, клиенты и пр. должны были платить Tier 1 за пропуск трафика, независимо от того, является ли этот трафик входящим или исходящим. Если оператор, клиент или контент-сервис-провайдер с целью резервирования осуществлял подключение к двум или более Tier 1, оплата осуществлялась в адрес каждого Tier 1, к которому было осуществлено подключение.



Ни один глобальный Tier 1 не должен был платить никому. Разрыв пиринговых соглашений и стыков между членами клуба Tier 1 был невозможен, так как грозил серьезными последствиями для устойчивости функционирования глобального интернета. В следующих разделах будет показано, к каким серьезным последствиям приводили попытки глобальных Tier 1 разорвать пиринговое соединение с несговорчивым пиринг-партнером из-за невозможности достижения приемлемых коммерческих договоренностей путем ведения переговоров.

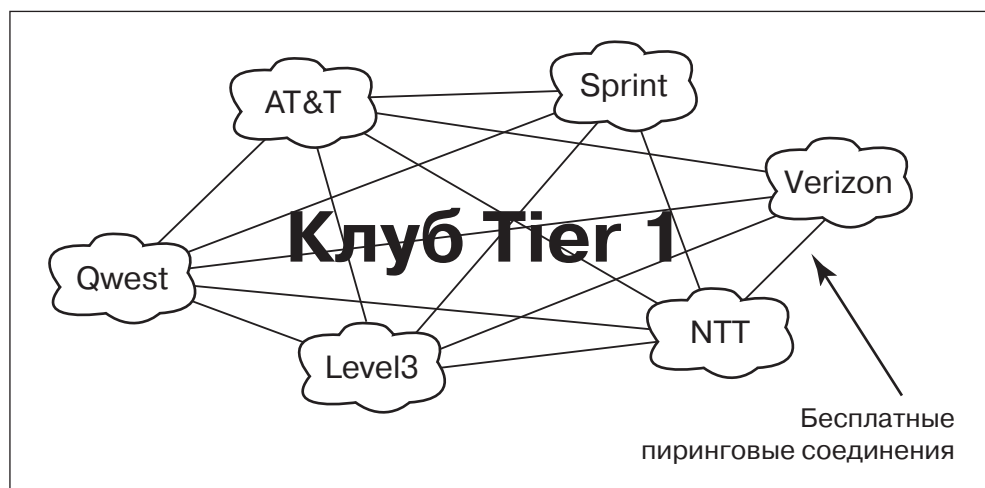
Условием вступления в клуб глобальных Tier 1 было установление пиринговых соединений со всеми членами клуба. Это требование было вполне обоснованным. В соответствии с имеющимися договоренностями, члены клуба предлагали клиентам (операторам или контент-сервис-провайдерам) трафик не только своей сети, но и сетей (ресурсов) своих клиентов, включая присоединенных операторов и контент-сервис-провайдеров, а также трафик всех своих пиринг-партнеров. Другие члены клуба с этими клиентами не работали. Сделано это было, чтобы избежать конкуренции и не лишать партнеров дохода.

Очень многие крупные операторы для входа в клуб глобальных Tier 1 вынуждены были осуществить покупку компаний-членов этого клуба. Например, *Level 3* купила *Genuity*.

Присоединенным операторам не запрещалось продавать трафик другим операторам, которые по тем или иным причинам не смогли присоединиться ни к одному из глобальных Tier 1.

При осуществлении такой продажи оператор, присоединенный к глобальному Tier 1, становился Tier 2 и получал право продавать трафик своей сети, сетей своих клиентов, сетей присоединенных операторов и контент-сервис-провайдеров, сетей своих пиринг-партнеров и весь трафик, который Tier 2 получал от глобального Tier 1.

**Рисунок 9. Клуб глобальных Tier 1 после покупки отдельных игроков крупными операторами<sup>6</sup>**



Отношения по продаже трафика получили название IP-транзит. Оператор или провайдер, продающий услугу IP-транзит, именовался upstream, оператор или провайдер, покупающий услугу IP-транзит, именовался downstream.

Уровень вложенности такой системы был не ограничен.

В это же время был выработан и установлен еще один очень важный принцип: независимо от того, является ли компания контент-сервис-провайдером, то есть компаний, создающей трафик для конечных потребителей, или оператором связи, то есть компанией, потребляющей трафик за счет своих потребителей, все должны платить своему upstream-партнеру. Никогда и ни при каких условиях upstream-партнер не должен платить компании, генерирующей трафик, даже если этот трафик в дальнейшем потребляется его клиентами или клиентами присоединенных к нему downstream-операторов. Контент-сервис-провайдер должен зарабатывать деньги на рекламе, операторы — на конечных клиентах, но и те, и другие должны оплачивать своим upstream-партнерам услуги IP-транзита.

Американские Tier 2 довольно быстро поняли, что, устанавливая пиринги с равными себе, можно сэкономить на оплате услуг глобальных Tier 1, а дальше это понимание спустилось вниз по цепочке по уровням вложенности. Вопрос, как определить, кто равен тебе, а кому ты можешь продавать трафик, требовал индивидуального подхода и креативного мышления пиринг-менеджеров.

Устанавливать соединения с равными себе можно было через точки обмена трафиком или напрямую. В США, откуда пошел интернет, большая часть операторов предпочитает устанавливать пиринговые соединения с равными себе напрямую, минуя точки обмена трафиком. В Европе ситуация выглядит несколько иначе.

Само собой разумеется, что на начальных стадиях развития глобального интернета европейские операторы, желающие подключиться к нему, вынуждены были оплачивать не только услуги IP-транзита глобальных Tier 1, но и платить за каналы связи, организованные через подводные кабельные системы. Поэтому европейские операторы были крайне заинтересованы в развитии пиринговых отношений на своей территории, а также в приближении контента к европейскому потребителю.

Следует отметить, что глобальные контент-сервис провайдеры, крайне заинтересованные в расширении своей аудитории, были готовы поставить свое оборудование в Европе для того, чтобы снизить платежи глобальным Tier 1, Tier 2, а иногда и Tier 3.

Приходить в Европу и арендовать каналы для подключения к каждому из операторов глобальным контент-ресурсам на этапе становления европейского сегмента сети Интернет было экономически нецелесообразно. Поэтому в Европе начали активно развиваться точки обмена трафиком.

В своих работах исследователь экономических отношений в интернете У. Нортон<sup>7</sup> выделяет следующие предпосылки для появления востребованных точек обмена трафиком:

Теория здоровой пиринговой интернет-экосистемы:

- востребованные точки обмена трафиком появляются и процветают там, где существует большая концентрация потребителей контента и большой объем контента;



- когда объем локального (регионального) трафика значителен, международные интернет-провайдеры и CDN заинтересованы в создании новой точки обмена трафиком в регионе, чтобы разгрузить собственные международные маршруты.

Теория точки вывода кабелей:

- точки вывода должны быть расположены топологически близко к местам выхода подводных кабелей, например в портах.

Теория географической близости:

- Лондон — удачное место для продвижения интернета внутри Европы;
- Франкфурт-на-Майне — удобная площадка для сбора ближневосточного трафика и трафика провайдеров Восточной Европы;
- Австралия лежит *на пути в никуда*.

Теория финансового центра (предложена А. Нипером):

- финансовые рынки являются драйвером роста точек обмена трафиком;
- финансовое сообщество выступает за максимальное сокращение задержек, стимулируя операторов размещаться вблизи финансовых центров;
- самые большие точки обмена трафиком расположены в Лондоне, Франкфурте, Амстердаме, Нью-Йорке, Чикаго и Токио, потому что там расположены ведущие финансовые биржи. На очереди Милан.

Теория бизнес ориентированности (предложена М. Мойл-Крофтом):

Рисунок 10. Динамика падения цены за единицу трафика<sup>8</sup>

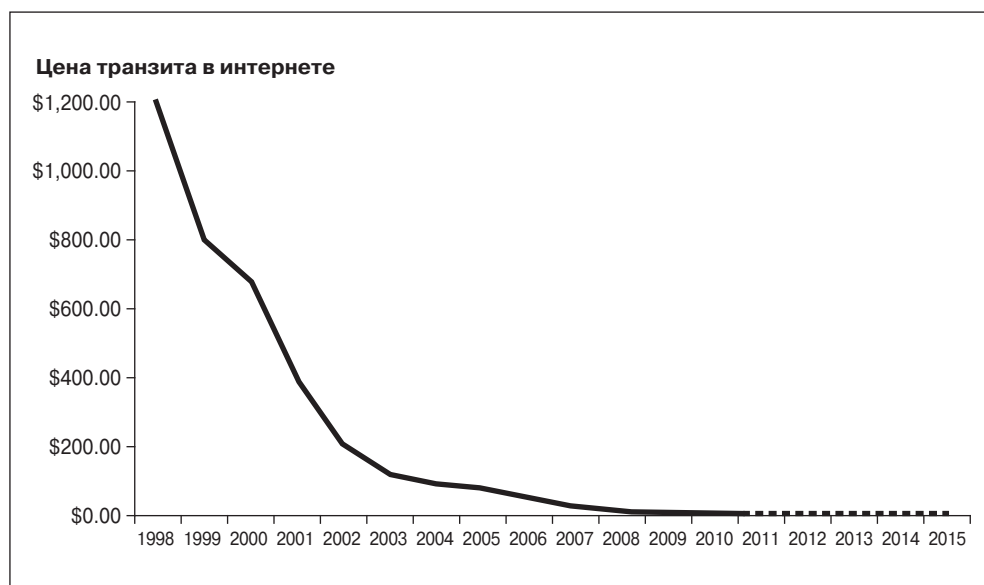
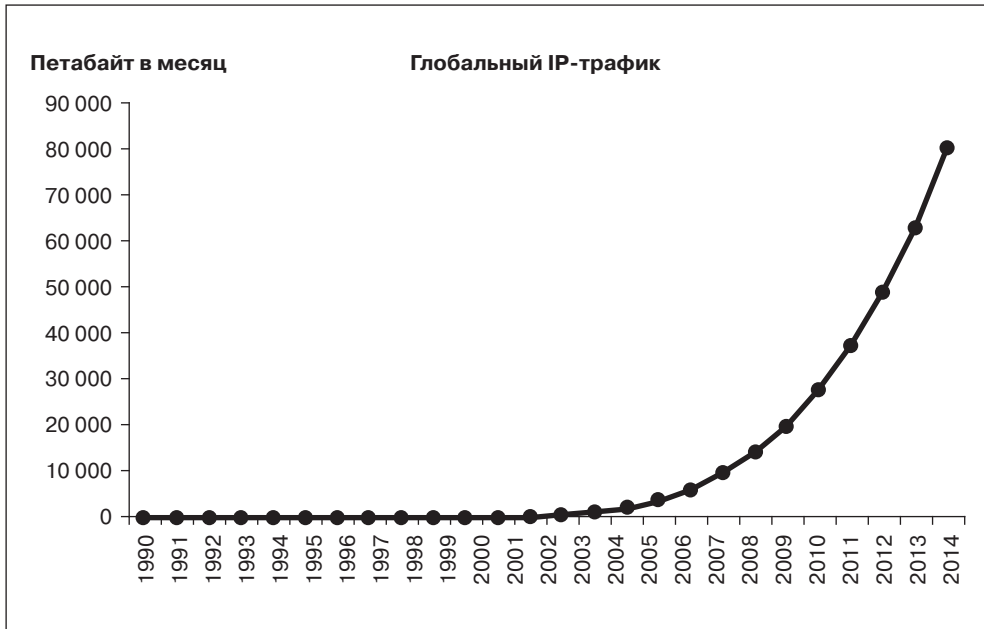


Рисунок 11. Рост объемов передаваемого трафика<sup>9</sup>



А  
Н  
А  
Л  
И  
З

- нестабильная правовая и регуляторная среда сводит на нет любые попытки строить региональные точки обмена трафиком и привлекать международных игроков;
- для деловых людей работа в рамках запутанных и обременительных правил, установленных национальным регулятором и отличных от общемировых практик, не представляет интереса.

Развитие точек обмена трафиком и замыкание трафика внутри региона привело к возникновению региональных интернет-экосистем со своими региональными Tier 1. Развитие региональных информационных ресурсов, а также стремление глобальных контент-сервис-провайдеров присутствовать во всех крупных точках обмена трафиком привели к значительному снижению зависимости от американских провайдеров и к повышению устойчивости функционирования глобального интернета.

Все это привело к стремительному падению цен на услуги IP-транзита, что заставило глобальных Tier 1 начать региональную экспансию. Результатом экспансии в Европу стал следующий размен: глобальных Tier 1 допустили до уровня конечных пользователей, предоставив им доступ к европейской инфраструктуре на участках *последней мили*. За это ряд крупных европейских провайдеров, включая *Deutsche Telekom, Telefonica, France Telecom, Telecom Italia* были включены в клуб глобальных Tier 1, что не привело к увеличению объемов построенной инфраструктуры, но увеличило надежность функционирования сети. Была сформирована региональная европейская интернет-экосистема.

Сегодня таблица глобальных Tier 1 выглядит так<sup>10</sup>:

Наименование компании	Страна	Номер AS	Число подключенных AS
<i>Level 3 Communications</i> (бывшие <i>Level 3, Global Crossing</i> )	США	3356/3549/1	4402
<i>AT&amp;T</i>	США	7018	2365
<i>XO Communications</i>	США	2828	2904
<i>Verizon Business</i> (бывший <i>UUNET</i> )	США	701, 702	1946
<i>CenturyLink</i> (бывший <i>Qwest</i> и <i>Savis</i> )	США	209/3561	1367
<i>Sprint</i>	США	1239	1183
<i>Zayo Group</i> (бывший <i>AboveNet</i> )	США	6461	1066
<i>GTT</i> (бывший <i>Inteliquent</i> )	США	3257	886
<i>NTT Communications</i> (бывший <i>Verio</i> )	Япония	2914	718
<i>TeliaSonera International Carrier</i>	Швеция	1299	630
<i>Tata Communications</i> (бывший <i>Teleglobe</i> )	Канада	6453	569
<i>Deutsche Telekom AG</i>	Германия	3320	535
<i>Telecom Italia Sparkle (Seabone)</i>	Италия	6762	344
<i>Telefonica</i>	Испания	12956	150
<i>OpenTransit (France Telecom)</i>	Франция	5511	146
<i>AOL Transit Data Network (ATDN)*</i>	США	1668	
<i>Cogent Communications*</i>	США	174	3537
<i>Hurricane Electric*</i>	США	6939	2180

\* Существует мнение, что эти операторы осуществляют пиринг на платной основе с отдельными Tier 1.

На формирование азиатской интернет-экосистемы значительное влияние оказали Китай и Япония. В Китае был поставлен *Великий китайский брендмауэр* с целью не допустить выхода на массовый китайский рынок глобальных сервисов типа *Google* и пр. Это дало возможность активно развивать собственные информационные ресурсы, в том числе *Baidu, Alibaba* и пр. Япония самостоятельно производит значительный объем контента, в том числе с использованием *Вокалоид (Vocaloid)* — программного обеспечения производства компании *Yamaha Corporation* с технологией полного синтеза речи по правилам с использованием предварительно занесенных в память фрагментов естественного языка.

Поэтому более 80% трафика интернет-экосистем замыкаются внутри этих стран, что делает их слабо зависимыми от аварийных ситуаций как на подводных кабельных системах, так и в сетях глобальных Tier 1. Японская компания *NTT Communications* входит в клуб глобальных Tier 1.

В Гонконге и Токио построены крупнейшие точки обмена трафиком, в которых присутствуют фактически все операторы и контент-сервис-провайдеры Тихоокеанского — Южно-Азиатского регионов.



По сообщению издания *New York Times*, в настоящее время Китай ужесточил требования к работе иностранных мессенджеров, в том числе *WhatsApp*, *Telegram* и др. По данным *New York Times*, полиция Китая по указу правительства совместно с операторами начала работу по отключению от услуг мобильной связи абонентов, использующих мессенджеры иностранного производства, а также пользующихся услугами VPN.

Кроме того, в Китае была создана и сейчас апробируется новая технология перехвата трафика при обращении к серверам китайской поисковой системы *Baidu*. Если поступивший запрос соответствует определенным критериям, то система внедряет в ответный трафик вредоносный скрипт, с помощью которого власти Китая проводят DDoS-атаки. Технология получила название *Великая пушка (Great Cannon)*. Пока информации очень мало, и сложно оценить, насколько это нововведение будет представлять собой угрозу для устойчивого функционирования глобального интернета.

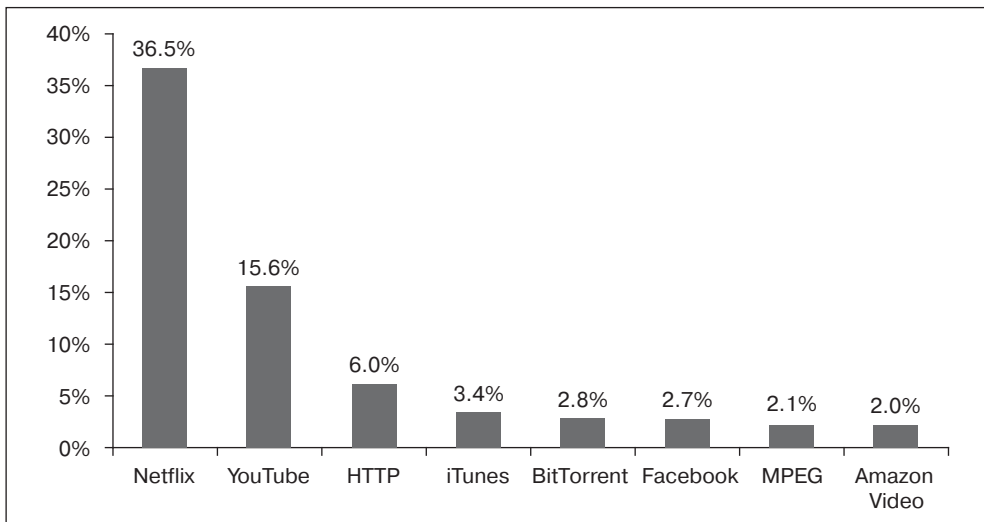
Стоит отметить, что не только японская и китайская, но и североамериканская интернет-экосистема сильно замкнута на себя. Впрочем, устроена она несколько иначе. Ее основой является платное телевидение, которое возникло в США и стало самой востребованной услугой на континенте. Поэтому 36% трафика, потребляемого пользователями США, — это трафик крупнейшего контент-сервис-провайдера *Netflix*, до недавнего времени предоставлявшего услуги доступа к контенту только на территории североамериканского континента.

Для пользователей США опасность представляют не выдуманные угрозы вроде российской подводной лодки, которая по непонятным причинам была заподозрена в попытке вывести из строя некую подводную кабельную систему, а постоянные выяснения отношений между теми, кто продает контент через *чужие сети*, и теми, кто эти сети строит и эксплуатирует.



Э  
И  
Л  
А  
Н  
А

Рисунок 12. Распределение потребления трафика пользователями США<sup>11</sup>



## ПИРИНГОВЫЕ ВОЙНЫ МЕЖДУ ГЛОБАЛЬНЫМИ TIER 1: ЧТО ВАЖНЕЕ — КОНТЕНТ ИЛИ СЕТЬ

К реальным угрозам для устойчивого функционирования сети интернет на североамериканском континенте можно отнести пиринговые войны между глобальными Tier 1, которые активно велись с конца 90-х до середины 2000-х гг.

В своей книге *The Art of Peering*<sup>12</sup> У. Нортон называет эту тактику пиринга *chicken*. Для целей этой статьи мы будем именовать ее *куриной возней*. Впервые эта тактика была применена в 1990 г. Компании *Genuity (BBN Planet)* и *Exodus* обменивались большим количеством трафика. В какой-то момент *Genuity* посчитала, что доставлять трафик *Exodus* по всей стране — дорогое удовольствие, за которое *Exodus* должна платить. *Exodus* посчитала, что *Genuity* пытается получить ее контент бесплатно. *Exodus* была уверена, что *Genuity* не положит пир. *Genuity* пир положила. Обмен трафиком возобновился только после того, как *Exodus* организовала несколько точек обмена трафиком на территории США. Эта битва осталась фактически незамеченной ни пользователями, ни регулятором<sup>13</sup>.

Следующая битва, которая произошла между *AOL* и *Cogent* в 2003 г., имела куда более значимые последствия. *AOL* посчитала, что паритет в обмене трафиком был нарушен. *Cogent* потребляла в три раза больше, чем отдавала. *Cogent* решила, что *AOL* хочет получить дополнительные деньги за контент, и возразила, что *AOL* не имеет своей инфраструктуры по стране и использует инфраструктуру *Cogent*. Цена вопроса — 75 000 долл. в месяц. Последствия были значительно более печальными, чем в никем не замеченной войне между *Genuity* и *Exodus*, в том числе в школах, подключенных к сети *Cogent*, был ограничен доступ к национальным ресурсам. Произошла перегрузка соединений на пиринге с Level 3. *Cogent* была вынуждена покупать транзит у *AbobeNet* по цене 35 долл. США за 1 Мбит полосы. Позднее договоренности с *AOL* были достигнуты, и пир восстановлен<sup>14</sup>.

В 2005 г. *Cogent* поучаствовала в пиринговых войнах сразу с двумя операторами. Сначала *Level 3* посчитал, что его инфраструктура используется *Cogent* для передачи больших объемов трафика, что коммерчески невыгодно для *Level 3*. *Cogent* ответила, что *Level 3* пытается заставить ее повысить цену на транзит трафика, так как ценовая политика *Cogent* ведет к оттоку клиентов у *Level 3*. В результате клиенты обеих компаний в течение длительного времени имели проблемы с качеством предоставляемых услуг, в том числе голосовых<sup>15</sup>.

В 2005 г. *TeliaSonera* посчитала, что она не должна в одностороннем порядке нести затраты на модернизацию инфраструктуры, используемую в том числе *Cogent*. *Cogent* посчитала несправедливым оплачивать расходы. Пострадали клиенты обеих компаний. В итоге договоренности были достигнуты, пир восстановлен<sup>16</sup>.

В 2008 г. аналогичный спор возник у *Cogent* с компанией *Sprint*, которая решила, что паритет трафика был нарушен, и захотела пересмотреть условия соглашения о пиринге. *Cogent* посчитала, что *Sprint* нарушила имевшиеся договоренности. Пострадали клиенты обеих компаний. В итоге договоренности были достигнуты, пир восстановлен<sup>17</sup>.

После 2008 г. крупнейшие операторы США вели войну с *Netflix*, пытаясь выставить заградительные цены и ухудшить качество услуг доступа своих клиентов к контенту, распространяемому через платформу *Netflix*. Результатом этих войн стало при-

нятие пакета документов, определивших новые правила для открытого интернета (*Open Internet Order*)<sup>18</sup>. В тексте 400-страничного документа *Cogent* и ее войны упоминаются неоднократно. Чтобы избежать подобных инцидентов, регулирование, в том числе пиринговых отношений, будет осуществляться в рамках прецедентов в режиме *легкого касания*. Основная задача участников рынка — договориться друг с другом.

## ФОРМИРОВАНИЕ РОССИЙСКОЙ ИНТЕРНЕТ-ЭКОСИСТЕМЫ

В Российской Федерации развитие интернета в конце 90-х гг. шло неравномерно, со значительным отставанием регионов. Это было связано с достаточно высокими ценами на аренду каналов связи до Москвы и Санкт-Петербурга, куда приходили международные каналы связи и где активно развивались региональные информационные ресурсы.

В 1998 г. ОАО *Ростелеком* (в настоящий момент ПАО *Ростелеком*) начало реализацию первого проекта по созданию опорной сети интернета в Российской Федерации. Позже развитием проекта строительства опорной инфраструктуры занялось ЗАО *Компания ТрансТелеком*. Однако в 2001 г. интернет-бизнес ОАО *Ростелеком* был передан в дочернюю компанию ОАО *РТКомм.РУ* (в настоящий момент ПАО *РТКомм.РУ*, занимается развитием систем спутниковой связи). В это же время ЗАО *МТУ-Интел* начало реализацию масштабного проекта по предоставлению массовых услуг широкополосного доступа с использованием технологии для подключения конечных пользователей в Москве.

В 2001 г. на рынок услуг российского IP-транзита начала активное продвижение компания *Cable&Wireless*, предлагая очень низкие цены на свои услуги в расчете на то, что 75–80% проданного ей трафика окажется российским, в связи с чем затраты на его пропуск будут равны затратам на пропуск трафика между двумя портами одного маршрутизатора.

Одновременно с этим ЗАО *Компания ТрансТелеКом* вышло на рынок с предложением доплачивать всем информационным ресурсам, которые создают трафик, потребляемый клиентами компании. Пиринговые соединения между российскими провайдерами в этот период в основном осуществлялись через точку обмена трафиком без особых правил и условий.

Если бы *Cable&Wireless* удалось реализовать свои идеи о получении значительной доли рынка российского IP-транзита, российская интернет-экосистема не сформировалась бы, а устойчивость функционирования российского сегмента сети интернет во многом определялась бы устойчивостью функционирования европейского сегмента глобальной сети интернет.

В начале 2000-х гг. рынок сформировал экономические предпосылки для прекращения бесплатного или условно бесплатного пиринга между крупными и относительно небольшими сетями в Российской Федерации. В это время крупные игроки рынка осознали, что с точки зрения экономики бесплатный пиринг — это разрыв *value chain*. При сохранении бесплатного пиринга крупные игроки, на тот момент начинающие вкладывать существенные средства в развитие инфраструктуры своих сетей, по сути предоставляли эту инфраструктуру всем своим партнерам по пирингу бесплатно. В результате небольшие операторы стали получать



необоснованное экономическое преимущество, так как бесплатно пользовались инфраструктурой пропуска межрегионального трафика, построенной крупными игроками.

В то же время политика некоторых крупных игроков российского рынка была непродуманной и популистской. Так, например, отдельные игроки лоббировали идею о внедрении в России механизма возмещения владельцам информационных ресурсов в сети интернет затрат на создание, производство и распространение в интернете контента. Основным аргумент, который использовался сторонниками популистских идей о *доплате за контент*, заключался в следующем: без контента интернет никому не будет интересен, и пользоваться им не будут, у владельцев информационных ресурсов нет возможности заработать в интернете, поэтому операторы связи должны делиться с ними своими доходами.

Затраты на создание, производство и распространение контента в интернете предлагалось возместить путем перечисления контент-провайдерам части доходов, собираемых с абонентов, пользователей и операторов за услуги доступа в интернет и услуги транзита трафика (IP-транзита), в виде оплаты за несуществующие услуги по пропуску трафика, сгенерированного информационными ресурсами. За основу предлагалось взять модель расчетов в сетях телефонной связи, работающую по принципу *платит звонящий*.

Иными словами, контент-сервис-провайдерам предлагалось не только бесплатно использовать инфраструктуру операторов связи для доставки информации потенциальной целевой аудитории, но и получать доплату за использование инфраструктуры операторов связи.

Подобные идеи были крайне вредны для развивающегося российского интернет-рынка. Модели расчетов, используемые в сетях телефонной связи, никогда не использовались и не могли использоваться ни в одной стране мира при построении взаимодействия между участниками рынка в сети интернет. Кроме того, реализация подобных идей привела бы к затормаживанию и замораживанию развития рынка интернет-рекламы.

Таким образом, в начале 2000-х гг. экономические предпосылки и непродуманные, популистские идеи отдельных участников рынка подтолкнули трех ведущих на тот момент российских интернет-провайдеров: ЗАО *МТУ-Интел*, ОАО *РТКомм.РУ* и ООО *Телеросс* (входило в группу компаний *Golden Telekom*, присоединено к ОАО *Вымпелком*, в настоящий момент ПАО *ВымпелКом*) к достижению договоренностей о создании *отдельной пиринговой группы*, положившей основу для формирования региональных Tier 1 на территории Российской Федерации.

Условия участия в *отдельной пиринговой группе* включали соглашения о паритетных объемах трафика на пиринговых стыках, которые не могут быть ниже установленного порогового значения, о наличии присоединения к глобальному интернету не менее чем в двух точках за пределами территории Российской Федерации, для чего требовалась аренда международных каналов связи, а также стандартные положения о том, что каждый новый член *отдельной пиринговой группы* должен стать пиринг-партнером всех участников группы.

Несмотря на критику со стороны многих российских интернет-сервис провайдеров, не попавших в *отдельную пиринговую группу* из-за невозможности выполнения всех условий, ее создание привело к:

- значительному снижению цены на аренду международных каналов связи;
- стимулированию строительства трансграничных переходов;
- замыканию российского трафика внутри России, несмотря на то что первое время существовало большое число *зарубежных петель*;
- снижению заинтересованности зарубежных операторов осуществлять продажи трафика на территории Российской Федерации в связи с отсутствием экономической целесообразности и из-за низких объемов продаж;
- активному развитию точек обмена трафиком, в первую очередь московской точки обмена трафиком (*MSK-IX*);
- активному развитию российского рынка интернет-рекламы силами российских контент-сервис-провайдеров.

Число и состав участников *отдельной пиринговой группы* менялись с течением времени. В настоящий момент в нее входят все ключевые операторы, сети которых составляют основу опорной региональной инфраструктуры Российской Федерации.

Следует отметить, что отголоски идей о необходимости на законодательном уровне стимулировать операторов (путем наложения соответствующих обязательств) возмещать производителям контента затраты на его производство и распространение в сети интернет за счет средств, собираемых с абонентов и пользователей, которым предоставляются услуги доступа, нашли свое продолжение в конце 2014 г. в предложениях отдельных представителей правообладателей по внедрению механизма *Глобальной лицензии*, но в 2014 г. указанные предложения встретили жесткую критику со стороны всех без исключения участников интернет-рынка<sup>19</sup>.

Формирование *отдельной пиринговой группы* позволило создать в России региональную интернет-экосистему, 80% трафика которой замыкается внутри нее, что в значительной степени снижает зависимость от устойчивости функционирования сетей глобальных Tier 1.

Подавляющее большинство российских операторов уровня региональных Tier 2, Tier 3 и пр. имеют подключения не менее чем к двум региональным российским Tier 1. Российские контент-сервис-провайдеры (в терминах российского законодательства в области информации, информационных технологий и защиты информации *организаторы распространения информации в сети интернет* или *операторы поисковых систем*), как правило, имеют подключение ко всем российским операторам уровня регионального Tier 1, что обеспечивает возможность *лучшего доступа* к ресурсам организаторов распространения информации в сети интернет и операторов поисковых систем к своим пользователям. Поэтому обеспечить отключение всех российских пользователей от глобальной сети интернет силами одного оператора даже уровня регионального Tier 1 не представляется возможным.



С учетом анализа, приведенного выше, можно считать, что рассказ об учениях по отключению российских пользователей от глобального интернета силами одного оператора можно также считать мифом.

Для отключения всех российских пользователей от глобального интернета надо, чтобы все российские операторы, построившие трансграничные переходы, прекратили пропуск трафика через эти переходы. Это невозможно по ряду причин. Во-первых, голосовой (телефонный) трафик передается по той же инфраструктуре, по которой осуществляется передача интернет-трафика, следовательно, пострадает не только доступ в интернет, но и услуги междугородной телефонной связи и роуминга. Во-вторых, российские операторы осуществляют продажу интернет-трафика операторам из других стран, в том числе из Евразийского экономического союза. В-третьих, через территорию Российской Федерации осуществляется транзит трафика, в том числе между Европой и Азией.

### **РАЗМЕЩЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ЗАРУБЕЖНЫХ КОНТЕНТ-СЕРВИС-ПРОВАЙДЕРОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

В связи с усилением конкуренции и необходимостью обеспечения качественного доступа к создаваемым и эксплуатируемым информационным ресурсам многие глобальные контент-сервис-провайдеры, включая *Google*, *Akamai*, *CDN Level 3* и др. заинтересованы в размещении своих серверов на территории Российской Федерации. Размещение серверов осуществляется по двум основным алгоритмам. Серверы размещаются в точках обмена трафиком или на других независимых площадках (ЦОД, Telehouse). Доступ к серверам предоставляется всем операторам связи, а также юридическим лицам, не являющимся операторами связи в соответствии с законодательством Российской Федерации, но желающим получить доступ к контенту.

Другой алгоритм предполагает размещение кэширующих серверов непосредственно на площадках каждого оператора, чья абонентская база представляет интерес для контент-сервис-провайдера. Размещение серверов глобальных контент-сервис-провайдеров на территории Российской Федерации интересно как российским операторам связи, так и глобальным контент-сервис-провайдерам: оператор получает возможность сократить свои затраты на аренду международных каналов связи и улучшить качество услуг, предоставляемых абоненту, а глобальный контент-сервис-провайдер получает доступ к потенциальной целевой аудитории контент-смотрителей.

Такой подход также позволяет повысить устойчивость функционирования глобального интернета для региональных пользователей.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

«Слух о моей смерти был сильно преувеличен», — писал в телеграмме *Ассошиэйтед Пресс* американский писатель С. Клеменс, творивший под псевдонимом Марк Твен.

Слухи о ненадежности функционирования глобальной инфраструктуры интернета, о возможных нарушениях глобальной связности в случае обрыва одного из кабелей, а также о возможности отключения российских интернет-пользователей силами одного оператора преувеличены значительно больше.

На поверку глобальный интернет оказывается более устойчивым к внешним воздействиям, чем многие другие сервисы, в первую очередь голосовые, а также сервисы, предоставляемые корпоративным клиентам, в том числе транснациональным корпорациям.

Глобальный интернет является величайшим достижением и изобретением человеческого гения. В нем нет центров управления трафиком, нет единой точки отказа, так как нет единой или даже нескольких точек управления или принятия решений.

Протокол IP обеспечивает доставку пакета между любыми двумя подключенными к сети устройствами, если функционирует хотя бы один маршрут (присутствует связность сети). В глобальном интернете нет глобальных элементов за исключением систем уникальных идентификаторов: IP-адресов, номеров AS и системы доменных имен. Именно поэтому интернет бесконечно масштабируем и адаптируется к любому изменению в структуре и технологиях доступа, с одной стороны, и технологиях сервисов, предоставляемых через интернет, с другой.

Но это не означает, что интернет выдержит любые эксперименты, в том числе проводимые отдельными министерствами и ведомствами, которым проще запретить пугающее новое, чем научиться жить в новой реальности. Такие эксперименты не приведут к тому, что глобальный интернет разрушится или исчезнет, но они чреваты тем, что государство, их ставящее, может быть отброшено лет на двадцать назад, и отставание это в век стремительно развивающихся технологий наверстать будет нереально. Сегодня между словами *интернет* и *инновации* можно смело ставить знак равенства. Некоторые эксперты, в том числе выдающийся экономист Й. Шумпетер, ставили знак равенства и между *инновациями* и *экономическим ростом*. Он был убежден, что только страны, в которых делаются открытия, богатеют, а остальные ожидают застой. Й. Шумпетер был также убежден в том, что процесс инноваций никогда не бывает мирным и спокойным, это жестокий цикл разрушения старых и рождения новых отраслей, который безжалостен и неумолим, как и все остальные законы природы.

Чему учит нас эта история? Пожалуй, тому, что интернет — это новая реальность, становление которой еще не завершилось, и в которой нам придется научиться жить, адаптируясь ко все новым переменам. 🐘



## Примечания

- 1 Источники: <http://www.cablemap.info>, <http://submarine-cable-map-2015.telegeography.com/>
- 2 Или на сайте Greg's Cable Map по адресу <http://www.cablemap.info/>
- 3 Источник: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/6213501.stm>
- 4 Источник: [http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=newsarchive&sid=a3tADKd\\_tY3g&refer=europe](http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=newsarchive&sid=a3tADKd_tY3g&refer=europe)
- 5 Источник: <http://www.itnews.com.au/news/telstra-iphone-mac-users-report-crippling-speeds-to-apple-services-410006>
- 6 Источник: <http://drpeering.net/white-papers/Ecosystems/Tier-1-ISP.html>

- 7 Работы можно найти по адресу <http://www.drpeering.net/>
- 8 Источник: <http://drpeering.net/white-papers/A-Business-Case-For-Peering.php>
- 9 Источник: <http://www.drpeering.net/>
- 10 Источник: <http://as-rank.caida.org/?mode0=as-info&mode1=as-table&as=3320>
- 11 Источник: <http://marketrealist.com/2015/07/youtube-started-replace-tv-viewing/>
- 12 Источник: <http://drpeering.net/white-papers/Art-Of-Peering-The-Peering-Playbook.html>
- 13 Источник: <http://seclists.org/nanog/2010/Nov/1014>
- 14 Источники: <http://www.dsreports.com/shownews/24809>, <http://legalminds.lp.findlaw.com/list/cyberia-l/msg42080.html>
- 15 Источники: <http://www.computerworld.com/article/2559599/networking/level-3--cogent-resolve-peering-dispute---renew-deal.html>, [https://apps.fcc.gov/edocs\\_public/attachmatch/FCC-15-24A1.pdf](https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-15-24A1.pdf)
- 16 Источник: <http://gigaom.com/2008/03/14/the-telia-cogent-spat-could-ruin-web-for-many/>
- 17 Источник: <http://arstechnica.com/uncategorized/2008/10/cogent-picks-peering-fight-with-zombie-sprint/>
- 18 Документ можно найти по адресу [https://apps.fcc.gov/edocs\\_public/attachmatch/FCC-15-24A1.pdf](https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-15-24A1.pdf).
- 19 Механизм Глобальной лицензии впервые был предложен William Fisher в работе *Promises to Keep Technology, Law, and the Future of Entertainment*, вышедшей в свет в США в 2004 г. В США эта идея внедрения механизма Глобальной Лицензии была отвергнута. В 2008 г. работа Фишера была переведена на русский язык. Попытка законодательно закрепить механизм Глобальной Лицензии была предпринята в России в 2014 году представителями Российского Авторского Общества.