



Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники



Белорусские облачные
технологии



Международный Союз
Электросвязи

«Обзор тенденций развития широкополосной спутниковой связи LEO/MEO/GEO»

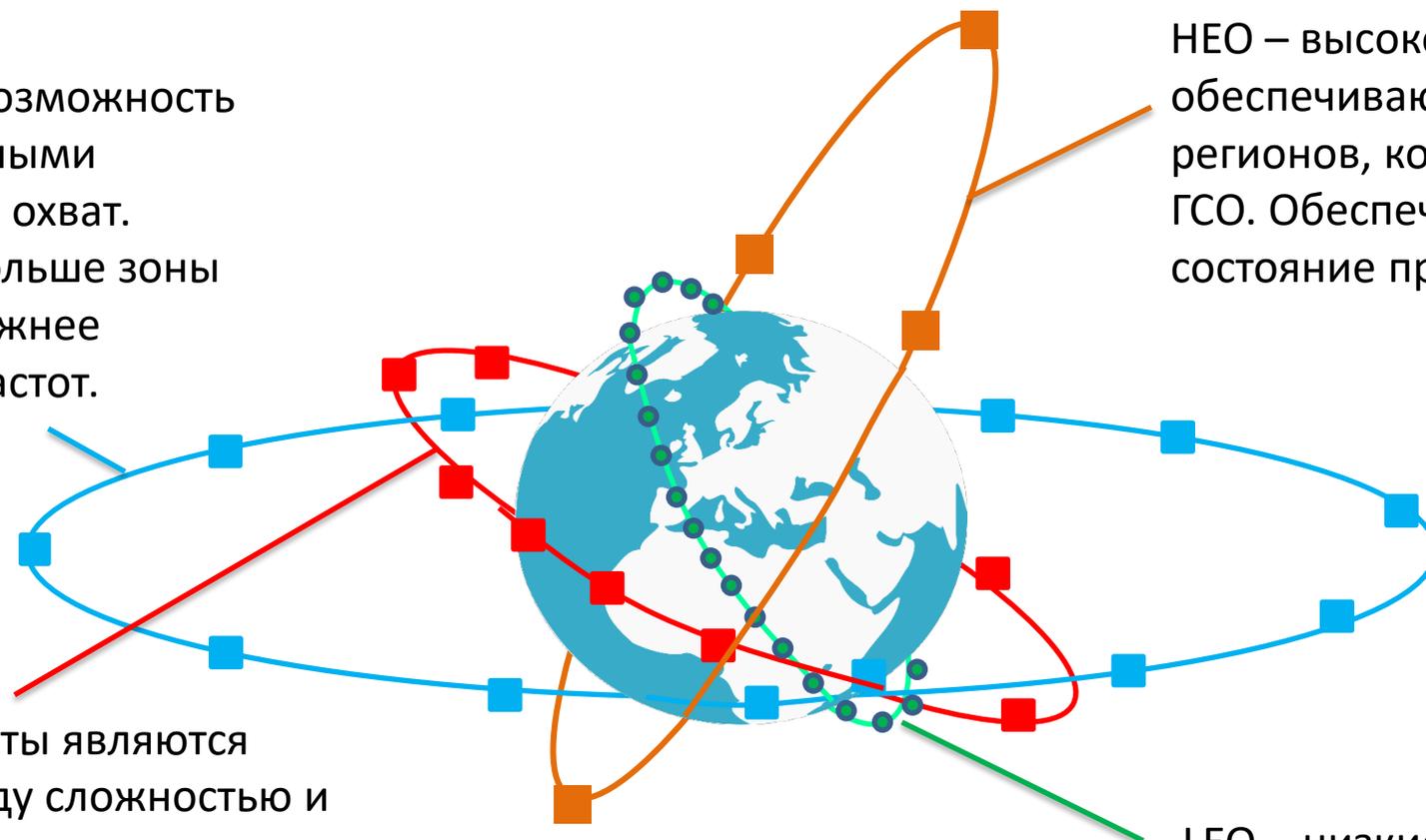
Вадим Посакаухин, Эксперт Международного союза электросвязи,
Технический директор Ubiquitous Wireless LLP

Содержание доклада

- **Общее описание развития спутниковой связи**
- Текущее состояние и перспективы рынка услуг спутниковой связи
- Вопросы регулирования

Основные орбиты спутниковой связи

GSO – обеспечивает возможность работы с фиксированными антеннами и широкий охват. Большая задержка, больше зоны обслуживания, но сложнее переиспользование частот.



NEO – высокоэллиптические орбиты обеспечивают покрытие полярных регионов, которые сложно обслуживать с ГСО. Обеспечивают квазистационарное состояние при работе в апогее.

MEO – средние орбиты являются компромиссом между сложностью и возможностью многократного переиспользования частот при малом числе спутников.

LEO – низкие орбиты (до 2000 км), малые задержки, простота вывода спутников на орбиту, но требует много спутников и сложную систему управления лучами и радиочастотами.

Типовые комбинации диапазонов и орбит в спутниковых системах связи

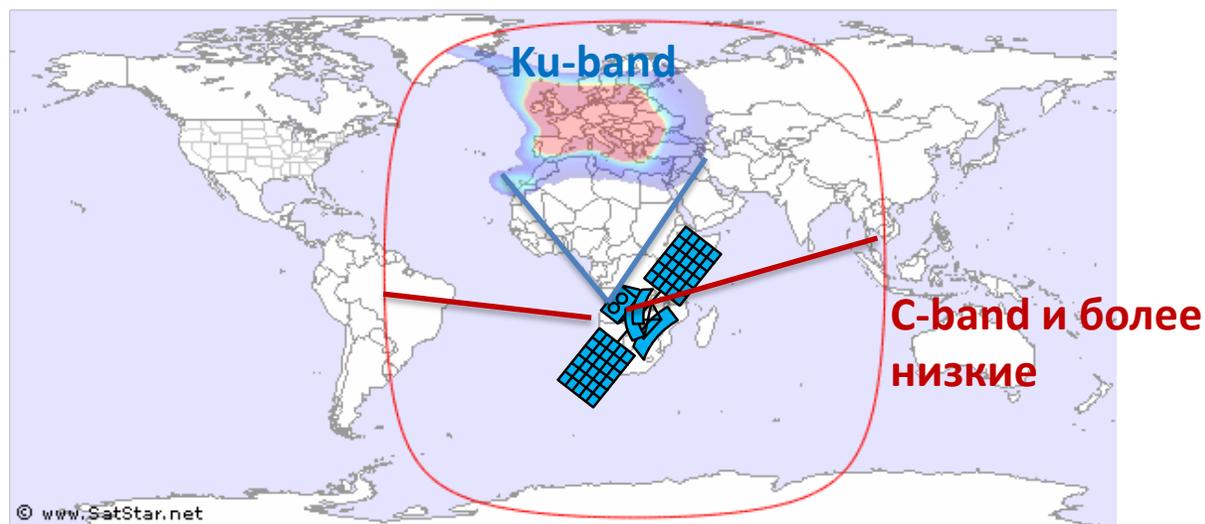
Системы	Диапазон
Геостационарные	L/S/C/X/Ku
Геостационарные HTS	Ku/Ka/Q/V
Квазигеостационарные	C/Ku/Ka
Среднеорбитальные	Ku/Ka
Низкоорбитальные ШПД	Ku/Ka/Q/V
Низкоорбитальные ПСС	L/S
Низкоорбитальные D2D IoT	L/S
Низкоорбитальные D2D	L/S

**Фокус данного доклада
широкополосный спутниковый доступ**

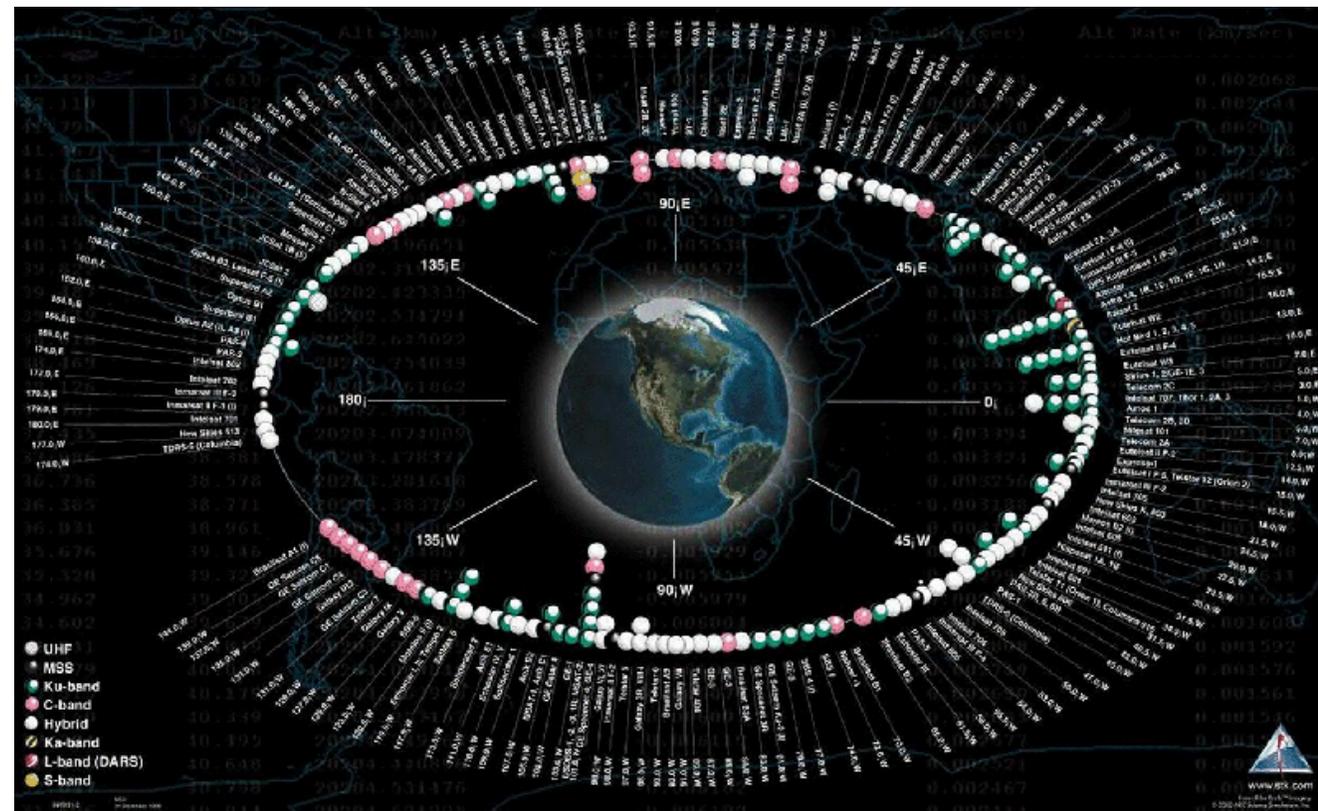
Обозначения и полосы радиочастот для спутниковых диапазонов

Sat Band	Downlink (DL)	Uplink (UL)
L band (GEO)	1518 – 1559 MHz	1626.5 – 1660.5 MHz 1668 – 1675 MHz
L band (Non-GEO)	1613.8 – 1626.5 MHz	1610.0 – 1626.5 MHz
C band	3400 - 4200 MHz 4500 - 4800 MHz	5725 - 7025 MHz
S Band	2160 -2200 MHz 2483.5 - 2500 MHz	1980 - 2025 MHz
Ku band	10.7 - 12.75 GHz	12.75 - 13.25 GHz 13.75 - 14.5 GHz
Ka band (GEO)	17.3 – 20.2 GHz	27.0 – 30.0 GHz
Ka band (Non-GEO)	17.7 – 20.2 GHz	27.0 – 29.1 GHz 29.5 – 30.0 GHz
Q/V band	37.5 – 42.5 GHz 47.5 - 47.9 GHz 48.2 - 48.54 GHz 49.44 - 50.2 GHz	42.5 – 43.5 GHz, 47.2 – 50.2 GHz 50.4 – 51.4 GHz

Типовые комбинации диапазонов и орбит в спутниковых системах связи



Сложности получения нового частотно-орбитального ресурса

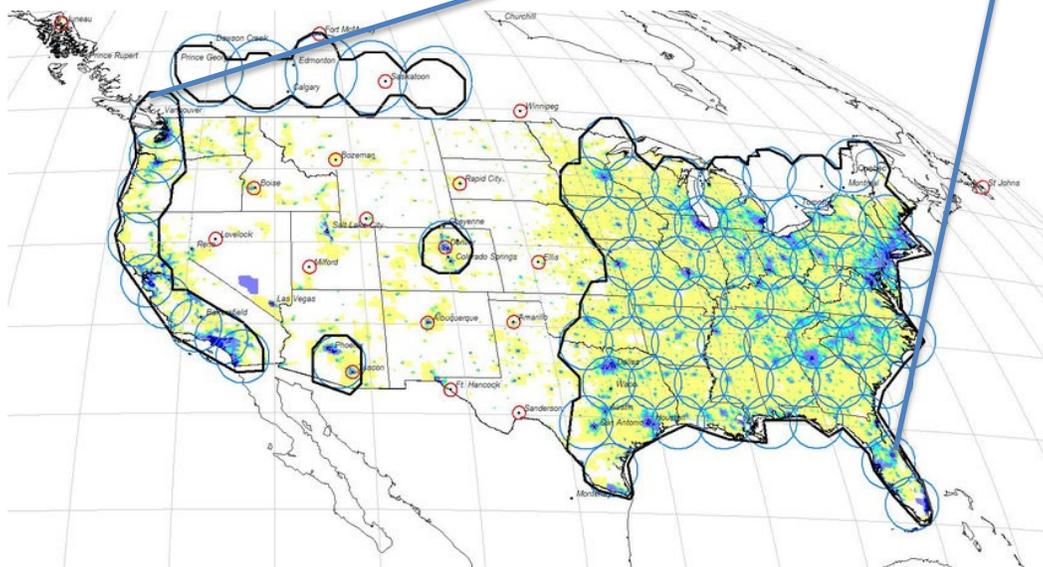


Значительная доля рынка спутниковых услуг на ГСО приходится на непосредственное спутниковое вещание

Развитие систем с высокой пропускной способностью (HTS) на примере ViaSat-1

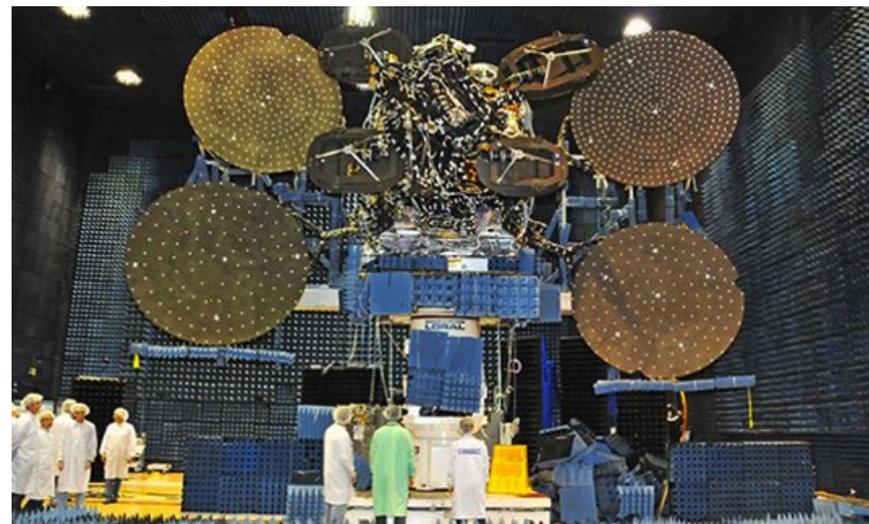
Узкие направленные лучи в наиболее востребованных районах (Ка-диапазон)

Ка диапазон для пользователей



Параметры одного из первых спутников HTS(2012)

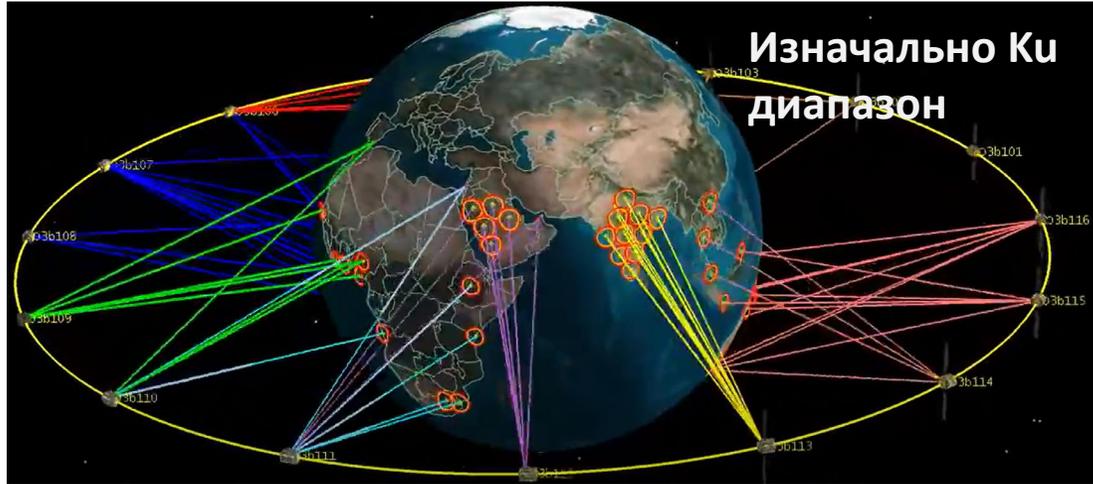
- Speed: Up to 25 Mbps
- Capacity: 140 Gbps
- Weight of satellite: 6,740kg or 7.4 tons



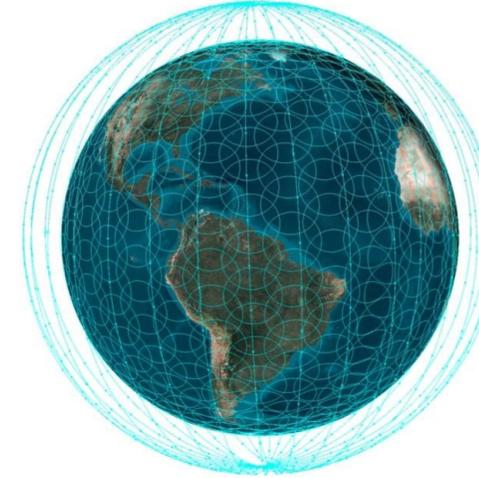
Современные спутники HTS имеют емкость уже порядка 1 Тбит/с с еще большим числом лучей

Развитие систем на НГСО орбитах – работающие сегодня

Среднеорбитальная группировка ОЗв

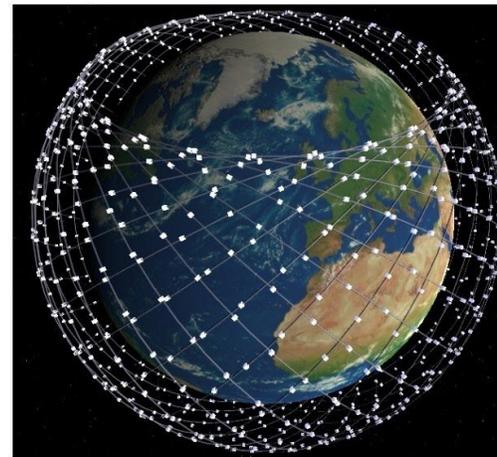


Низкоорбитальная группировка OneWeb

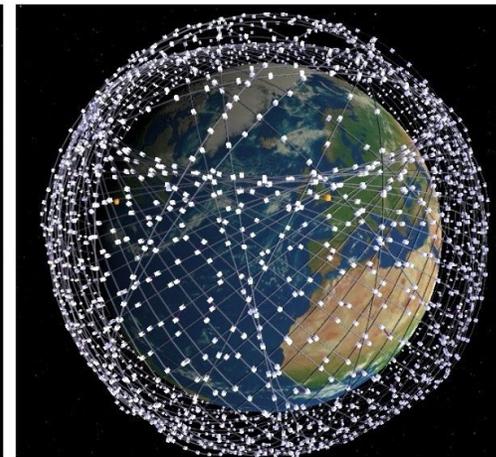


Ки диапазон для пользователей

Низкоорбитальная группировка Starlink



Phase 1 Satellite orbits



Phase 2 Satellite orbits

Ки диапазон для пользователей

Пример формирования квази-стационарных сот спутникового ШБД (Starlink)



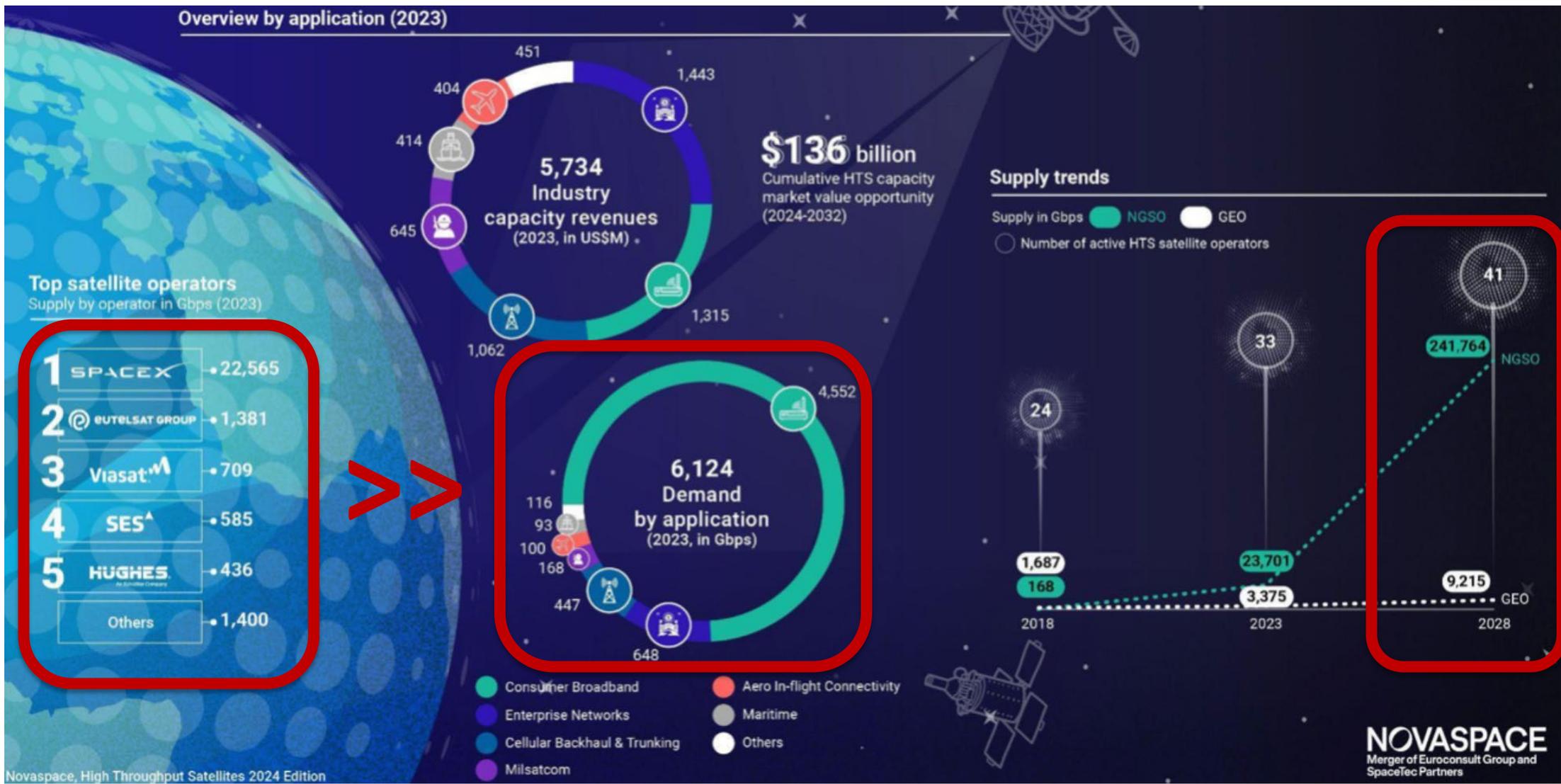
■ AVAILABLE ■ COMING SOON



Содержание доклада

- Общее описание развития спутниковой связи
- Текущее состояние и перспективы рынка услуг спутниковой связи
- Вопросы регулирования

Существенное изменение рынка спутниковой связи в последние годы

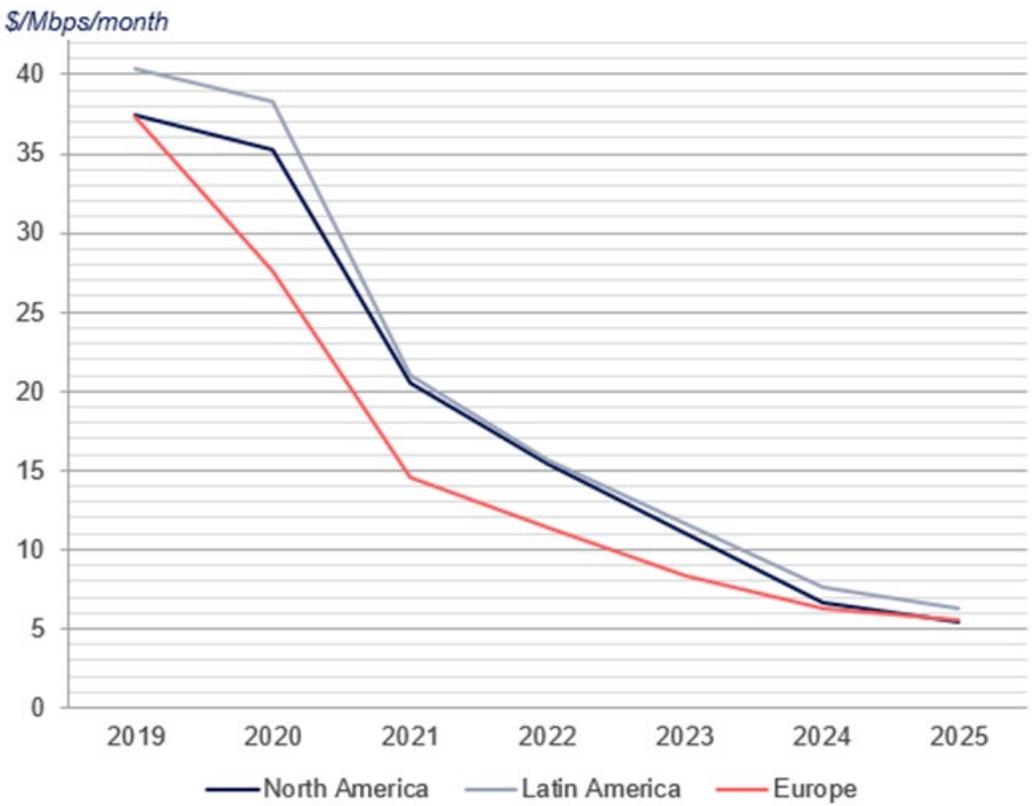


Форум Международного союза электросвязи «Технологии связи будущего»
Республика Беларусь, г. Минск, 17-18 марта 2026



Изменение ценовой политики и укрупнение рынка

Усредненная стоимость емкости в спутниковых системах широкополосного доступа по регионам



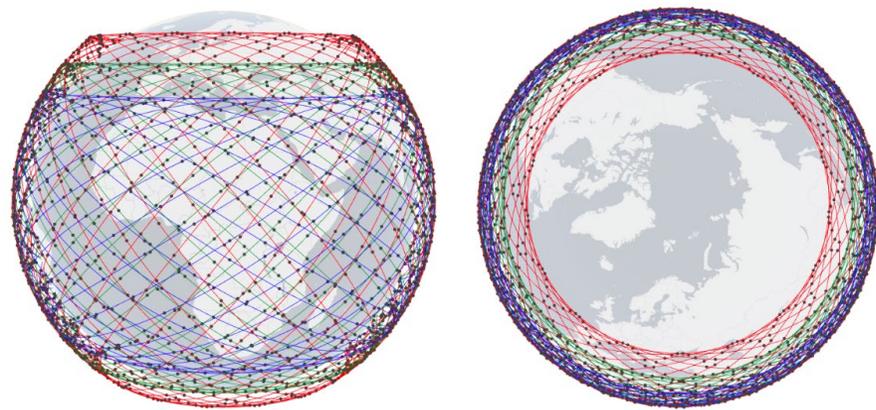
Источник: Novaspace, 2024

Укрупнение и переход к комбинации группировок на разных орбитах



Заявляемый рост числа группировок НГСО

Amazon Kuiper



Side view (Equator)

Top view (North Pole)

Height (km)	No. of orbits	No. of sats/orbit	Inclination	Color code
630	34	34	51.9°	Red
610	36	36	42°	Green
590	28	28	33°	Blue

Ка диапазон с большей емкостью на спутник

Telesat (Lightspeed)



Изначально планировалось 298 спутников, которое было снижено до 188 спутников в 10 орбитальных плоскостях.

Ка диапазон с большей емкостью на спутник

Планы китайских компаний

Guo Wang "State Network": 13000 спутников. На конец 2024 года не запущены.

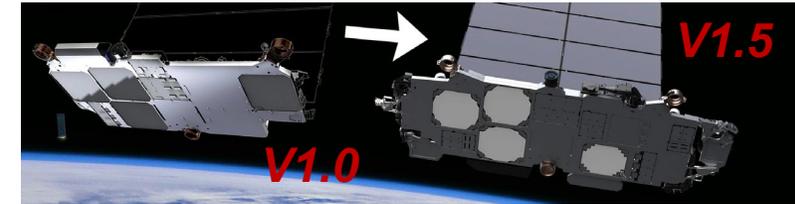
Qianfan "Thousand Sails" "G60 Starlink": 15000 спутников. На конец 2024 года запущено 54 спутника.

Honghu-3: 10000 спутников. На конец 2024 года не запущены.

Starship - ключевой элемент развития НГСО

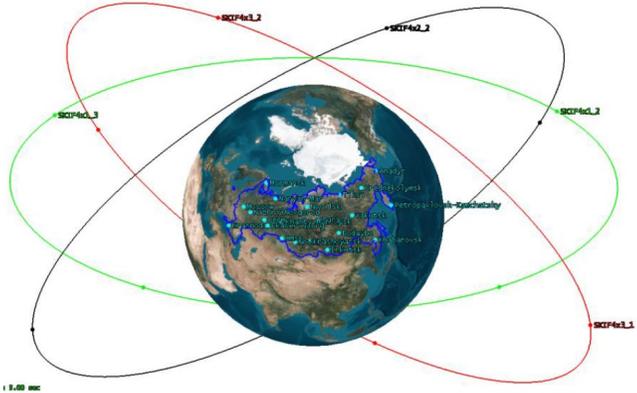
The FCC's decision **9 Jan 2026** allows SpaceX to:

- additional 7500 satellites , bringing total to 15000;
- Upgrade the Gen2 Starlink satellites with advanced form factors and cutting-edge technology.
- Operate across Ku-, Ka-, V-, E-, and W-band frequencies, supporting both Fixed Satellite Service (FSS) and Mobile Satellite Service (MSS).
- Waive obsolete requirements that prevented overlapping beam coverage and enhanced capacity.
- Add new orbital shells at altitudes ranging from 340 km to 485 km, optimizing coverage and performance.
- Provide direct-to-cell connectivity outside the United States and supplemental coverage within the U.S., paving the way for next-generation mobile services.



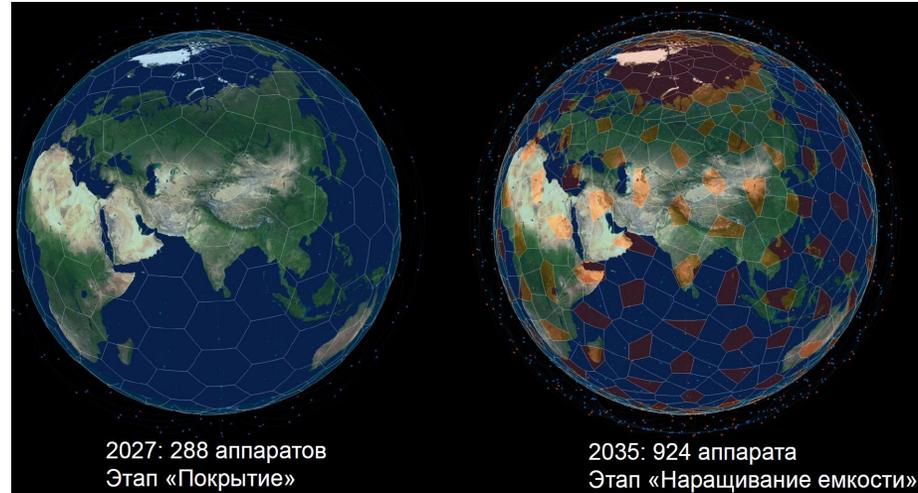
Starlink V2.0 satellites will be more than twice as long and likely have at least five times as much surface area for Earth-facing antennas.

Среднеорбитальная группировка СКИФ



Предоставляемые услуги	Высокоскоростной широкополосный доступ в сеть интернет
Диапазон рабочих частот:	Ка
Диаметр антенн абонентских станций	От 0,5 до 2,4 м
Скорость передачи данных для абонентов	От 37 до 490 Мбит/с
Суммарная пропускная способность	31 Гбит/с
Высота орбиты, км	8070

Низкоорбитальная группировка Бюро 1440

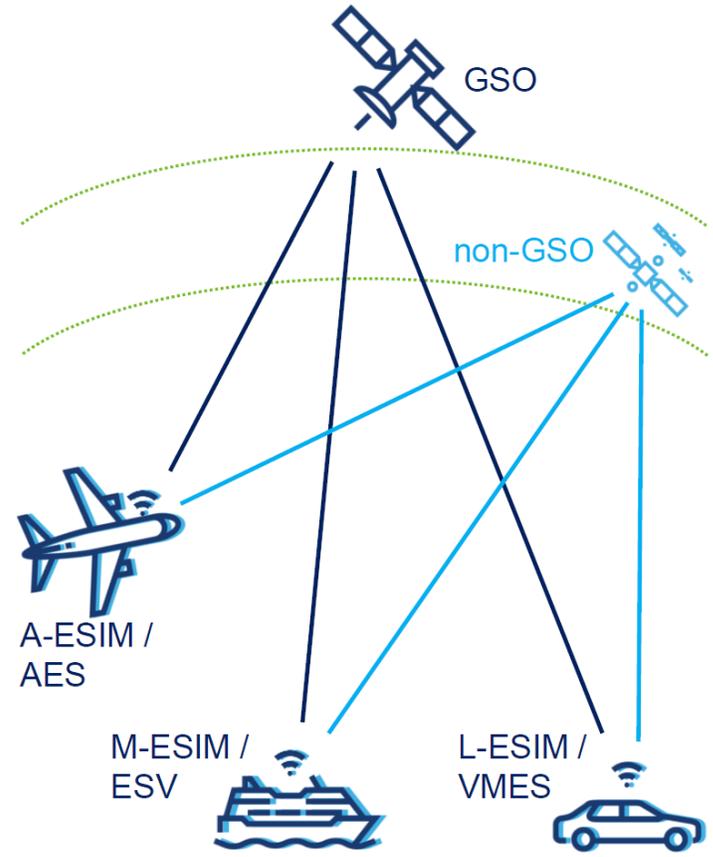


Оператор НОО*

- до 1000 Мбит/с** — Скорость канала downlink
- Глобальное** — Покрытие
- < 70 мсек** — Задержка канала
- Автоматическая** — Юстировка антенны
- Малый терминал — 6 кг, Большой терминал — 14 кг** — Масса абонентского терминала

Смещение в сторону подвижной спутниковой связи в рамках ФСС

Сложный регуляторный ландшафт по работе земных станций в движении (ESIM)



Дополнительное регулирование для разных орбит и диапазонов

Пример регулирования в странах СЕПТ

ECC Decision	Year of publish (latest update)	Bands Earth-to-space / Space-to-Earth	Scenarios
ECC/DEC/(05)10	2005 (2019)	14.0-14.5 GHz / 10.7-11.7, 12.5-12.75 GHz	GSO M-ESIM / ESV
ECC/DEC/(05)11	2005 (2024)	14.0-14.5 GHz / 10.7-11.7, 12.5-12.75 GHz	GSO A-ESIM / AES
ECC/DEC/(18)04	2018 (2024)	14.0-14.5 GHz / 10.7-12.75 GHz	GSO L-ESIM / VMES
ECC/DEC/(18)05	2018 (2024)	14.0-14.5 GHz / 10.7-12.75 GHz	non-GSO A-, M-, and L- ESIM
ECC/DEC/(19)04	2020 (editorial 2021)	12.75-13.25 GHz / 10.7-12.75 GHz	GSO and non-GSO A-ESIM
ECC/DEC/(13)01	2013 (2021)	17.3-20.2 GHz and 27.5-30.0 GHz	GSO ESOMPs
ECC/DEC/(15)04	2015 (2020)	7.3-20.2 GHz, 27.5-29.1 GHz and 29.5-30.0 GHz	non-GSO ESOMPs

Прогресс в терминалах широкополосной спутниковой связи

Прорывное снижение стоимости и массовое производство терминалов на базе АФАР (пример Starlink)



1500 USD

Себестоимость базового терминала

500 USD

300 ~USD

Источник: на основе заявлений Starlink

Внедрение аналогичных терминалов в других сетях НГСО и ГСО (для ESIM)



Самый массовый рынок

Развитие нишевых решений IoT на базе малых спутников



Типичные характеристики малых спутников

Номинал	Масса (кг)	Макс. мощность платформы (Вт)	Типичная стоимость (долл. США)	Макс. размеры (м)	Срок разработки (лет)	Орбита	Продолжительность полетной программы (годы)
Миниспутник	100–500	1 000	30–200 млн.	3–10	3–10	ГСО MEO LEO ВЭО	5–10
Микроспутник	10–100	150	10–150 млн.	1–5	2–5	LEO (ВЭО)	2–6
Наноспутник	1–10	20	100 тыс. – 10 млн.	0,1–1	1–3		1–3
Пикоспутник	0,1–1	5	50 тыс. – 2 млн.	0,05–0,1			< 1
Фемтоспутник	< 0,1	1	< 50 тыс.	0,01–0,1	1		

Players in IoT Satellite Constellations

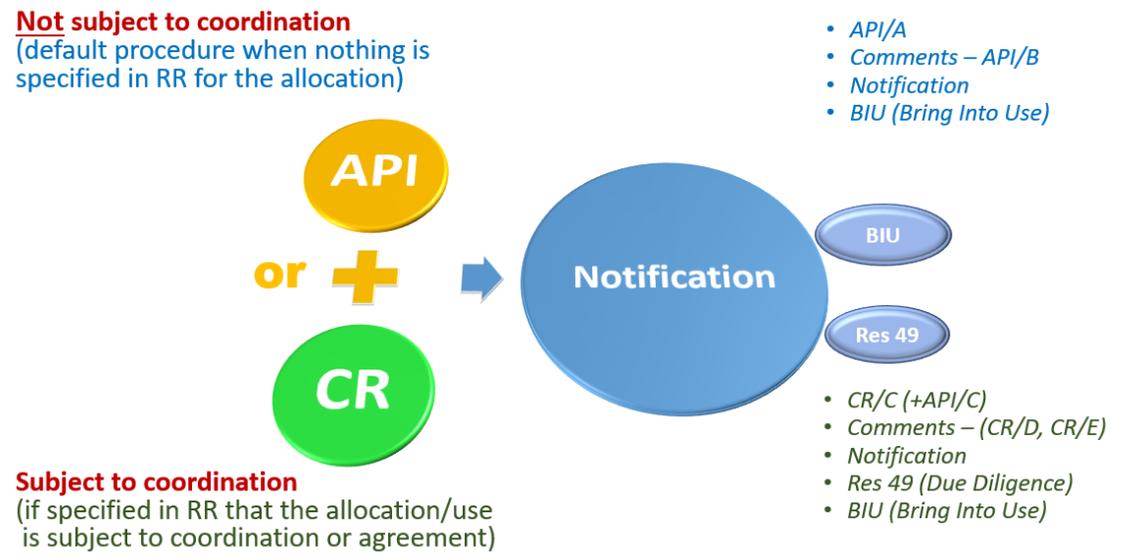
Name	Mod./Tech	PLD bytes	BR kbps	FB [38]	Sat
Swarm	NBF	192	1	VHF	177
Fossa	LoRa	230	9.6	UHF	6
Lacuna	LoRa	50	N/A	UHF	6
Fleet	QPSK FSK GMSK	230	19.2	UHF	7
Kineis	PSK	30	0.4	VHF UHF SHF	7
Astrocast	FSK	20	0.4	VHF UHF	10
Totum	DMSS	N/A	N/A	N/A	1
Head	QPSK	100	1	VHF UHF	8
Sateliot	NBLoT	N/A	N/A	N/A	1
OQ	NBLoT	N/A	30	N/A	3
Iridium	QPSK	340	1.4	N/A	66
Orbcomm	QPSK	370	2.4	VHF UHF	18
EutelSat	QPSK	370	N/A	UHF	2
Kepler	QPSK	N/A	10	UHF SHF	19
MyRiota	FSK	20	N/A	N/A	2

Содержание доклада

- Общее описание развития спутниковой связи
- Текущее состояние и перспективы рынка услуг спутниковой связи
- Вопросы регулирования

Вопросы регулирования спутниковых полос радиочастот

Процесс заявления и координации спутниковых сетей на уровне МСЭ (на примере НГСО)



Все ВКР включают в себя множество вопросов по уточнению вопросов спутниковой координации.

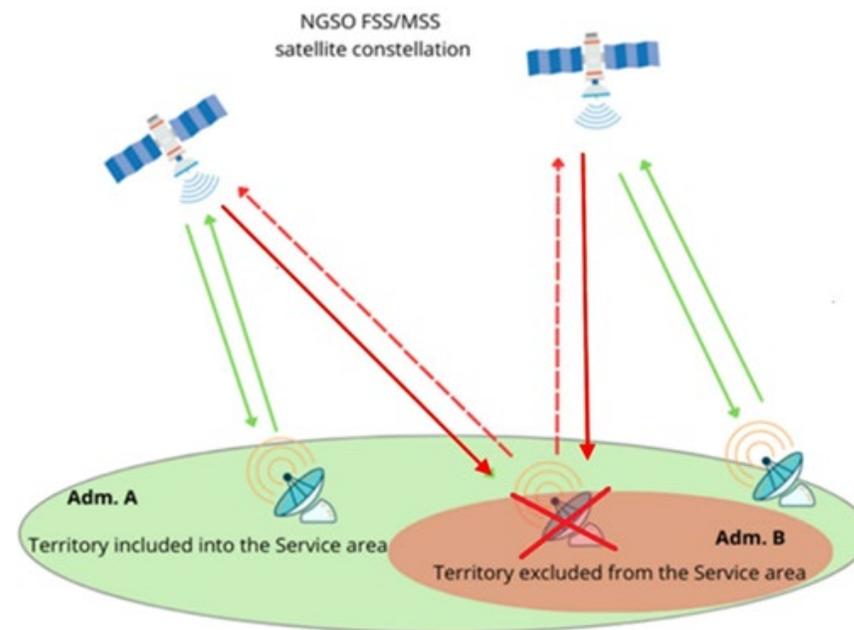
Ключевые элементы допуска спутниковых операторов на национальные рынки

- Требования к Системе оперативно-розыскных мероприятий
- Станция привязки или виртуальный тоннель для трафика
- Лицензия для предоставления услуг (включая спектр)

Предварительная позиция стран РСС

АС РСС выступают за разработку регламентарных положений и технических мер:

- позволяющих в любой момент времени исключить из зоны обслуживания систем НГСО ФСС и/или ПСС национальную территорию Государства, АС которого обратилась с соответствующим требованием в БР МСЭ, при этом БР МСЭ должно внести и опубликовать в Специальной секции ИФИК БР соответствующие изменения зоны обслуживания заявленной спутниковой системы;
- обязывающих заявляющую системы НГСО ФСС и/или ПСС АС исключить несанкционированную работу (на передачу и/или на прием) ЗС системы НГСО ФСС и/или ПСС, расположенных на территории АС, представившей в явном виде требование по исключению ее территории из зоны обслуживания рассматриваемой системы НГСО.



Пункт 1.5 повестки дня ВКР-27

1.5 в соответствии с Резолюцией 14 (ВКР-23) рассмотреть регламентарные меры и возможность их реализации для ограничения несанкционированной работы земных станций НГСО ФСС и ПСС и связанные с этим вопросы, касающиеся зоны обслуживания негеостационарных спутниковых систем ФСС и ПСС

Резолюция 14 (ВКР-23):

...

- 1 исследования регламентарных мер для ограничения несанкционированной работы земных станций НГСО ФСС и ПСС в направлении З-к с целью урегулирования ситуации и прекращения такой работы, принимая во внимание технические и эксплуатационные аспекты, в зависимости от случая;
- 2 исследования регламентарных мер с учетом пункта с) раздела признавая в отношении спутниковых систем НГСО ФСС и ПСС, а также возможности реализации таких мер без отрицательного воздействия на предоставление обслуживания в остальной части зоны обслуживания спутниковой системы НГСО

....

Проект EU Space Act с новыми требованиями к иностранным спутниковым операторам



Brussels, 25.6.2025
COM(2025) 335 final

2025/0335 (COD)

Proposal for a

REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL

on the safety, resilience and sustainability of space activities in the Union

{SEC(2025) 335 final} - {SWD(2025) 335 final} - {SWD(2025) 336 final}

Консультации FCC по оценке равноценности условий доступа спутниковых операторов на национальные рынки



PUBLIC NOTICE

Federal Communications Commission
45 L Street NE
Washington, DC 20554

News Media Information: 202-418-0500
Internet: www.fcc.gov
TTY: 888-835-5322

DA 26-208
Released: March 2, 2026

**SPACE BUREAU AND OFFICE OF INTERNATIONAL AFFAIRS SEEK COMMENT ON
SATELLITE MARKET ACCESS RECIPROCITY**

GN Docket No. 26-48

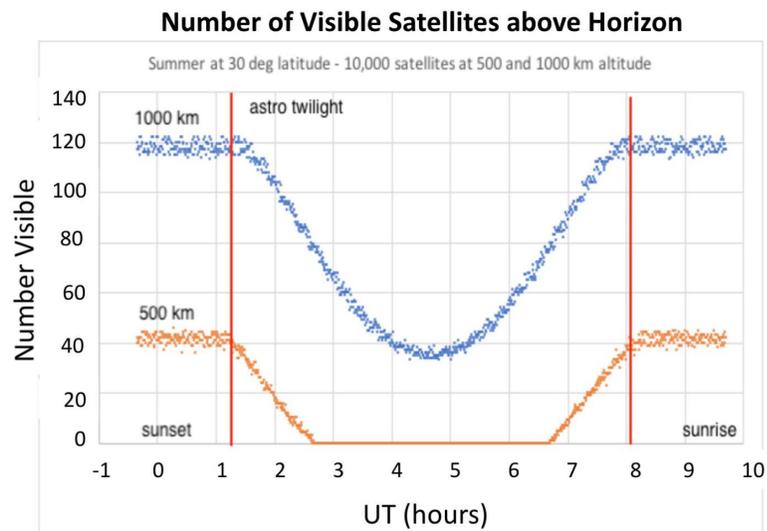
Comment Deadline: April 1, 2026

Reply Comment Deadline: April 16, 2026

By this Public Notice, the Space Bureau (SB) and Office of International Affairs (OIA) seek comment on the state of international reciprocity in satellite service regulation. This record will assist SB and OIA in implementing existing Commission rules and policies, inform international advocacy in support of U.S. commercial space and other interests, and may develop into proposals for further consideration and action.

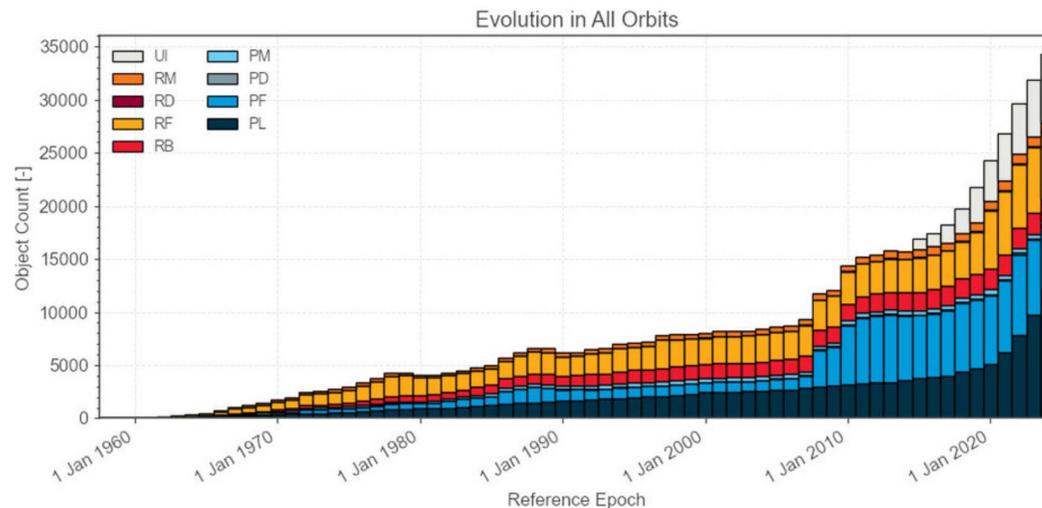
Background. For decades, the United States has welcomed foreign satellite operators seeking entry into the domestic marketplace. In 1997, the Commission adopted a comprehensive framework to enable non-U.S.-licensed space stations to serve the U.S. market.¹ Implementing the U.S. market-opening commitments in the WTO Basic Telecommunications Agreement (BTA),² the Commission adopted a presumption in favor of entry for satellite systems licensed by WTO Members to provide satellite services covered by the U.S. commitments under the WTO BTA.³ For non-WTO BTA covered space station market access requests, the Commission required the party seeking access to demonstrate that U.S.-licensed satellite systems have effective competitive opportunities to provide analogous services in the

Оптические и радиопомехи для астрономии

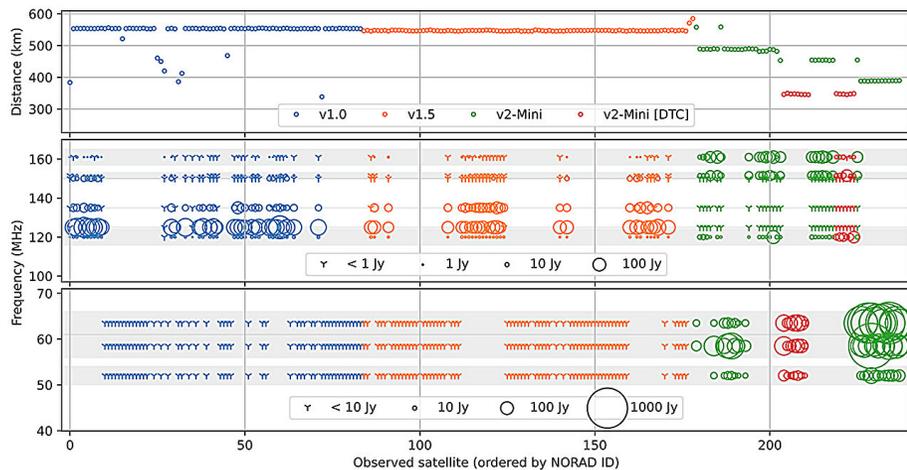


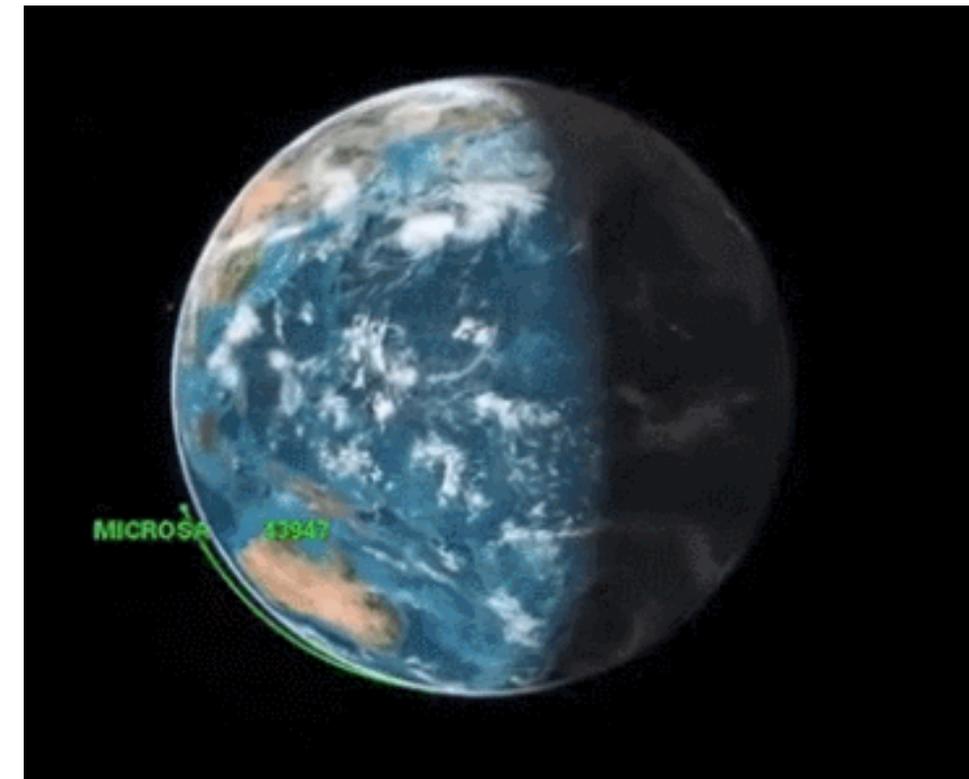
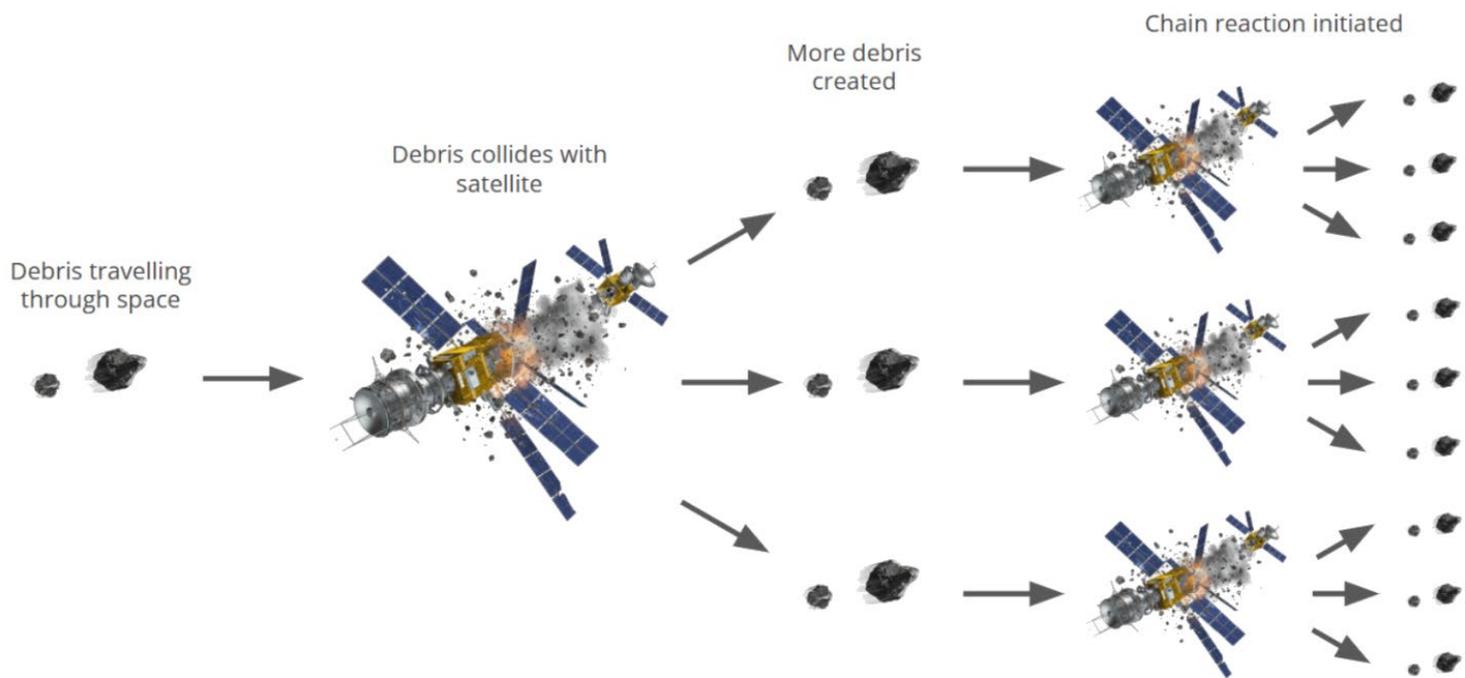
Credit: P. Seitzer (U. Michigan)

Возможное регулирование движения спутников и космических объектов



Циркулярное письмо CA/27 от 1 марта 2024 года
«Стратегии сведения с орбиты и/или захоронения космических станций НГСО, использующих частотные присвоения, которые в настоящее время зарегистрированы в МСРЧ МСЭ или находятся в процессе координации или заявления»

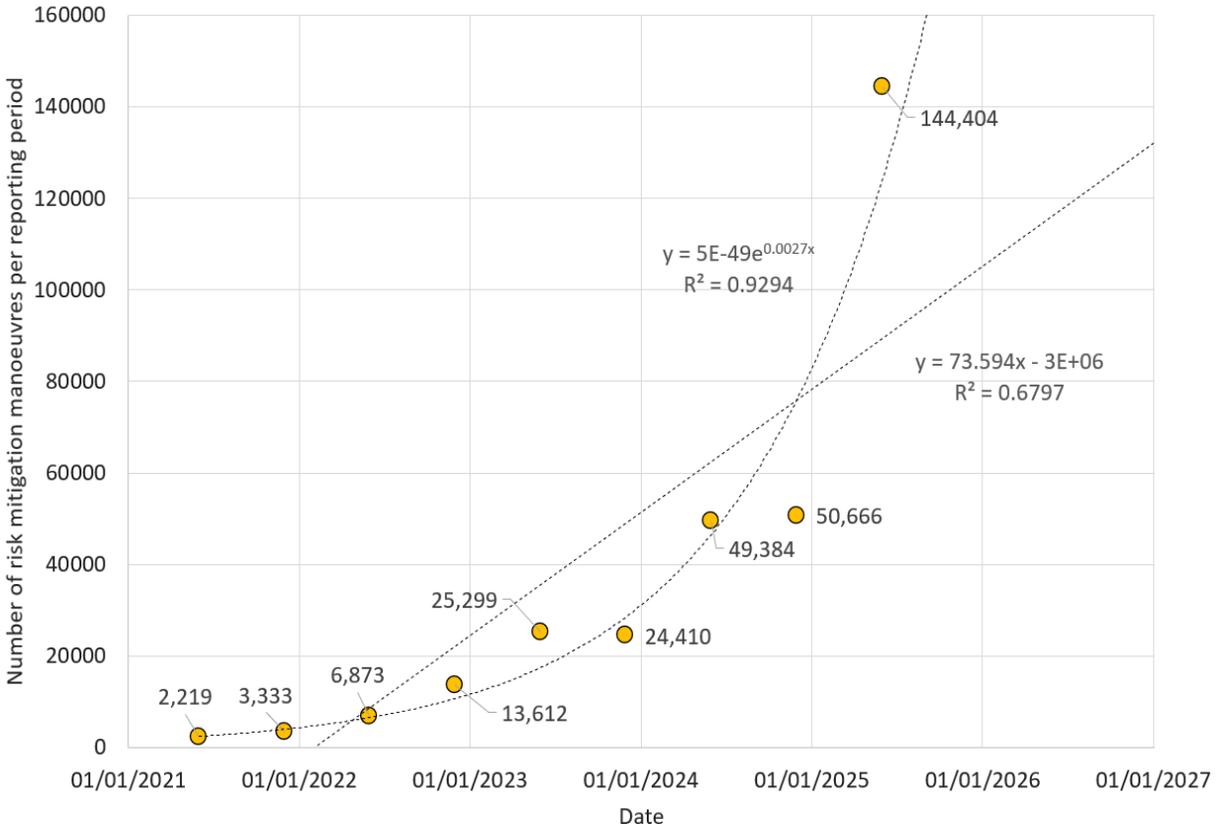




Риск долгосрочного блокирования выхода в космическое пространство

Инициативы об обмене данными о фактических орбитах для исключения столкновений

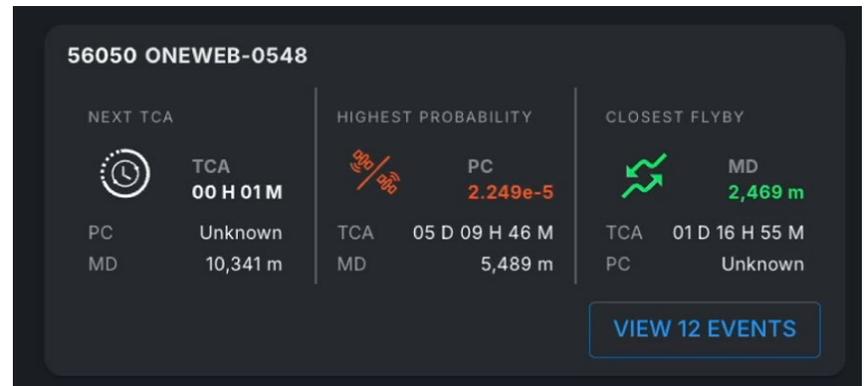
Статистика Starlink по количеству маневров для минимизации вероятности столкновения



Система Traffic Coordination System for Space (TraCSS), разрабатываемая в США

TraCSS data exchange:

- TraCSS Satellite database with spacecraft attributes;
- TLE Catalog;
- SP Ephem w/o covariance Catalog
- **Owner/operator ephemerides**
- Emergency event notifications



Требуется создание аналогичной системы под эгидой ООН

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ