



Белорусский государственный  
университет информатики и  
радиоэлектроники



Белорусские облачные  
технологии



Международный Союз  
Электросвязи

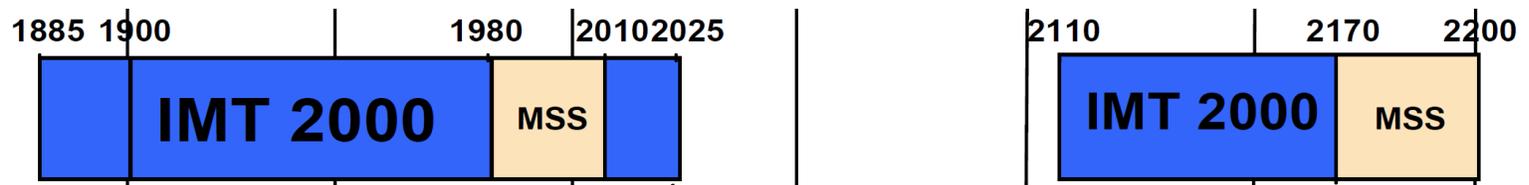
## «Перспективы и проблемы развития Direct-to-Device спутниковой связи»

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

# Содержание доклада

- История попыток создания D2D и современные подходы
- Примеры отдельных проектов по реализации D2D в спутниковых полосах
- Примеры отдельных проектов по реализации D2D в сотовых полосах
- Вопросы радиочастотного обеспечения D2D спутниковой связи

## Результат распределения и идентификации спектра для наземного и спутникового компонента IMT-2000 на ВАКР-92



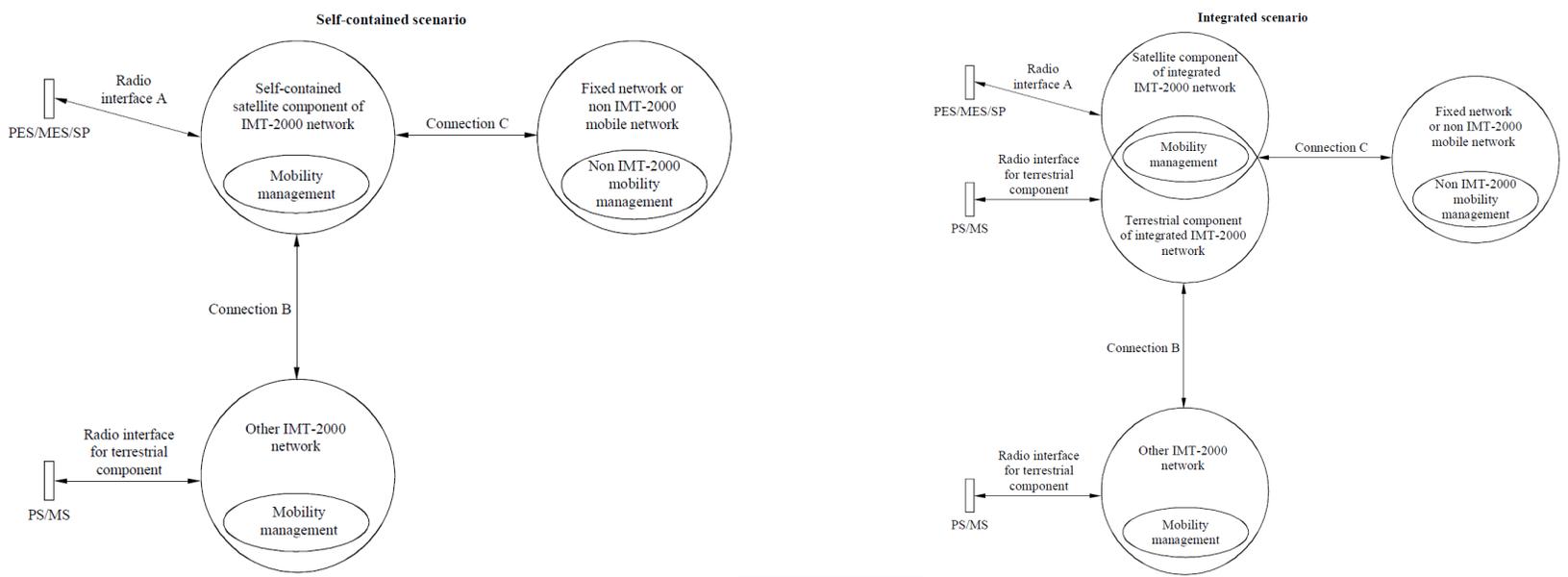
## Первая рекомендация по спутниковому компоненту IMT-2000 в 1995 году

Rec. ITU-R M.1167  
RECOMMENDATION ITU-R M.1167\*  
Framework for the satellite component of International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000)  
(1995)

CONTENTS

	Page
1 Introduction	2
2 Scope	2
2.1 Purpose	2
3 Structure of the Recommendation	3
4 Related documents	3
5 Abbreviations	3
6 Distinct features of the satellite component of IMT-2000	3
6.1 Key features of the satellite component of IMT-2000	3
6.2 Coverage and handover	4
6.3 Satellite system configuration	5
6.4 Mobile location	6
6.4.1 Authorized use of location information	6
6.5 Security aspects	6
7 Integrated satellite and terrestrial components	6
7.1 Network integration	6
7.2 Service integration	7
7.3 Radio interface integration	7
7.4 Roaming between the terrestrial and satellite components	7
8 Standardization/commonality of interfaces associated with the satellite component of IMT-2000	7
8.1 Radio interfaces	9
8.1.1 General considerations	9
8.1.2 Satellite-PES/MES/SP (Interface A)	10
8.2 Network interfaces	11
9 Services supported by the satellite component of IMT-2000	11
9.1 General IMT-2000 considerations	12
9.2 Satellite component considerations	12

\* Radiocommunication Study Group 8 made editorial amendments to this Recommendation in 2004 in accordance with Resolution ITU-R 44.



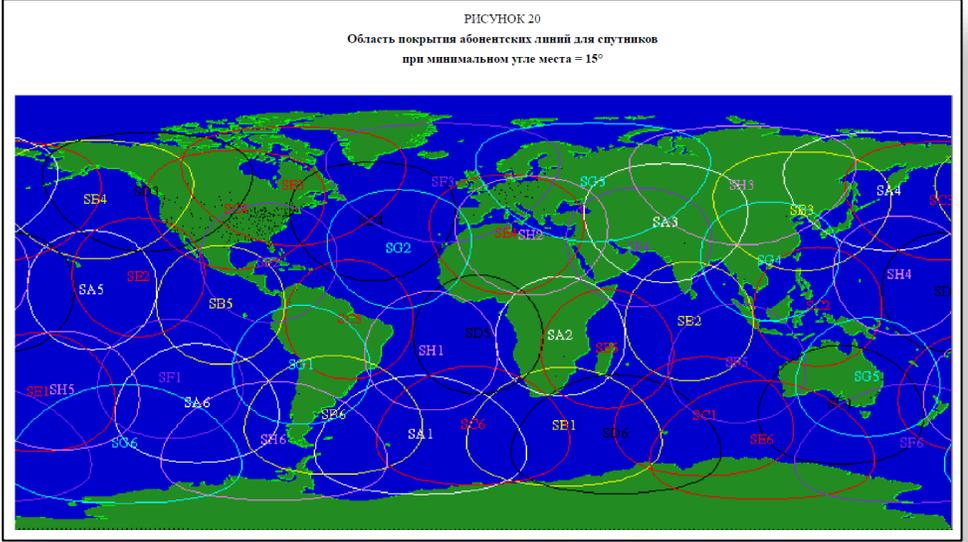
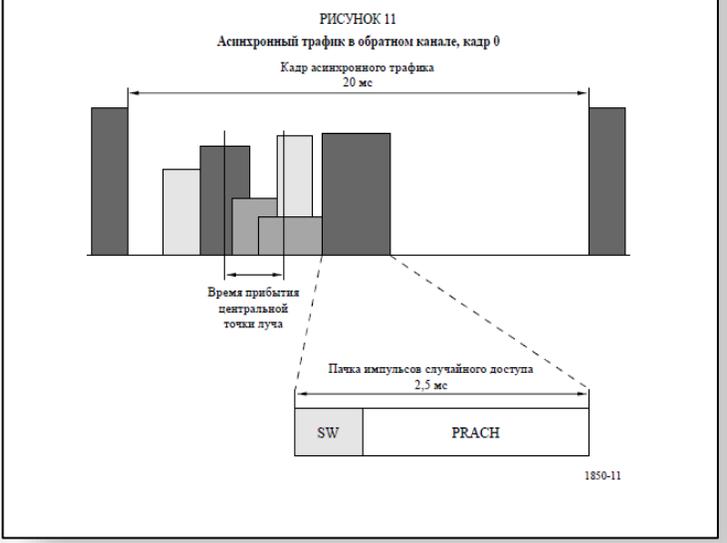
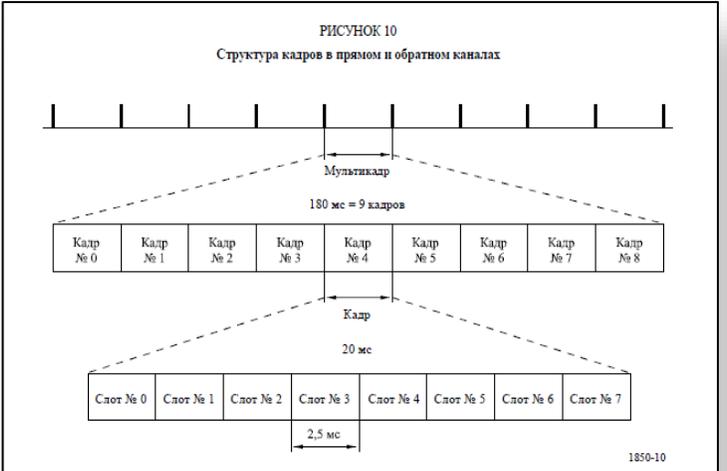
# Первые попытки стандартизации спутникового компонента

**МСЭ-R**  
Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R **M.1850** (01/2010)

**Подробные спецификации радиointерфейсов для спутниковой компоненты Международной подвижной электросвязи-2000 (IMT-2000)**

Серия М  
Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы

## Примеры традиционных систем спутниковой связи

Название системы	Число спутников	Характеристики орбит			Статус системы
		Тип/ Высота, км	Наклонение, градусы	Число плоскостей	
Инмарсат	3	ГСО/35786	0	1	Глобальная без полюсов
Турайа	2	ГСО/35876	0	1	Региональная без полюсов
Иридиум	66	НКО/780	86,4	6	Глобальная
Глобалстар	48	НКО/1400	52	8	Квазиглобальная без полюсов

## Переиспользование технологий вместо интеграции



# Возвращение к истокам – стандартизация Non-Terrestrial Networks в 3GPP

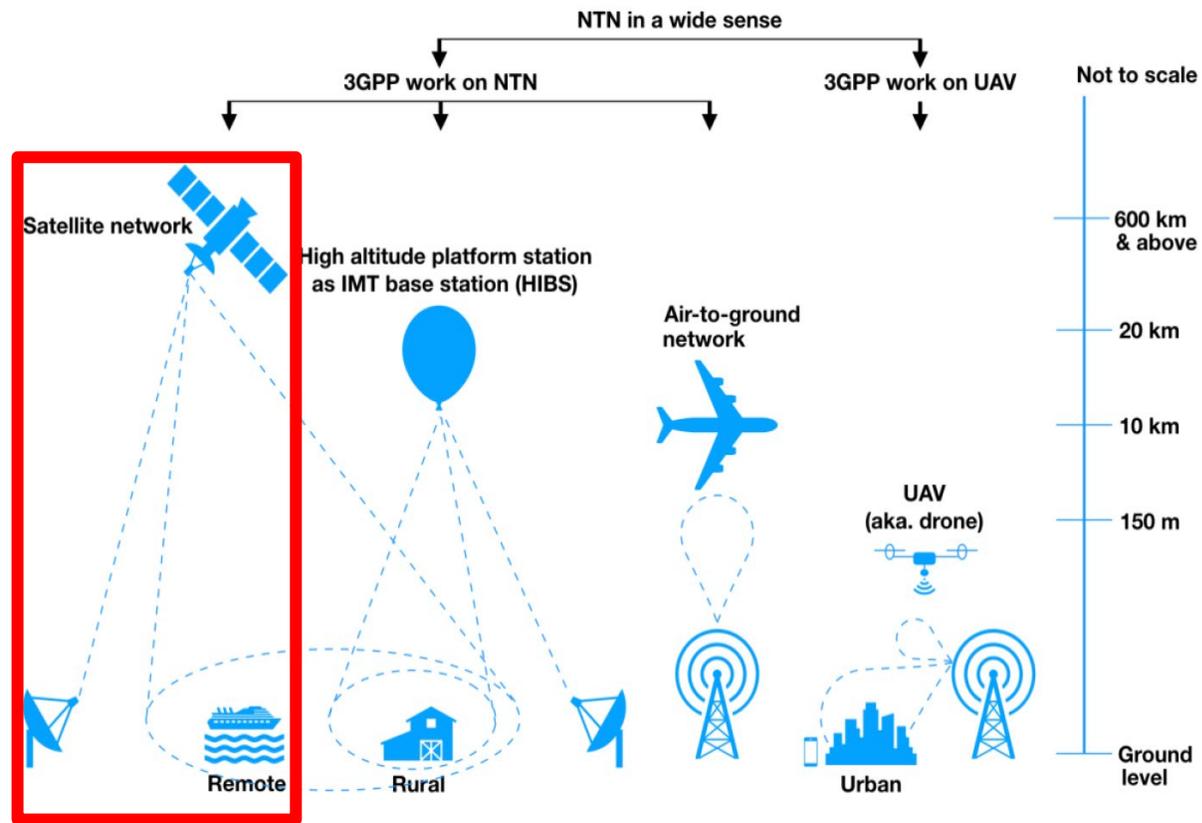
<p><b>4G NB-IoT/ eMTC-</b> Transparent Payload</p> <p><b>5G NR-</b> Transparent Payload</p> <p><b>Supported Band-</b> Satellite and Device Ecosystem for S and L Bands</p> <p><b>Features-</b> Timing Advance, HARQ over target distance, Satellite location info</p> <p><b>Release 17</b></p>	<p><b>4G NB-IoT/ eMTC-</b> Enhancement like Mobility, MAC, Discontinuous coverage</p> <p><b>5G NR-</b> Network Verified Location+ Coverage and Mobility Enhancement</p> <p><b>Supported Band-</b> Satellite and Device Ecosystem for &gt;10Ghz Bands</p> <p><b>Features-</b> Carrier BW support upto 400Mhz, TN-NTN mobility</p> <p><b>Release 18</b></p>	<p><b>4G NB-IoT/ eMTC-</b> Regenerative Payload support (Store and forward), Other enhancement</p> <p><b>5G NR-</b> Regenerative Payloads, other enhancements</p> <p><b>Features-</b> Network Slicing, 5G RedCap device support</p> <p><b>Release 19</b></p>	<p><b>5G NR-</b> Further Enhancements</p> <p><b>6G NR-</b> Further NTN study including versatile radio access/ protocol for TN and NTN</p> <p><b>Features-</b> TN-NTN Interworking</p> <p><b>Release 20</b></p>	<p><b>6G NR-</b> Define the enablers for the NTN support including versatile radio access/ protocol for TN and NTN</p> <p><b>Features-</b> TN-NTN Interworking enhancements</p> <p><b>Release 21</b></p>
--	---	--	---	--



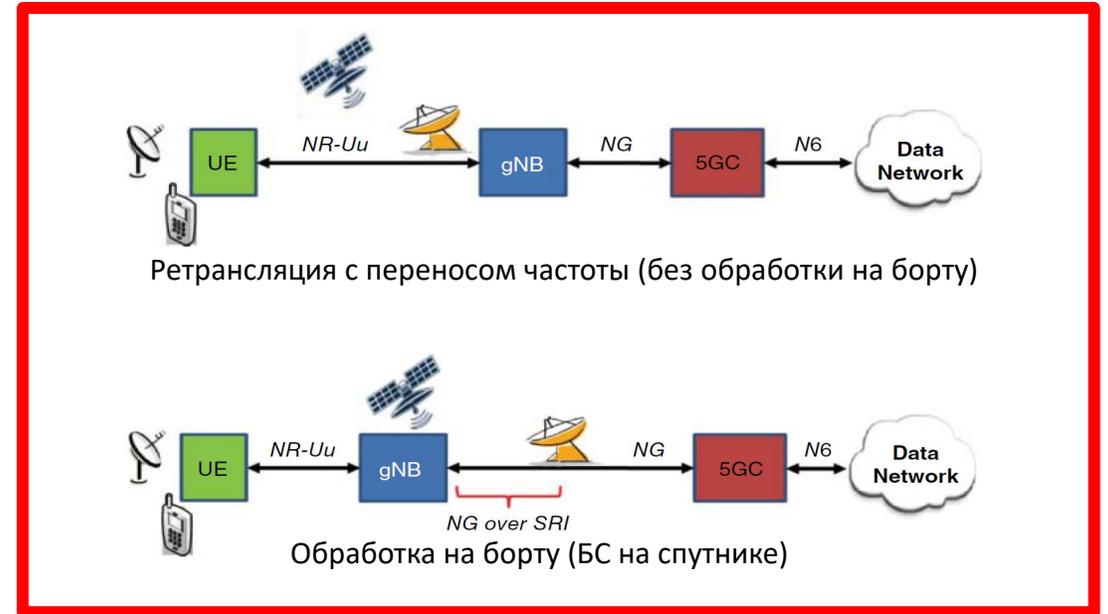
**Проприетарные реализации LTE на спутнике для работы со смартфонами старых релизов**



По типу размещения средств связи и направлениям связи

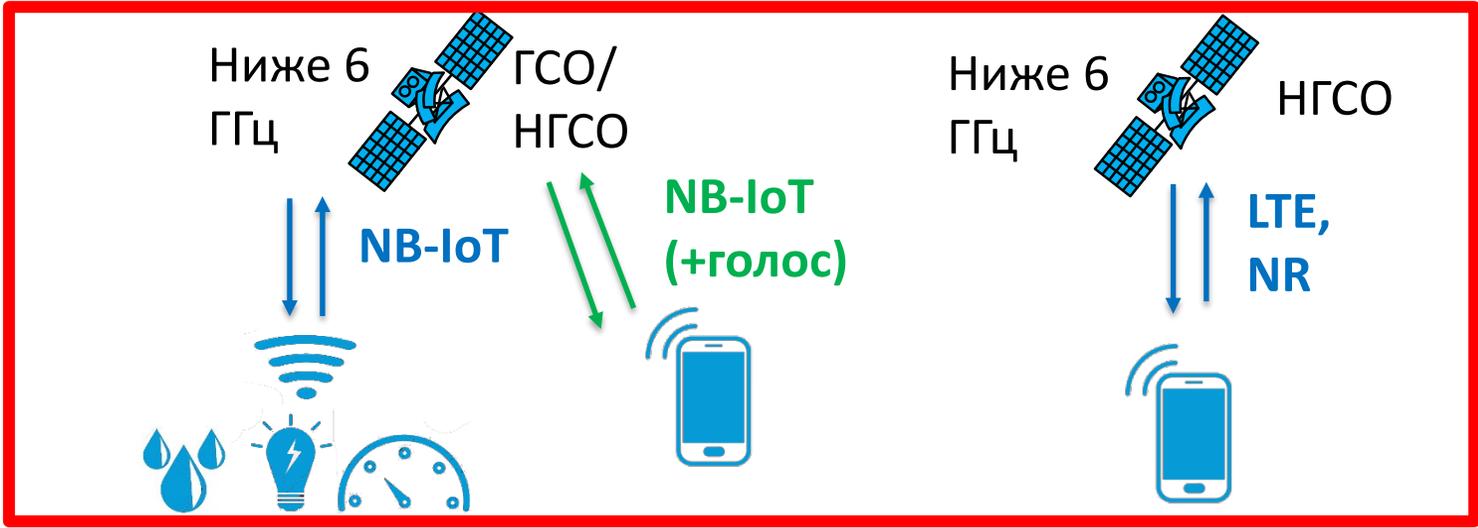


По типу технической реализации



# Текущие исследовательские и тестовые спутниковые проекты

Параметр	Применения IoT и ограниченная связь с обычными терминалами	Прямая связь со смартфонами	Прямая связь со стационарными или возимыми терминалами
Орбиты	LEO, GSO	Пока только LEO	LEO, MEO, HEO, GSO
Архитектура	Ретрансляция или БС на борту	Ретрансляция или БС на борту	Преимущественно ретрансляция
Частоты	Полосы сотовой связи или ПСС	Полосы сотовой связи или ПСС (2 ГГц)	Полосы спутниковой связи выше 7 ГГц
Стандартизация и радиоинтерфейсы	Параметризация наземного NB-IoT и возможно доработки для NTN в rel.18	Доработанный вариант NR для NTN (в 1,5 ГГц и 2 ГГц) или параметризованный интерфейс LTE в сотовых полосах	Доработанный вариант NR для NTN в спутниковых полосах выше 7 ГГц с переходом к FDD (TDD в наземных сетях)
Предполагаемое использование	Мониторинг и трекинг в логистике, сельском хозяйстве и т.д.	Мобильная широкополосная связь	Широкополосная связь, в том числе для движущихся объектов
Примеры компаний	Inmarsat(L-band), Globalstar, Skylo, проекты ESA (сотовые полосы)	<b>Omnispace, Lynk, AST SpaceMobile.</b> <b>SpaceX и Amazon Kuiper также работают в этом направлении.</b>	До завершения стандартизации 3GPP на уровне исследований и разработок спутниковыми операторами

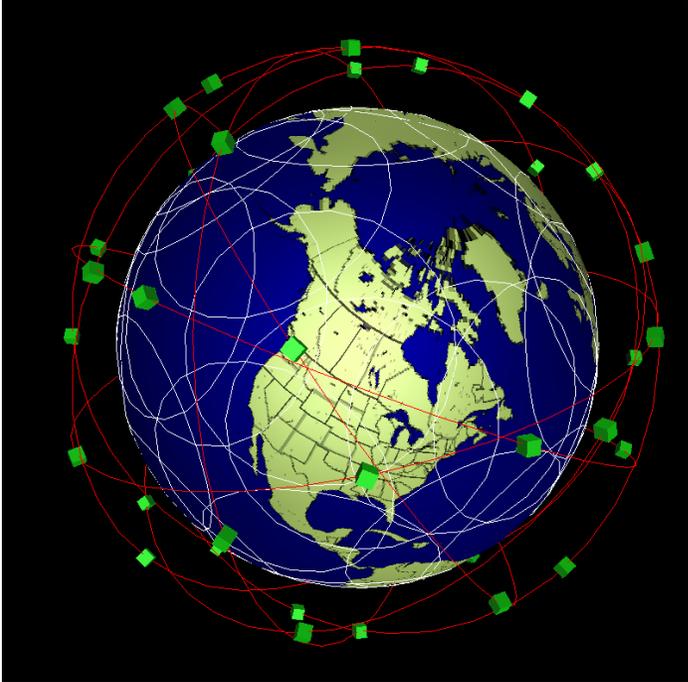


# Содержание доклада

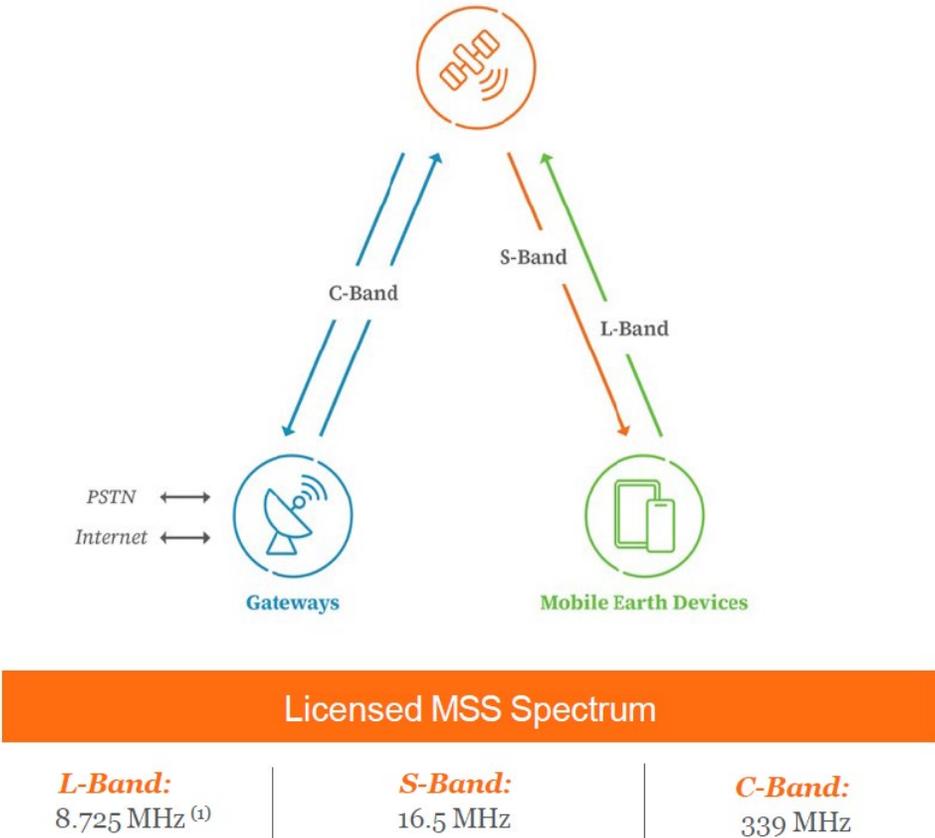
- История попыток создания D2D и современные подходы
- Примеры отдельных проектов по реализации D2D в спутниковых полосах
- Примеры отдельных проектов по реализации D2D в сотовых полосах
- Вопросы радиочастотного обеспечения D2D спутниковой связи

# D2D связь от спутникового оператора Globalstar

48 спутников в восьми плоскостях по 6 спутников



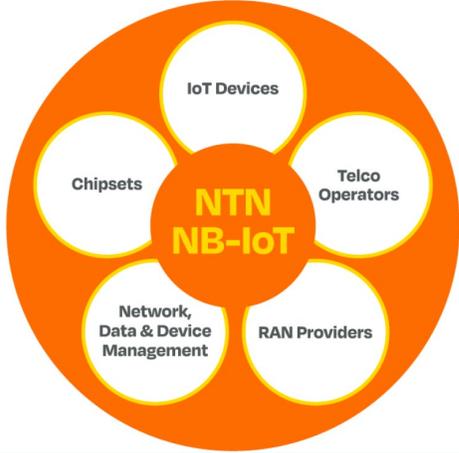
## Традиционный спектр ПСС и технология CDMA



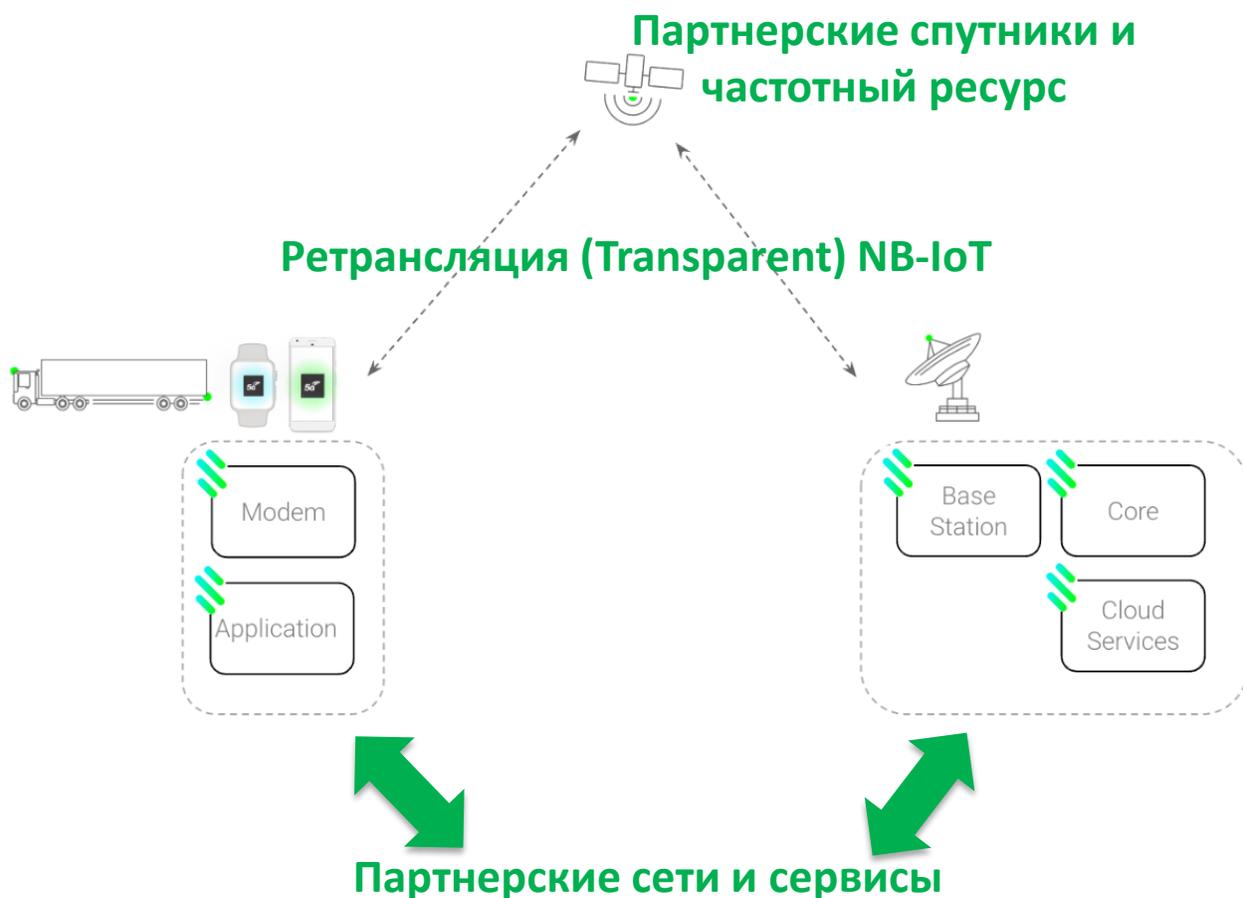
## Интеграция в iPhone



## Освоение NB-IoT для IoT рынка



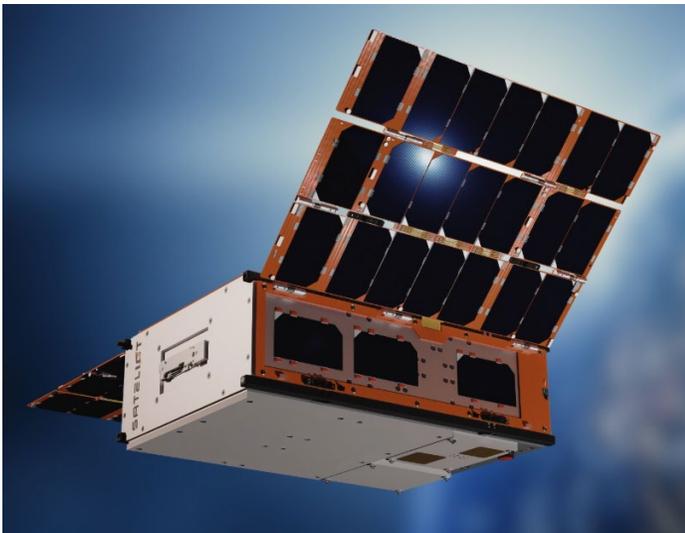
## Архитектура сети Skylo



## Растущее число партнеров и сетей



Ставка на простые спутники и возможность работы не в реальном времени (орбиты и число спутников могут не обеспечивать постоянное покрытие)

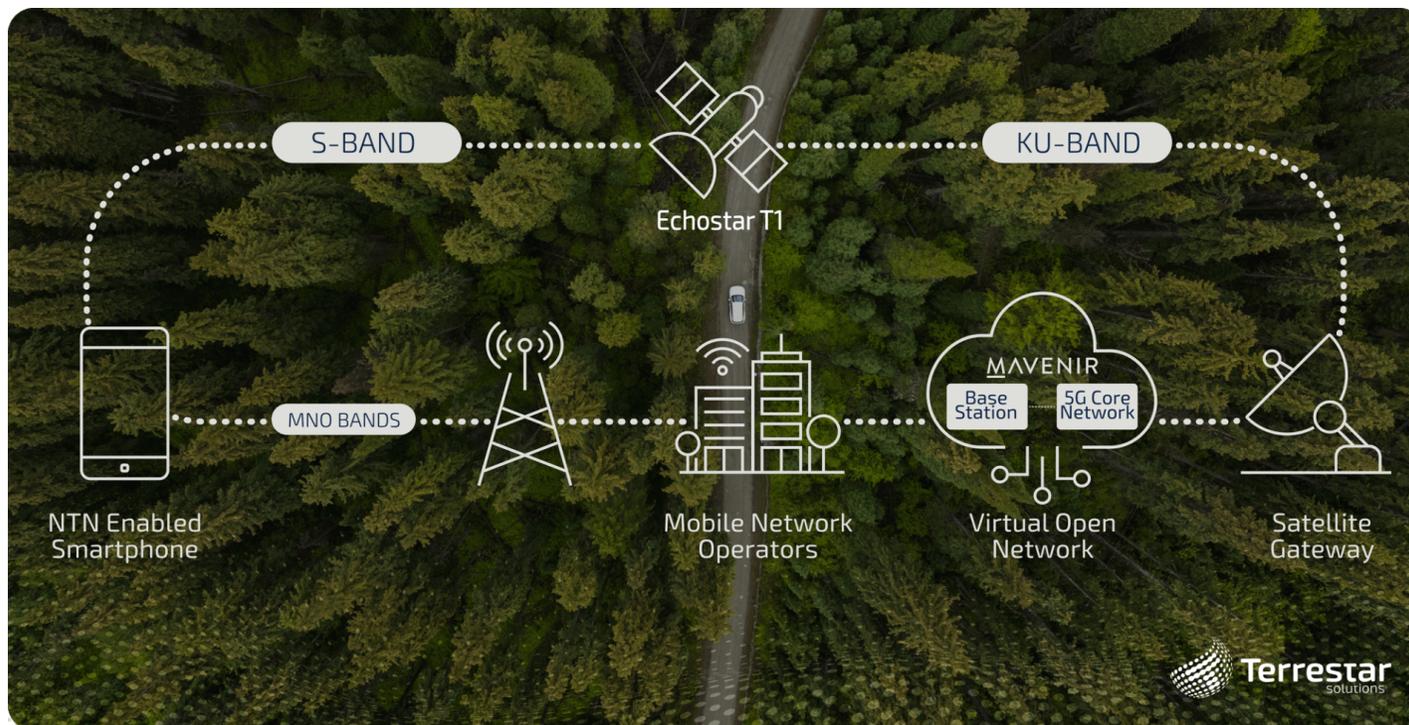


S-диапазон

## Возможность работать с минимальным набором спутников

Spacecraft	Launch Date (UTC)	Launch Vehicle	Spaceport	Orbit	Descriptor
Sateliot_1, Sateliot_2, Sateliot_3, Sateliot_4	August 16, 2024, 18:56	Falcon-9, Transporter-11 Rideshare mission	Space Launch Complex 4E (SLC-4E), Vandenberg Space Force Base (VSFB)	Sun-synchronous orbit of 510 to 600 km with an inclination of 97.45° to 97.75.	Launched onboard SpaceX's rocket
Sateliot_0 (The GroundBreaker)	April 16, 2023, 06:47 am	Falcon-9	Space Launch Complex 4E (SLC-4E), Vandenberg Space Force Base (VSFB)	Sun-synchronous with and altitude of approximately 550 km	Launched onboard SpaceX's rocket
Sateliot Enxaneta	March 22, 2021, 06.07 am	Suyuz-2.1a	Baikonur Cosmodrome, in Kazakhstan	Sun-synchronous with and altitude of approximately 550 km	Launched onboard GK Launch Services rocket

## Архитектура сети Terrestar



## Тесты первого голосового звонка через NB-IoT

"This industry-first call was made earlier in the year, January 2025, using standard codec, Sony's Altair ALT1250 module, Mavenir Open RAN (Open vRAN and Open Beam radio), Mavenir Converged Packet Core, and was conducted in collaboration with Terrestar.

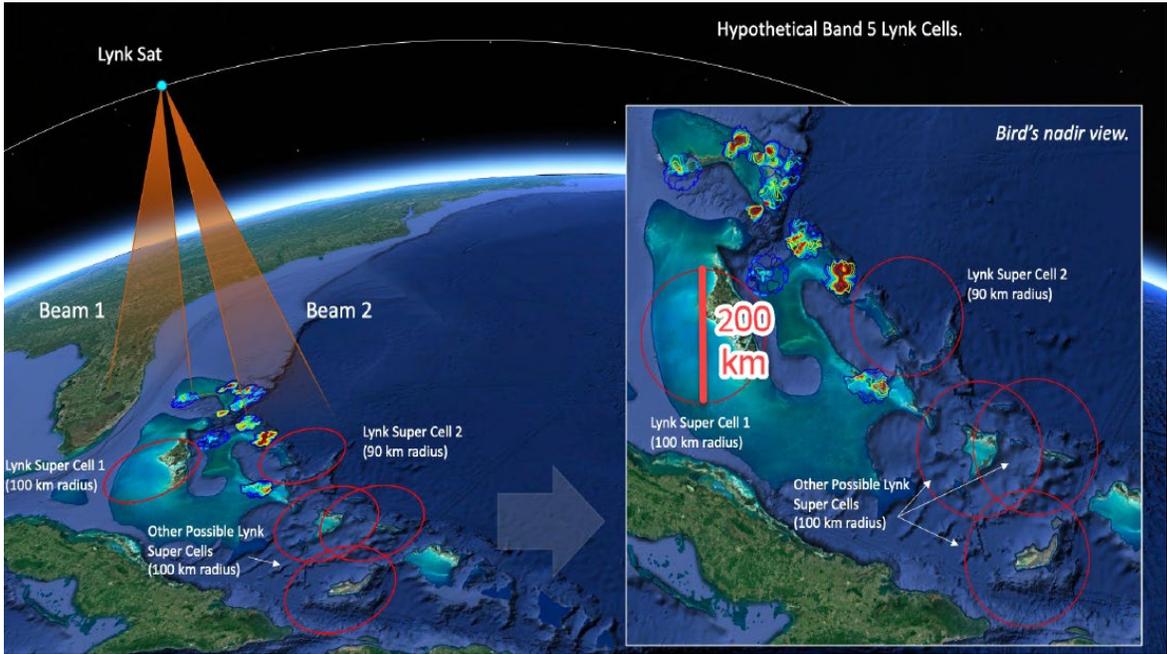
The successful VoNB (Voice over NB-IoT) call highlights Mavenir's and Terrestar's industry leadership in delivering innovative solutions that bridge the connectivity gap in challenging and remote environments."

# Содержание доклада

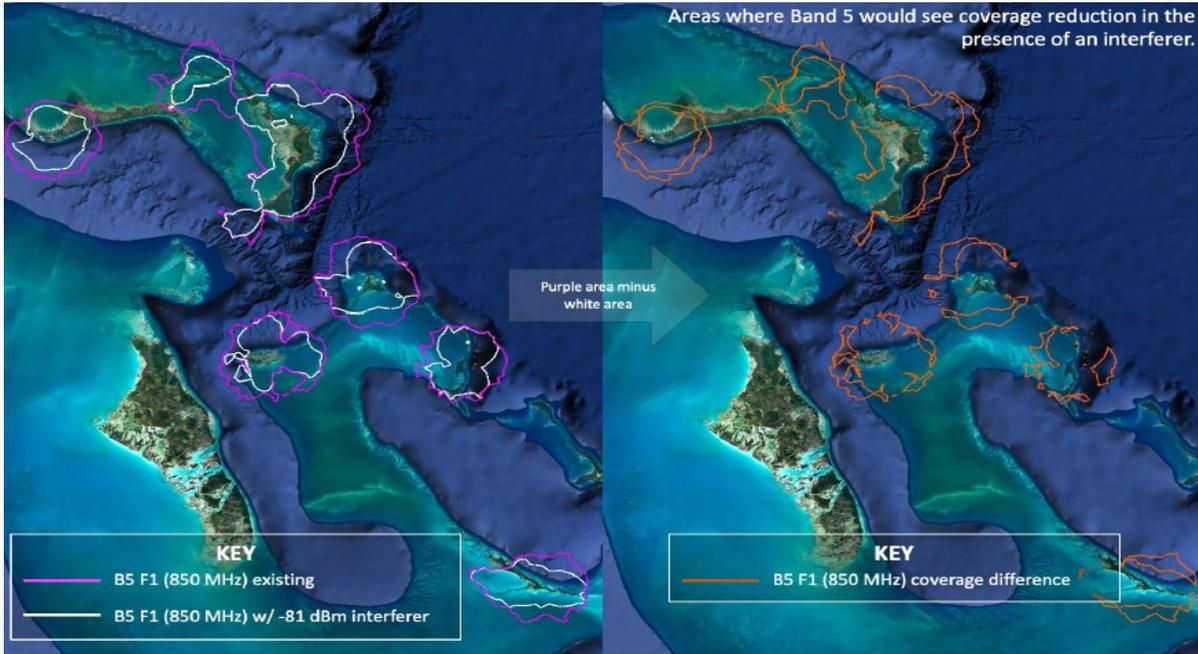
- История попыток создания D2D и современные подходы
- Примеры отдельных проектов по реализации D2D в спутниковых полосах
- Примеры отдельных проектов по реализации D2D в сотовых полосах
- Вопросы радиочастотного обеспечения D2D спутниковой связи

# Разворачиваемая сеть Lynk (стратегическое партнерство с SES с 2025 года)

## Пример тестового покрытия системы Lynk



## Оценка снижения покрытия в наземной сети



## Выбор несущих наземной сети для минимизации помех

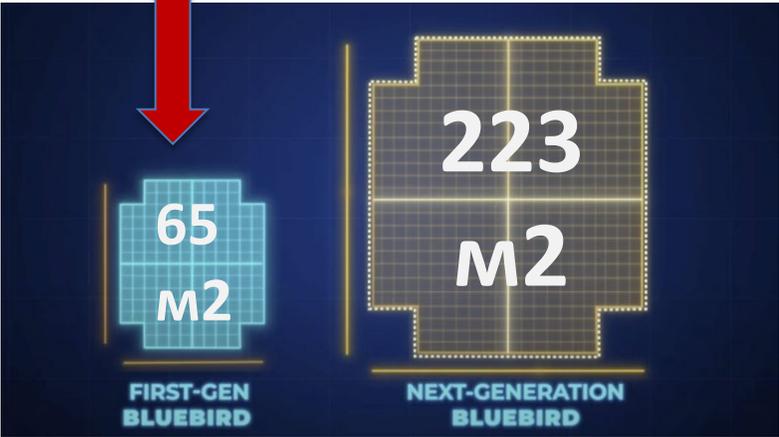
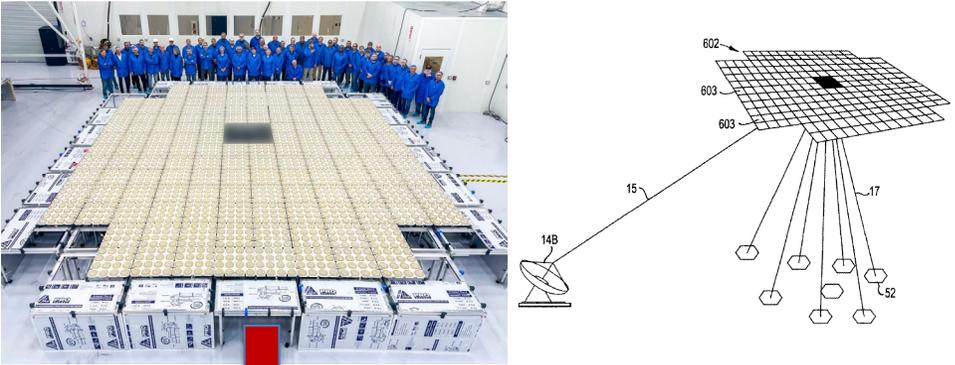
Полоса и номер несущей	Процент покрытия с доступом только через одну несущую в каком-либо диапазоне
Полоса 2, F1 (1900 МГц)	0,0035%
Полоса 4, F1 (2100 МГц)	0,0044%
Полоса 5, F1 (850 МГц)	0,1204%
Полоса 5, F2 (850 МГц)	1,3185%
Полоса 13, F1 (700 МГц)	4,5036%
Всего	5,9504%

Источник: Lynk



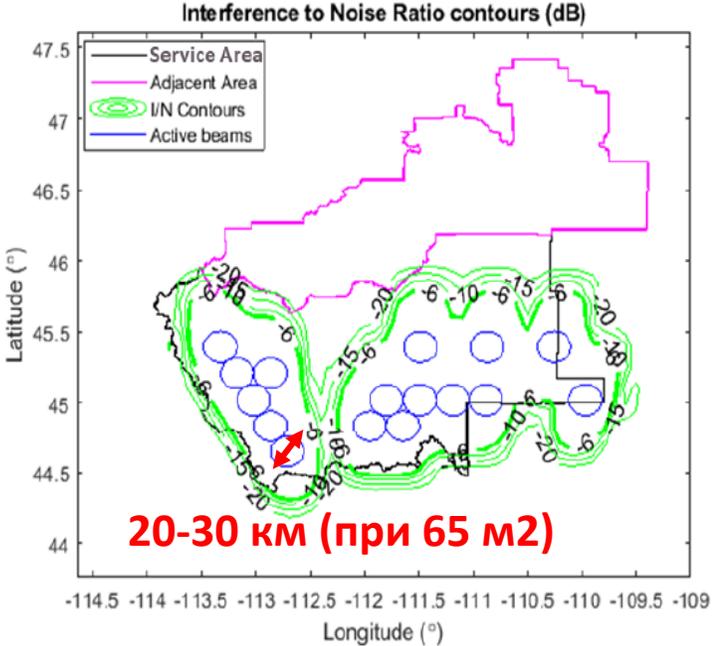
# Разворачиваемая сеть AST SpaceMobile

Подход с меньшим числом спутников с большими многолучевыми антеннами

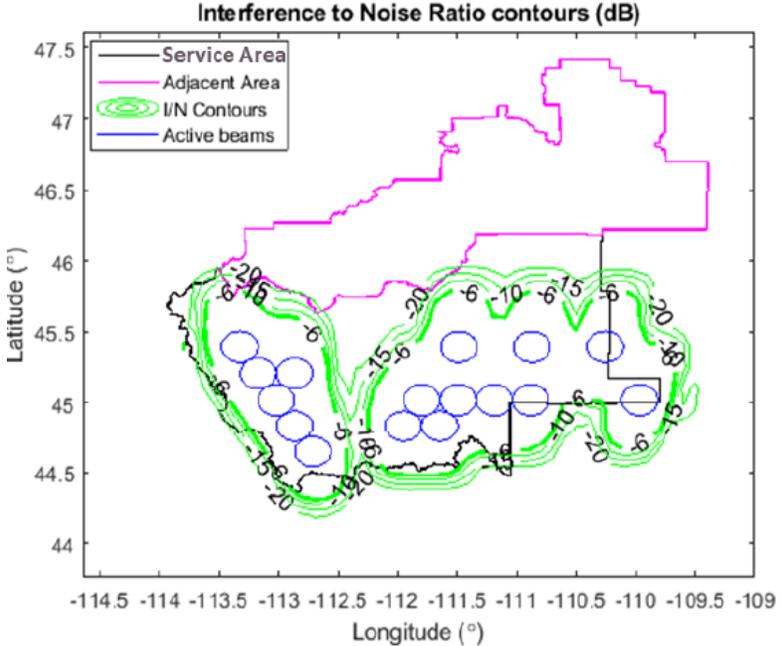


Орбита порядка 700 км

Планируемый принцип формирования зон обслуживания спутниками AST SpaceMobile с учетом защиты от помех соседних операторов



(a) Service area near 30° elevation angle with beams at ~12 dB back-off (Beam Peak C/N = 7.3 dB)



(b) Service area near 30° elevation angle with beams at ~12 dB back-off (Beam Peak C/N = 7.3 dB)

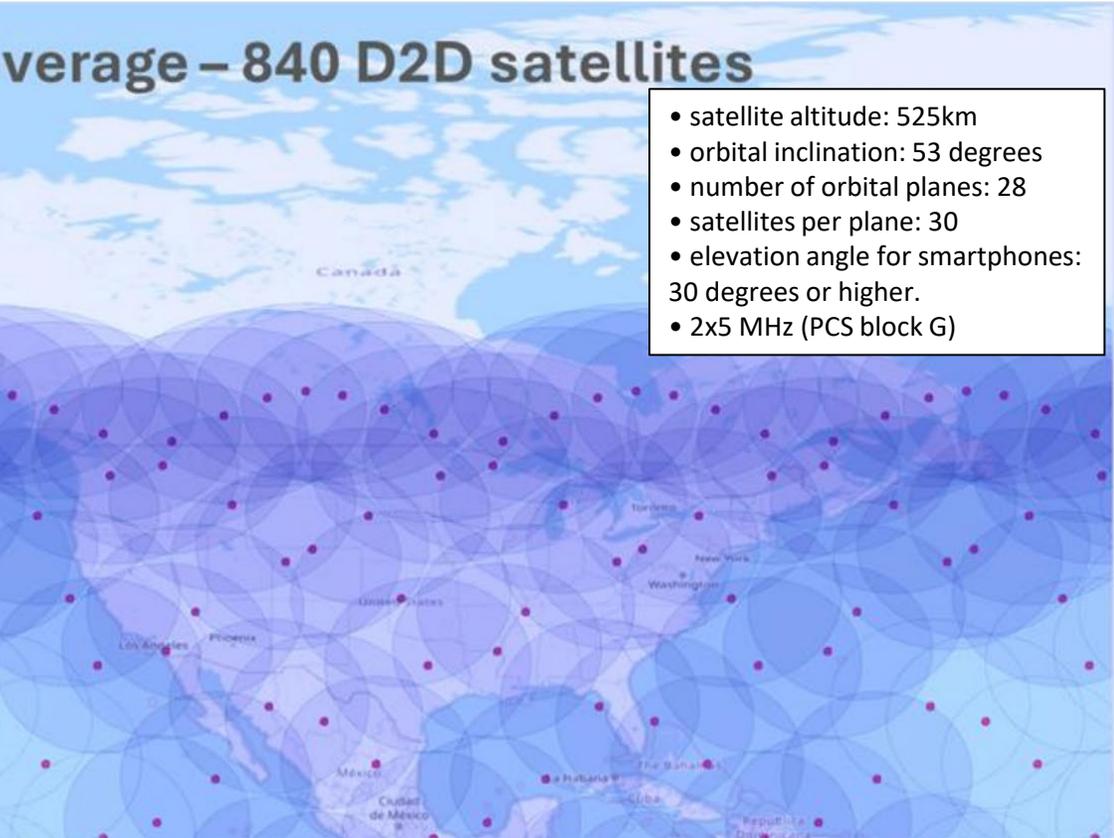
**Запущено пока 5 из 243 спутников**  
**Также для США и Канады выкуплен спектр 45 МГц (1530 – 1544, 1545 – 1559, 1631.5 - 1645.5, 1646.5 - 1660.5)**

## Первичная группировка Starlink для покрытия США

### US coverage – 840 D2D satellites

- satellite altitude: 525km
- orbital inclination: 53 degrees
- number of orbital planes: 28
- satellites per plane: 30
- elevation angle for smartphones: 30 degrees or higher.
- 2x5 MHz (PCS block G)

In the PCS G Block, SpaceX's direct-to-cellular service in the United States would be able to provide voice, messaging, and basic web browsing at theoretical peak speeds of up to either 3.0 Mbps or 7.2 Mbps peak upload (Earth-to-space) over 1.4 MHz or 5 MHz bandwidth channels per beam, respectively, and up to either 4.4 Mbps or 18.3 Mbps on the downlink (space-to-Earth) over the 1.4 MHz channels or the 5 MHz channel per beam, respectively.



**Показана зона обслуживания спутников, но не размер сот в одном луче**

Источник: Analysys Mason

## Из заявки Starlink

The SpaceX direct-to-cellular system will be deployed on up to **7,500** satellites within the orbital shells at 525 km, 530 km, and 535 km altitudes.

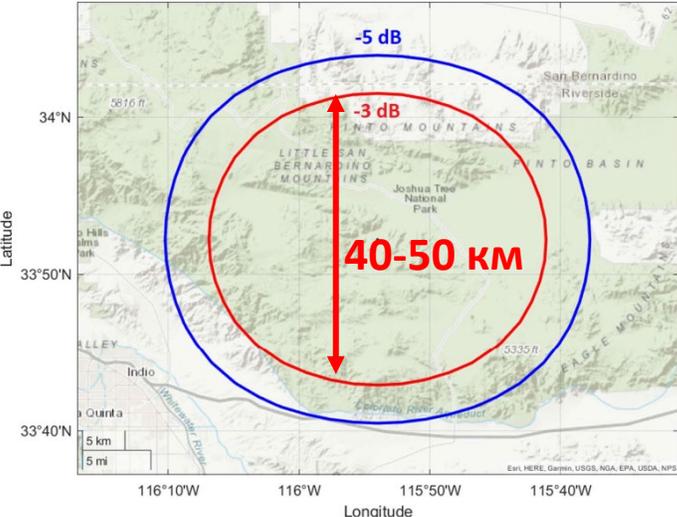


Figure A.3-1: Intended Beam Coverage Area showing -3 dB (red) and -5 dB (blue) contours.

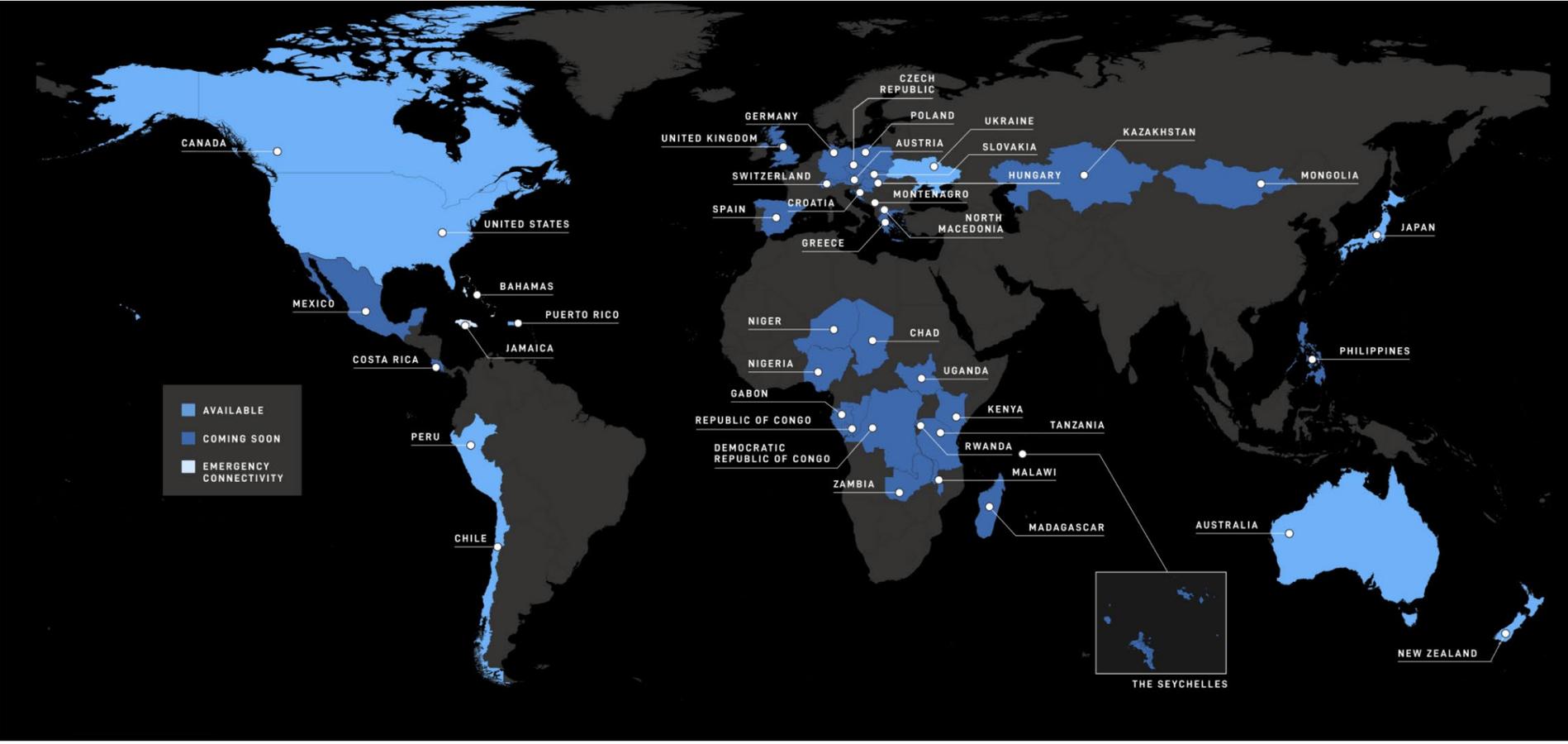
**Размер сот в одном луче**

# D2D спутниковая связь от Starlink - текущая ситуация

Пример радиочастотного обеспечения

UL	DL	3GPP	Страна
1780-1785	1875-1880	b3	Новая Зеландия
1905-1910	1985-1990	b25	Чили
1910-1915	1990-1995	b25	США
1920-1925	2110-2115	b1	Япония
2500-2510	2620-2630	b7	Австралия

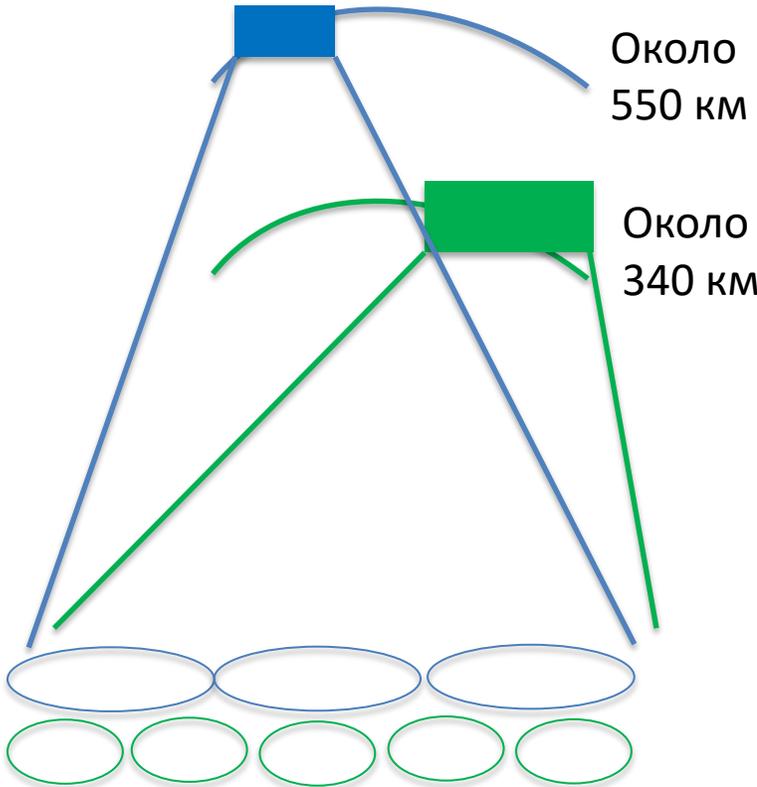
Доступность по странам



## Starship - ключевой элемент развития НГСО



## Снижение орбиты и увеличение апертуры антенн в Gen2



## Сотовый спектр + новый спектр ПСС

Ограниченный сотовый спектр (из-за его использования наземными сетями)



Обширные лицензии ПСС в 2 ГГц и наземный спектр от



“We are aiming at peak speeds of 150 Mbps per user”, SpaceX

# Содержание доклада

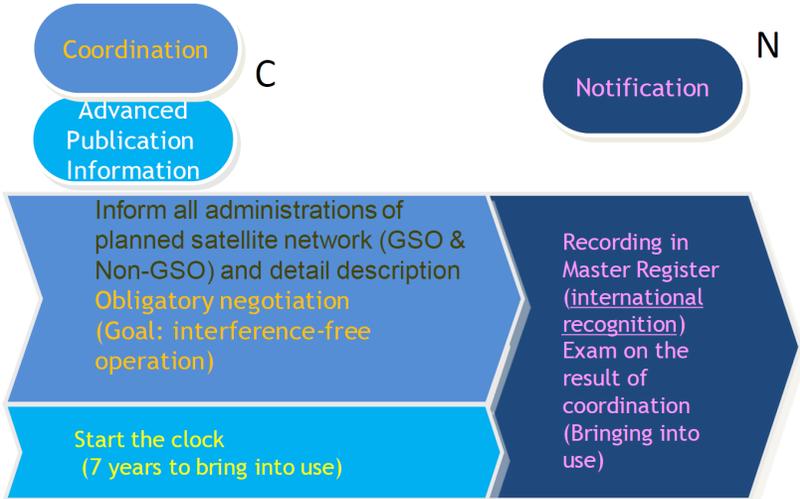
- История попыток создания D2D и современные подходы
- Примеры отдельных проектов по реализации D2D в спутниковых полосах
- Примеры отдельных проектов по реализации D2D в сотовых полосах
- Вопросы радиочастотного обеспечения D2D спутниковой связи

## Традиционные диапазоны подвижной спутниковой связи: L- и S- диапазоны

Table 5.2.2-1: NTN satellite bands in FR1-NTN

NTN satellite operating band	Uplink (UL) operating band Satellite Access Node receive / UE transmit F <sub>UL,low</sub> – F <sub>UL,high</sub>	Downlink (DL) operating band Satellite Access Node transmit / UE receive F <sub>DL,low</sub> – F <sub>DL,high</sub>	Duplex mode
n256	1980 MHz – 2010 MHz	2170 MHz – 2200 MHz	FDD
n255	1626.5 MHz – 1660.5 MHz	1525 MHz – 1559 MHz	FDD
n254	1610 – 1626.5 MHz	2483.5 – 2500 MHz	FDD

NOTE: NTN satellite bands are numbered in descending order from n256.



**Но начинают проявляться особенности национального допуска операторов на внутренние рынки сотовой связи**

## Сотовые полосы для спутниковой связи



### Серая зона регулирования:

- Текущие решения и разрешения FCC;
- Начата работа по регулированию в Европе;
- Пункт 1.13 повестки дня ВКР-27.

## Пункт 1.13 повестки дня ВКР-23

1.13 В соответствии с Резолюцией 253 (ВКР-23) рассмотреть результаты исследований возможных новых распределений подвижной спутниковой службе для прямого подключения между космическими станциями и пользовательским оборудованием Международной подвижной электросвязи (ИМТ) в дополнение к покрытию наземных сетей ИМТ;

решает предложить Сектору радиосвязи МСЭ завершить своевременно до начала ВКР-27

- 1 исследования возможных распределений ПСС в диапазоне частот **от 694/698 МГц до 2,7 ГГц** с учетом планов размещения частот ИМТ, рассматриваемых в последней версии Рекомендации МСЭ-R М.1036;
- 2 исследования потребностей в спектре, а также технических, эксплуатационных и регуляторных вопросов, связанных с внедрением подвижной спутниковой службы для обеспечения прямого подключения к пользовательскому оборудованию ИМТ в дополнение к покрытию наземного сегмента ИМТ,

решает далее

- 1 провести исследования совместного использования частот и совместимости с действующими службами, в том числе в соседних полосах частот, при обеспечении защиты действующих служб в соответствии с Регламентом радиосвязи;
- 2 изучить возможные технические и эксплуатационные меры для обеспечения того, чтобы станции ПСС не создавали вредных помех станциям, работающим в подвижной службе, и не требовали защиты от них,

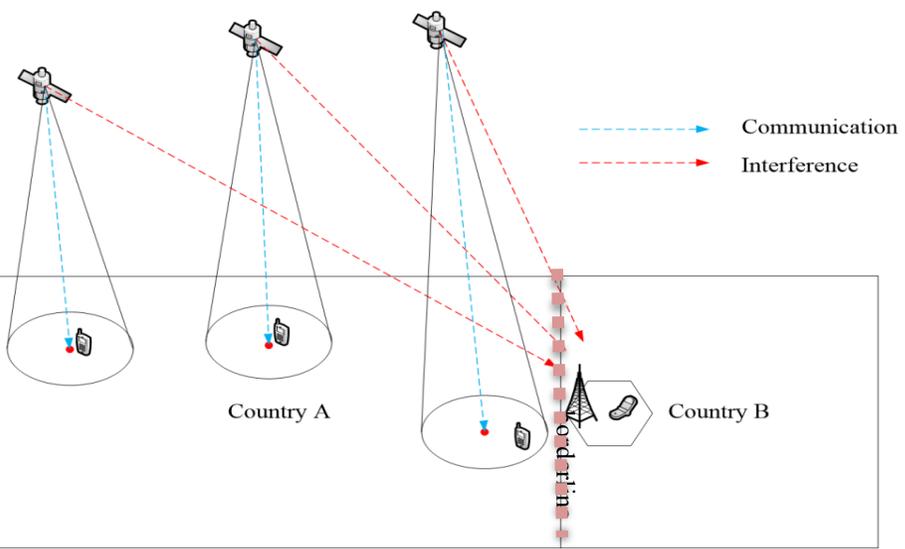
## Рассматриваемые частотные планы

Direction	
Uplink (MHz)	Downlink (MHz)
[807814/807824-849]*	[852859/852869-894]
880-915	925-960
832-862	791-821
698-716	716-746
776-798	746-768
698-748	753-803
1 427-1 470	1 475-1 518
1 920-1 980	2 110-2 170
1 710-1 785	1 805-1 880
1 850-1 920	1 930-2 000
1 710-1 780	2 110-2 180
2 000-2 020	2 180-2 200
2 010-2 025 <sup>3</sup>	1 880-1 920 <sup>3</sup>
2 305-2 320 <sup>1</sup>	2 345-2 360 <sup>1</sup>
2 500-2 570	2 620-2 690

\* The Band is corrected in line with Recommendation ITU-R M.1036 as an editorial action.

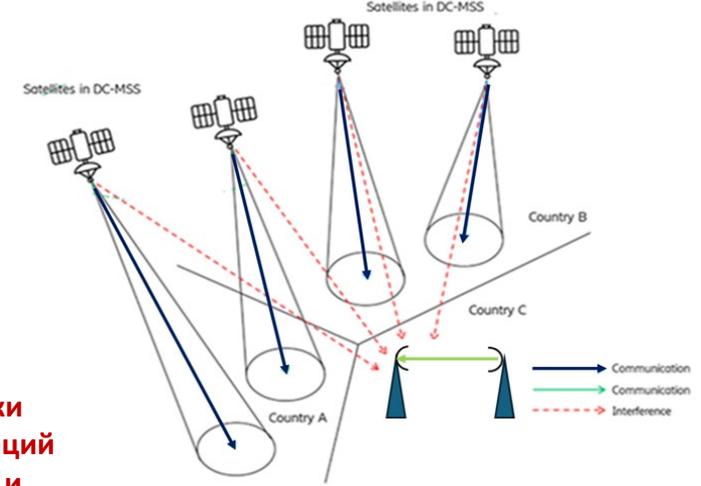
# Исследования в рамках пункта 1.13

## Исследования в рамках РГ 5D - Меры по защите наземных сотовых сетей



Несколько вариантов параметров и вариантов формирования ограничений

## Исследования в рамках РГ 4C - Меры по защите других служб



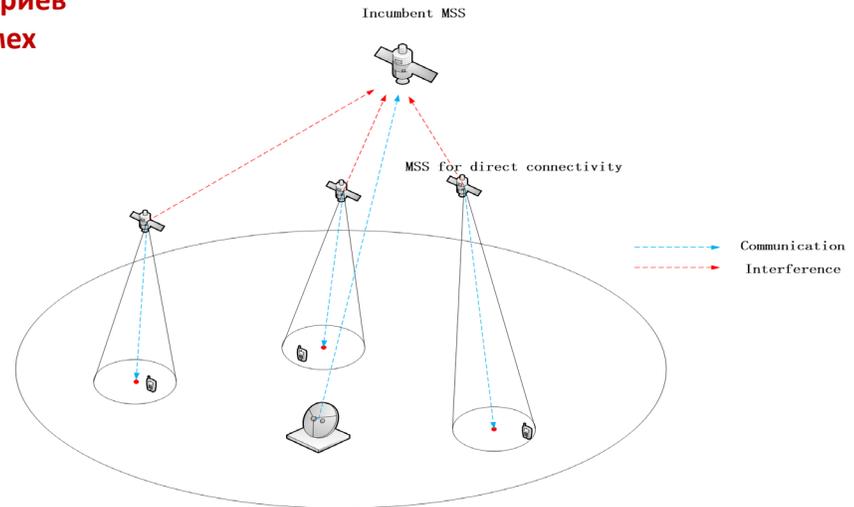
Десятки комбинаций служб и сценариев помех

**Маска ППМ для защиты АС**

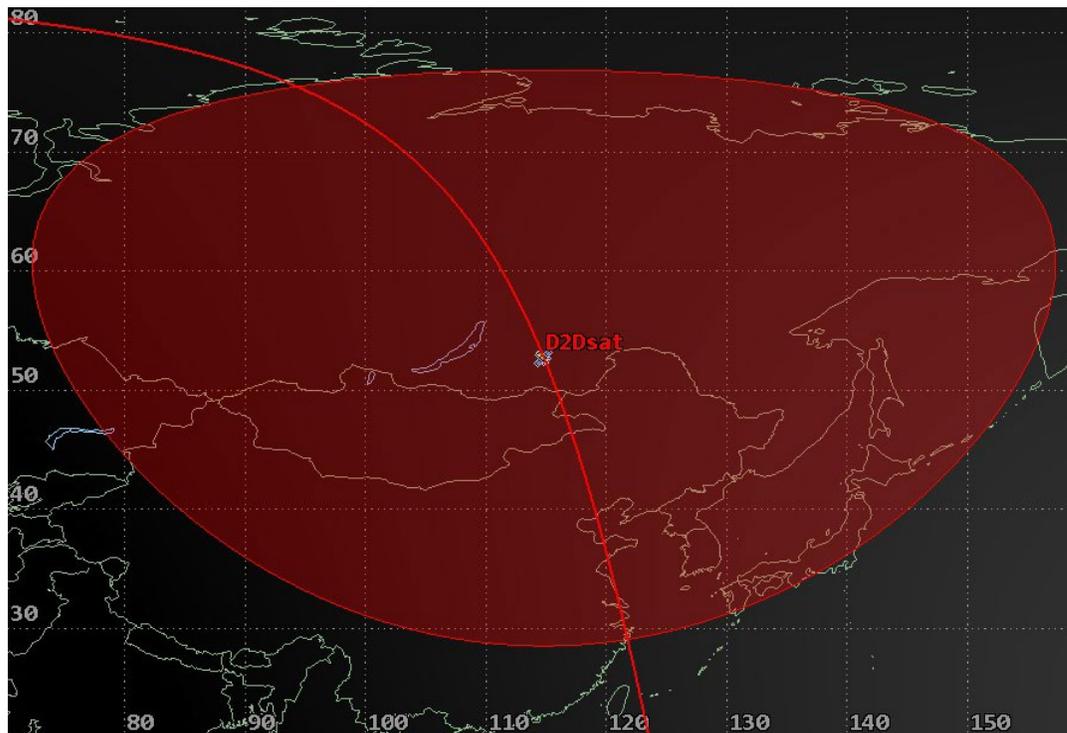
VS

**Маска ППМ или эквивалентная ППМ для защиты БС**

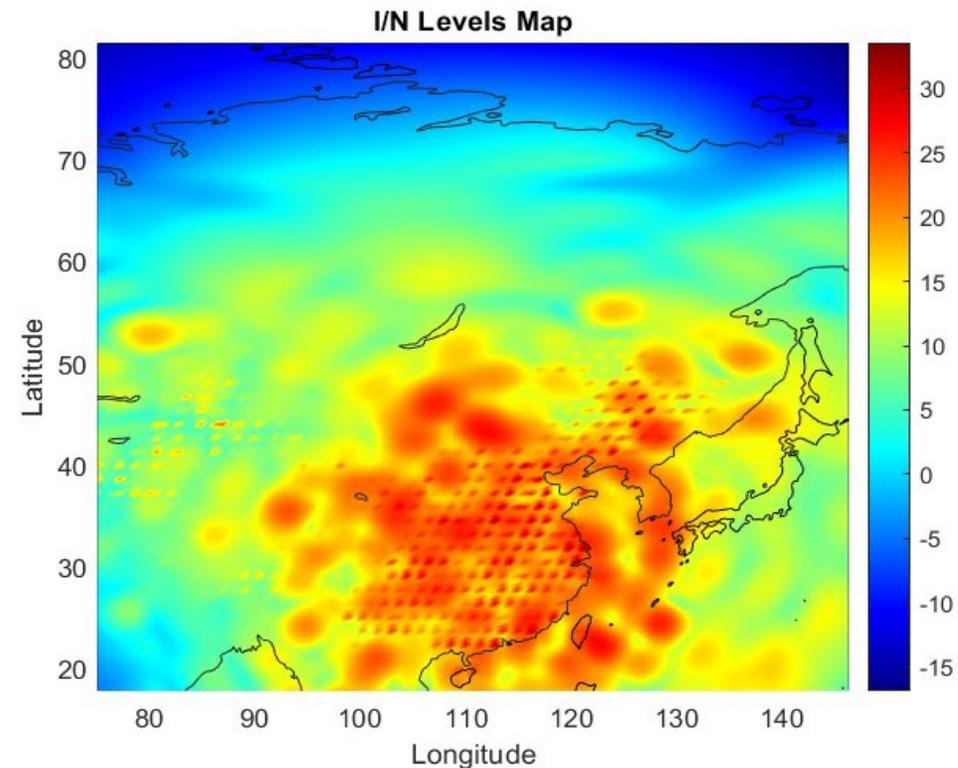
- PFD limit per satellite
- Aggregate PFD limit per system
- EPFD limit per system
- Aggregate EPFD limit



Пример зоны видимости со спутника на высоте 600 км



Пример помех на спутник для различных координат подспутниковой точки от БС в Китае



## Предварительная позиция стран РСС

Направление передачи		Предполагаемая позиция по полосам
Линия вверх, МГц	Линия вниз, МГц	
807-849	852-894	Против, до разработки дополнительных мер по защите систем ВРНС
880-915	925-960	
832-862	791-821	
698-716	716-746	
776-798	746-768	
698-748	753-803	
1427-1470	1475-1518	Против
1920-1980	2110-2170	Против (полоса 2110-2170 МГц)
1710-1785	1805-1880	
1850-1920	1930-2000	Не применим в РСС
1710-1780	2110-2180	Против
2000-2020	2180-2200	Против
2010-2025	1880-1920	Против (полоса 2010-2025 МГц) Не применимо в РСС (Полоса 1880-1920)
2305-2320	2345-2360	Против
2500-2570	2620-2690	

## Работы ЕС по выработке единого подхода и решения проблем на границе стран



### MANDATE TO THE CEPT

TO STUDY FEASIBILITY OF AND DEVELOP LEAST RESTRICTIVE HARMONISED TECHNICAL CONDITIONS FOR THE USE OF EU-HARMONISED FREQUENCY BANDS FOR TERRESTRIAL WIRELESS SYSTEMS PROVIDING ELECTRONIC COMMUNICATIONS SERVICES BY SATELLITE SYSTEMS PROVIDING DIRECT-TO-DEVICE-IMT<sup>1</sup> CONNECTIVITY

#### 1. PURPOSE

The objective of this Mandate is to study feasibility and develop harmonised technical conditions for the use of EU-harmonised frequency bands for the terrestrial provision of electronic communications services (ECS) also by satellite systems providing Direct-to-Device-IMT (D2D-IMT) connectivity<sup>2</sup>. Such use should protect the continued use of those bands by terrestrial wireless systems providing ECS, as well as ensure appropriate protection or coexistence with other incumbent services in those bands and in adjacent bands, including across Member States' borders and at the EU's external border. Satellite systems providing D2D-IMT connectivity are intended to complement the coverage of terrestrial wireless systems providing ECS.

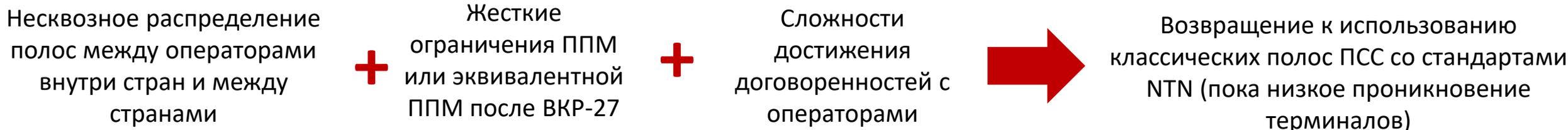
**Конец 2026:** Технические исследования

**Середина 2027:** Проект регулирования

**Конец 2028:** Учет ВКР-27 и установление стандартов для оборудования

# Потеря актуальности пункта 1.13 повестки дня ВКР-27

## Ситуация с регулированием сотовых полос



## Приобретение спектра в традиционных полосах ПСС



**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ**