



Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники



Белорусские облачные
технологии



Международный Союз
Электросвязи

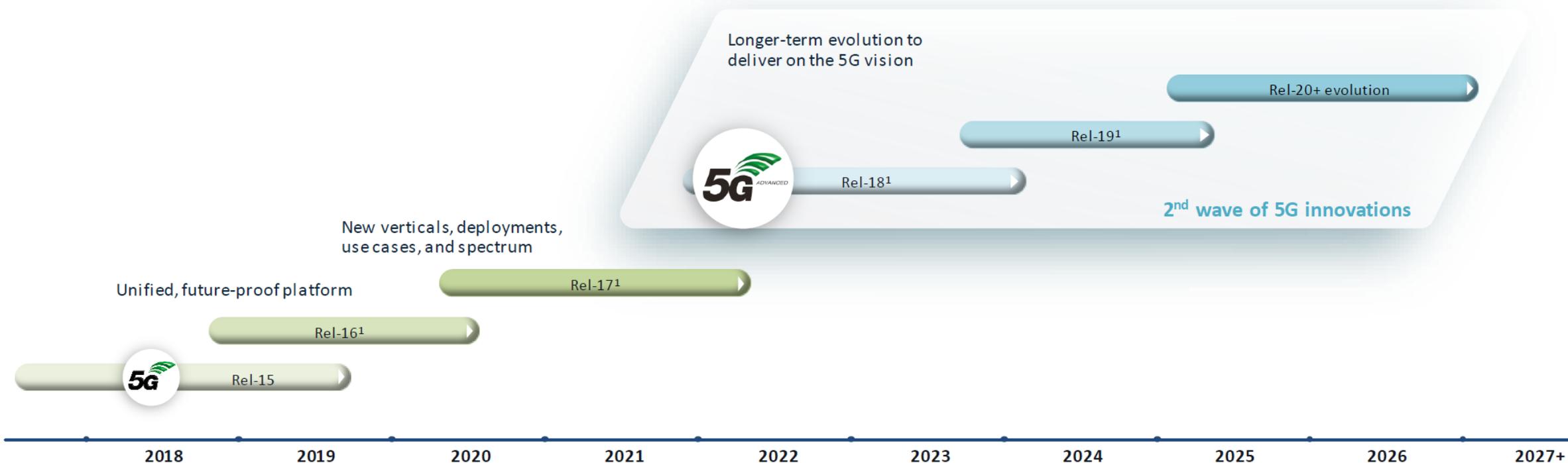
«Современный этап развития мобильных сетей»

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

Содержание доклада

- Текущее развитие стандартов и технологий
- Статус внедрения сетей 5G
- Будущее развитие и перспективы

Динамика релизов 3GPP и стандартизации нового функционала



Rel-15 eMBB Focus

- 5G NR foundation
- Smartphones, FWA, PC
- Expanding to venues, enterprises

Rel-16 Industry Expansion

- eURLLC and TSN for IIoT
- NR in unlicensed
- 5G V2X sidelink
- Multicast
- In-band eMTC/NB-IoT
- Positioning

Rel-17 Continued Expansion

- Lower complexity RedCap
- Non-terrestrial communication (satellites)
- Unlicensed/licensed spectrum in 60 GHz
- Improved IIoT, positioning V2X, IAB, ...

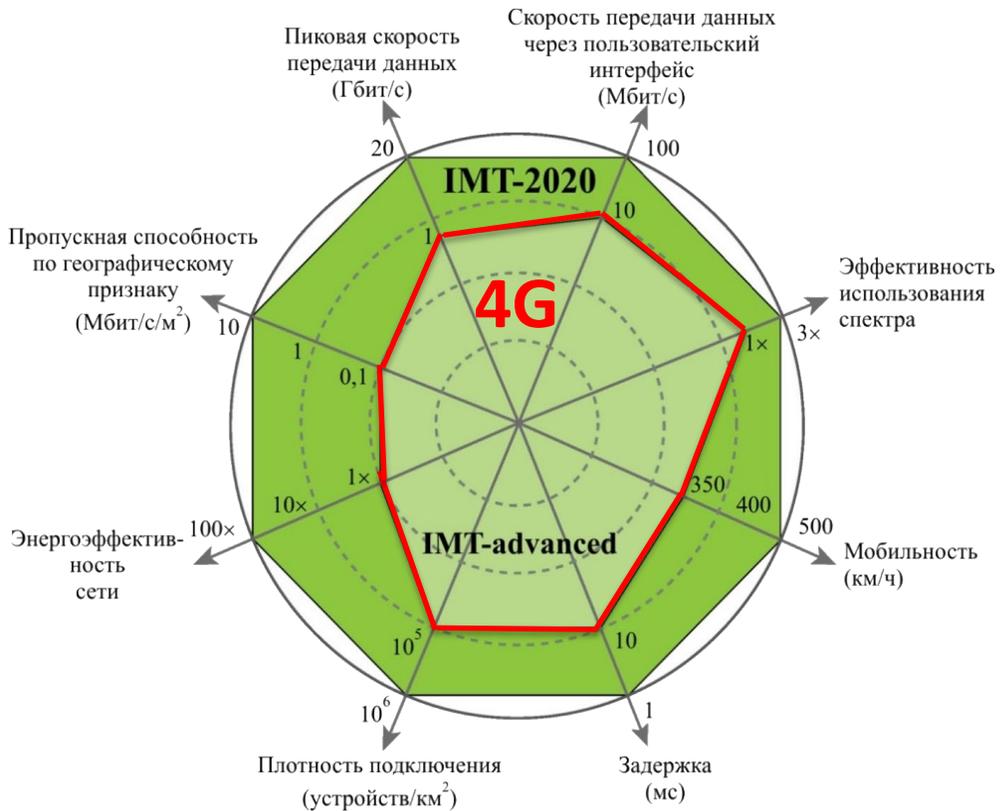
5G-Advanced: Rel-18, 19, ...

- Next set of 5G releases (i.e., 18, 19, 20, ...)
- Rel-18 work completed in Dec' 2023
- Rel-19 work started from 1Q' 2024

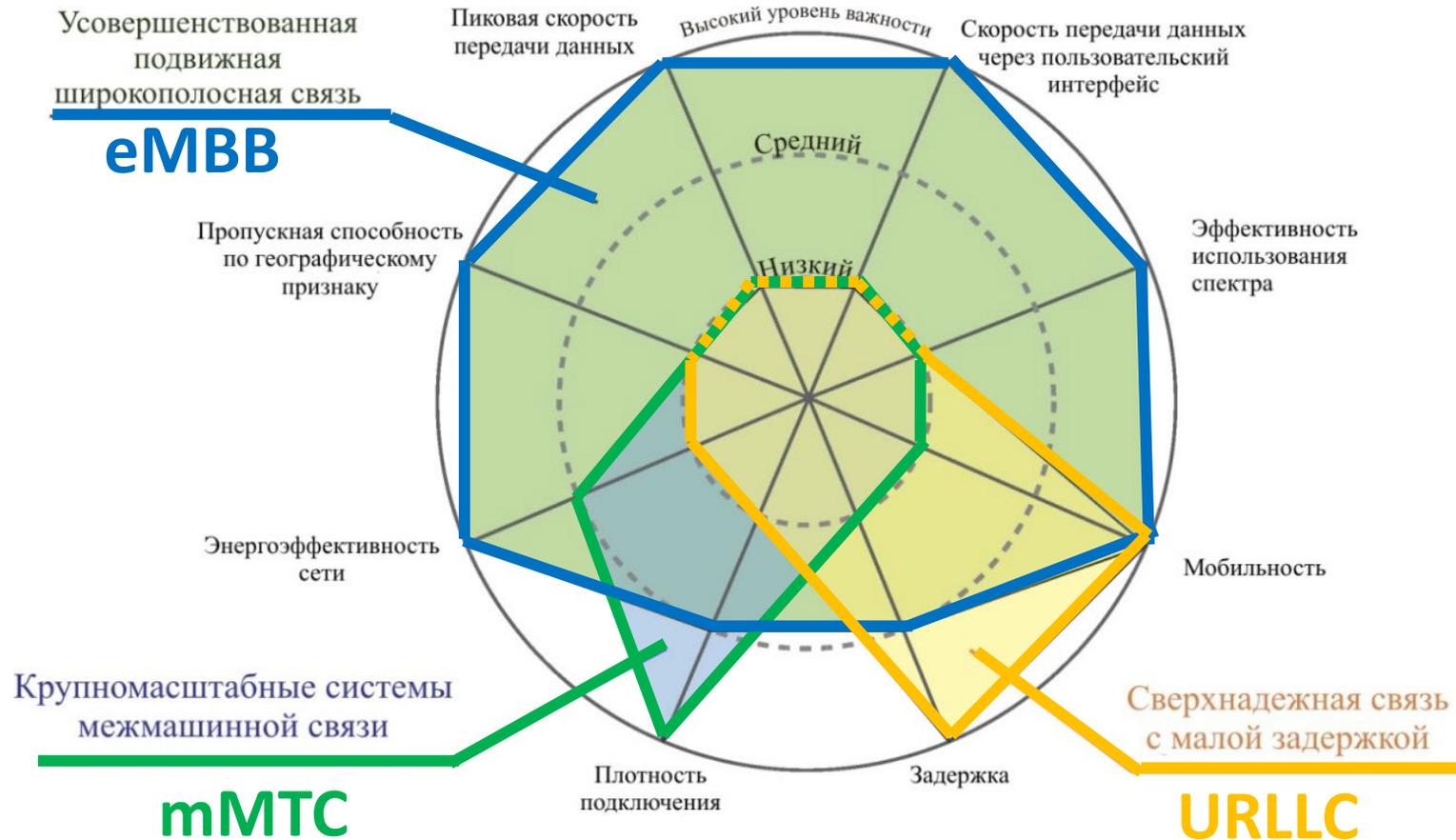
1. 3GPP start date indicates approval of study package (study item->work item->specifications), previous release continues beyond start of next release with functional freezes and ASN.1

Изначально ставленная цель реализации 5G (IMT-2020)

Общие требования к сетям 5G в целом



Разные требования для разных сценариев

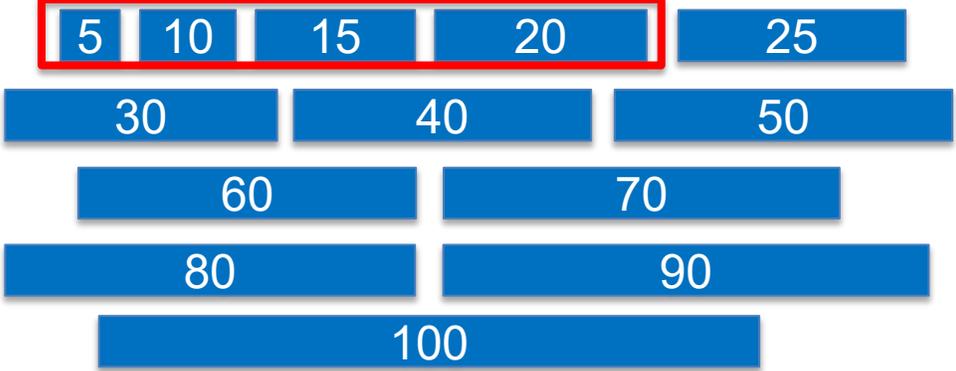


Отправная точка 3GPP rel. 15 – фокус на eMBB

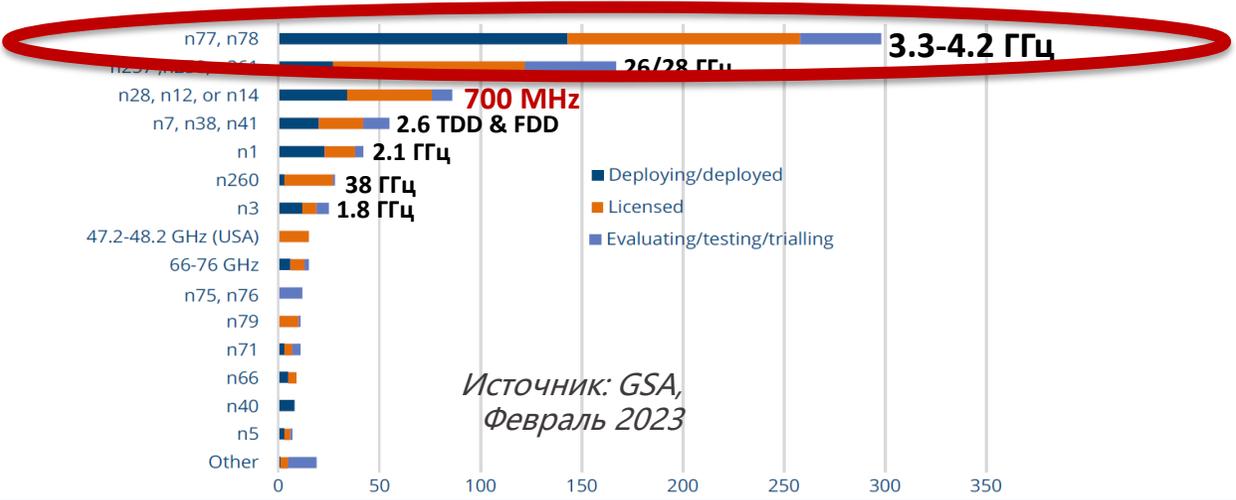
Переход к широкополосным каналам

Frequency Range 1 (NR для полос ниже 7125 МГц)

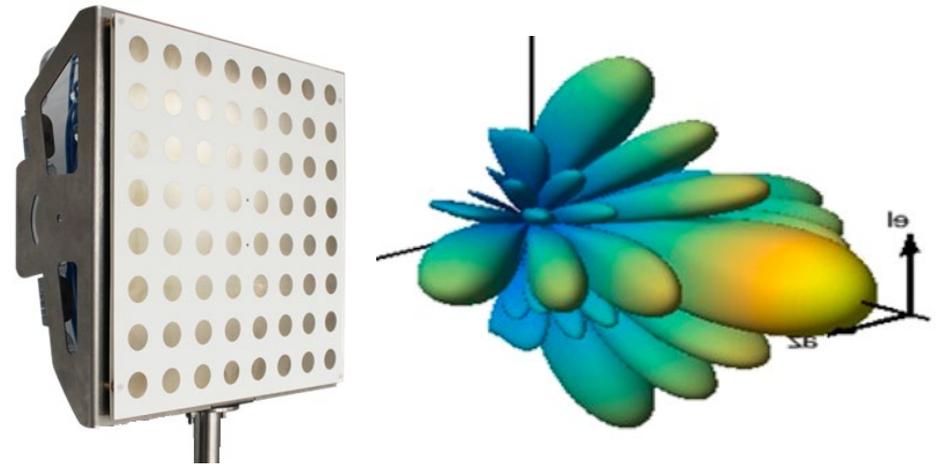
Аналогично LTE



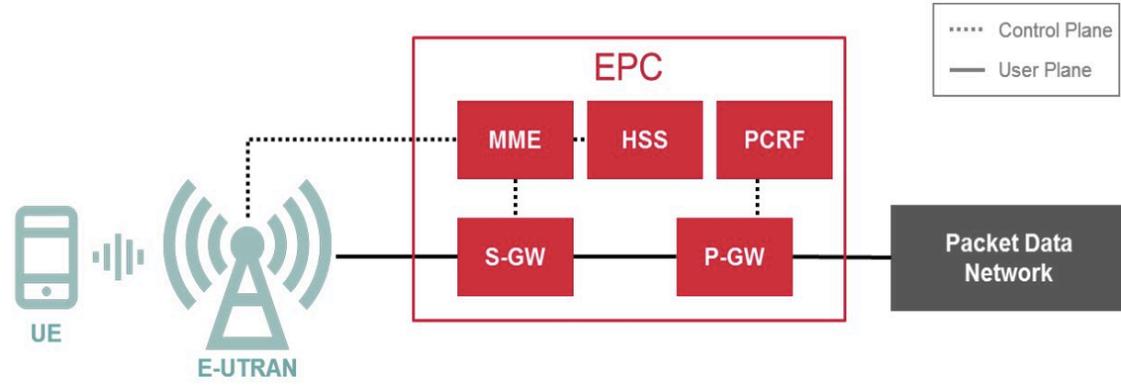
Новая широкая полоса для каналов до 100 МГц



Более эффективная реализация сложных антенн



Готовность операторов внедрять сети на архитектуре Non-Standalone (NSA)



Доработка функционала eMBB и включение элементов URLLC и mMTC в 3GPP rel.16

Unlicensed spectrum



Shared spectrum, LAA¹, standalone operation

For improved capacity and new use cases

Advanced power saving & mobility



WUS², faster CA³, full-power UL⁴, dual connectivity

For better device performance and coverage

High-precision positioning



OTDOA⁵, PRS⁶, device-based positioning, multi-cell RTT⁷

For more accurate indoor and outdoor positioning

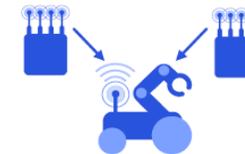
Sidelink



Basis for cellular V2X⁸, public safety

For advanced automotive use cases

Mission-critical design



Multi-TRP⁹, CoMP¹⁰, service multiplexing & preemption

For meeting ultra-high reliability of up to 99.9999%

New deployment models



Non-public network, TSN¹¹, IAB¹², in-band eMTC/NB-IoT¹³

For new deployments such as IIoT and enterprise

1 Licensed assisted access;

2 Wakeup signal;

3 Carrier aggregation;

4 Uplink;

5 Observed time difference of arrival;

6 Positioning reference signal;

7 Roundtrip time;

8 Vehicle to everything;

9 Multiple transmission or reception point;

10 Coordinated multipoint;

11 Time sensitive networking;

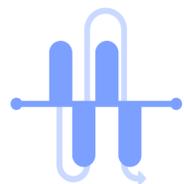
12 Integrated access and backhaul;

13 Enhanced machine-type communication and narrowband IoT.

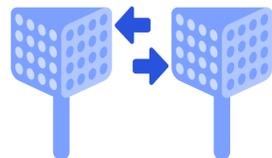
Источник: Qualcomm

Дальнейшее развитие стандарта в 3GPP rel.17

**Новые и
улучшенные
возможности 5G
(во многом
применимы для
NSA)**



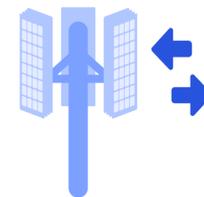
Spectrum expansion
(60 GHz)



Enhanced IAB
and
RF repeater



Further enhanced
URLLC, private
networks, others...



Further enhanced
massive MIMO

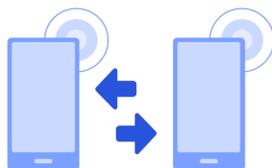


Coverage
enhancements



Device power
savings

**Новые
устройства и
новые
применения 5G
(смещение
фокуса на SA)**



Sidelink
expansion



Broadcast/
multicast
expansion



NR-Light
(RedCap),
enhanced mMTC



Non-
terrestrial
networks
(NTN)



Enhanced
precise
positioning



Boundless XR study,
others...

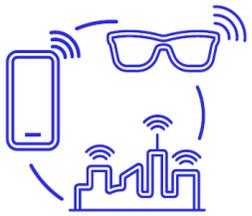
Источник: Qualcomm

Переход к 5G-Advanced (3GPP rel.18)

Три основных вектора развития стандартов

Mobile broadband evolution and further vertical expansion

Deliver enhanced mobile broadband experiences and extend 5G's reach into new use cases



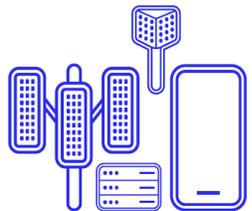
Immediate commercial needs and longer-term 5G vision

Drive new value in commercialization efforts and fully realize 5G's potential with future deployments

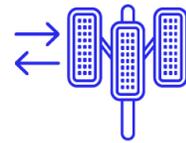


New and enhanced devices and network evolution

Focus on the end-to-end technology evolution of the 5G system to bring new levels of performance



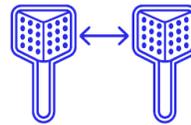
Направления развития основного функционала



Advanced DL/UL MIMO



Enhanced mobility



Mobile IAB, network-controlled repeater



Evolved duplexing



AI/ML data-driven designs



Green networks and devices

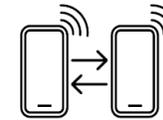
Дальнейшая экспансия на новые устройства и в новые сферы



Boundless extended reality



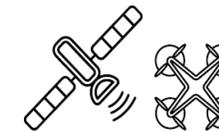
RedCap evolution



Expanded sidelink



Expanded positioning



Drones & expanded satellites comm.



Multicast & other enhancements

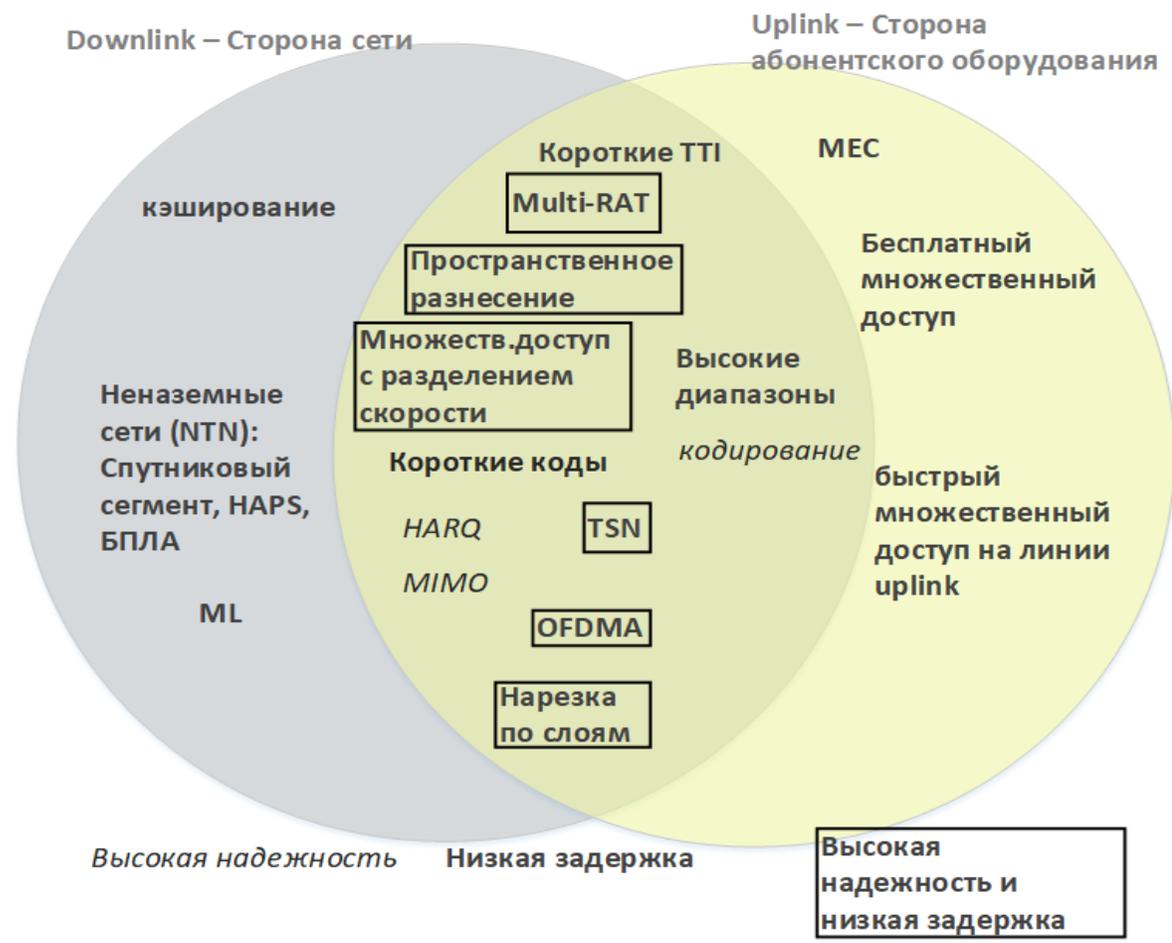
Источник: Qualcomm

Значительные усилия на стандартизацию функционала для промышленных применений

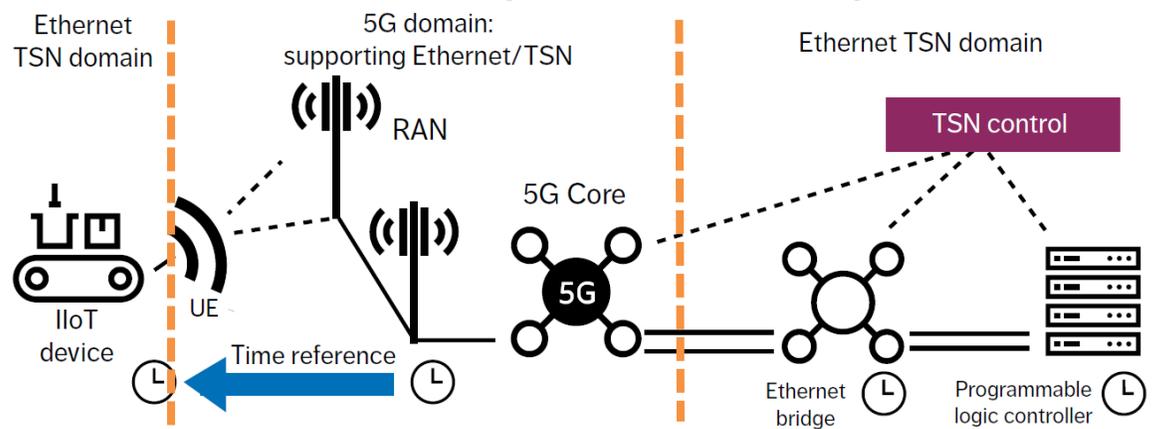
Примеры требований промышленных процессов

Сценарий	Задержка на всех стадиях	Джиттер	Время жизни пакета	Доступность услуги связи	Надежность
Автоматизация производства – контроль движения	1 мс	1 мкс	0 мс	99.9999%	99.9999%
Автоматизация дискретного производства	10 мс	100 мкс	0 мс	99.99%	99.99%
Автоматизация процессов – дистанционное управление	50 мс	20 мс	100 мс	99.9999%	99.9999%
Автоматизация процессов – мониторинг	50 мс	20 мс	100 мс	99.9%	99.9%

Направленность доработок на повышение надежности и снижение задержки



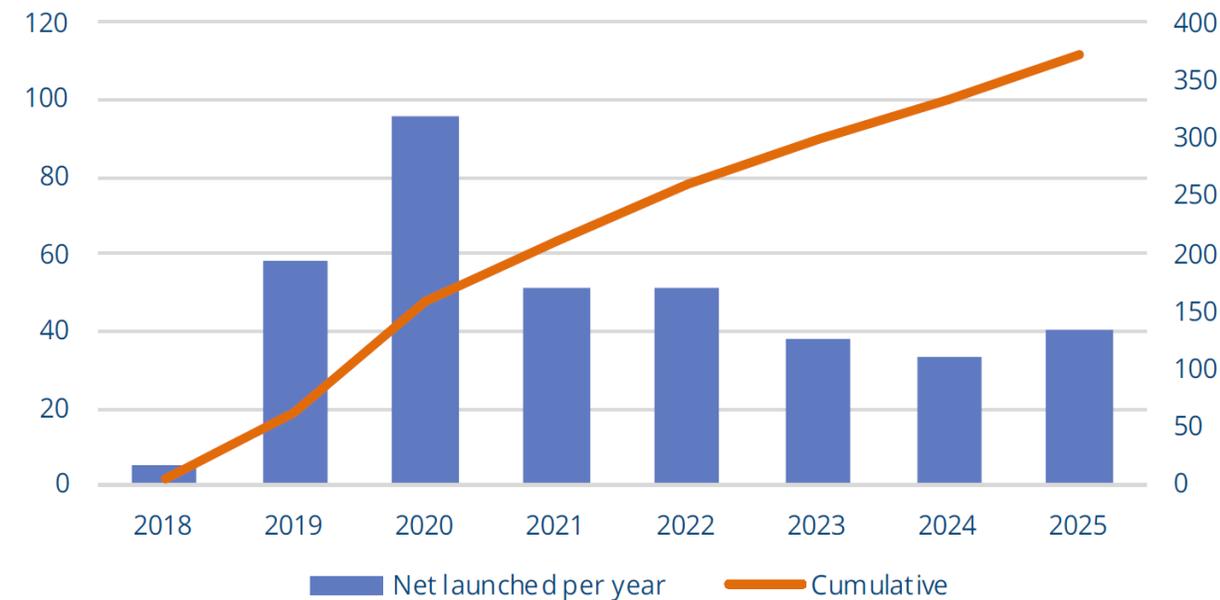
Сети с жесткой синхронизацией по времени (TSN)



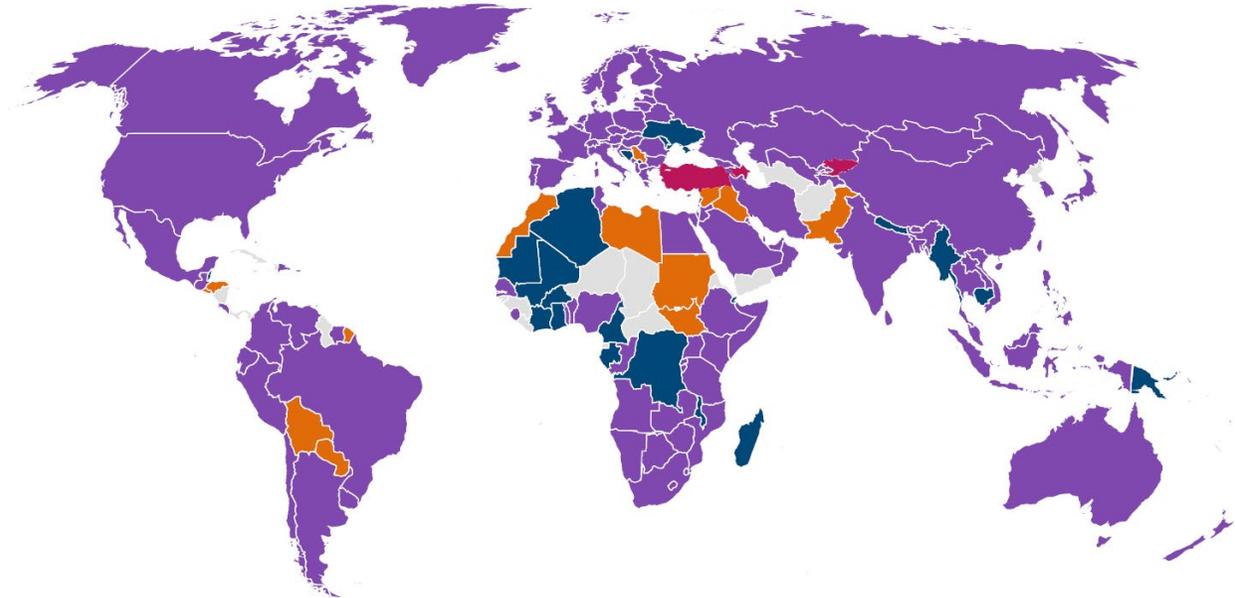
Содержание доклада

- Текущее развитие стандартов и технологий
- Статус внедрения сетей 5G
- Будущее развитие и перспективы

Количество запущенных сетей 5G



География запусков сетей 5G



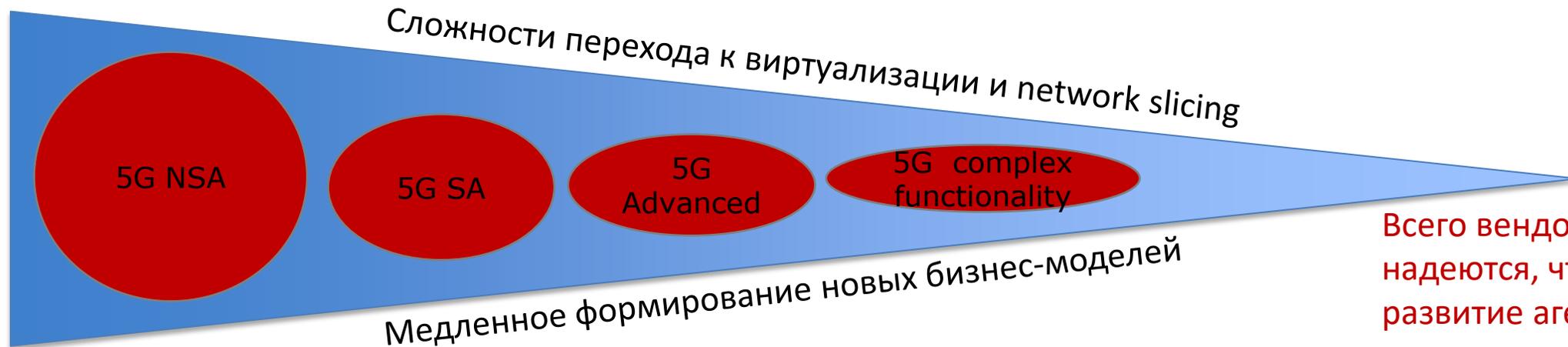
- Planning/evaluating/testing/trialling
- Deploying/deployed, precommercial
- Launched
- Soft-launched

Источник: GSA, Декабрь 2025

Непрерывный темп развития стандартов

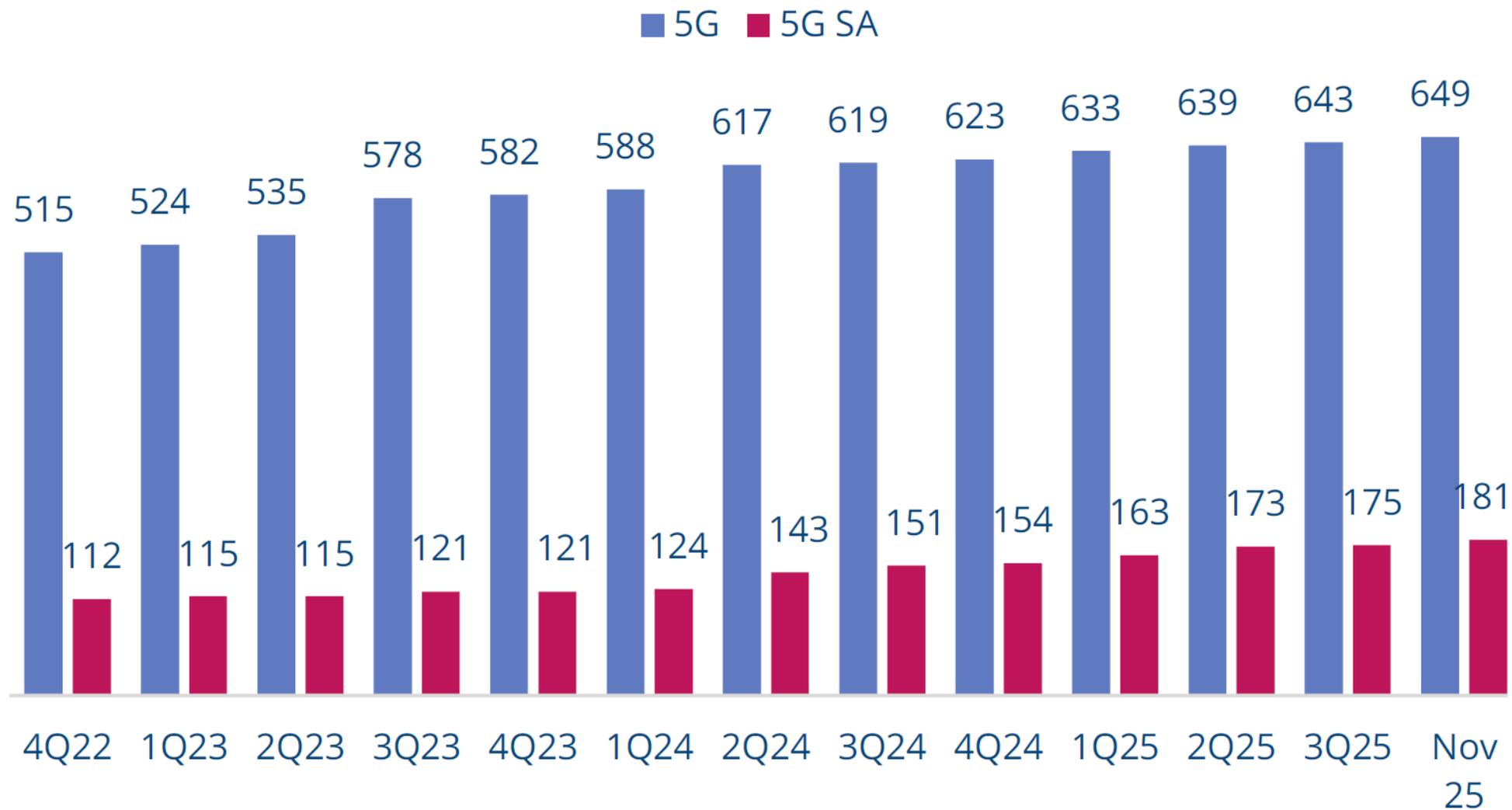


Замедляющийся темп внедрения



Всего вендоры надеются, что ставка на развитие агентского ИИ ускорит внедрение.

Текущий уровень внедрения сетей 5G с поддержкой SA

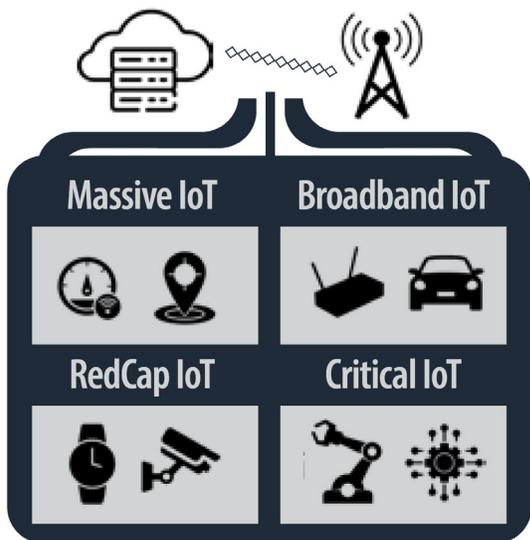


Обще число:
коммерческие
и планируемые
к запуску

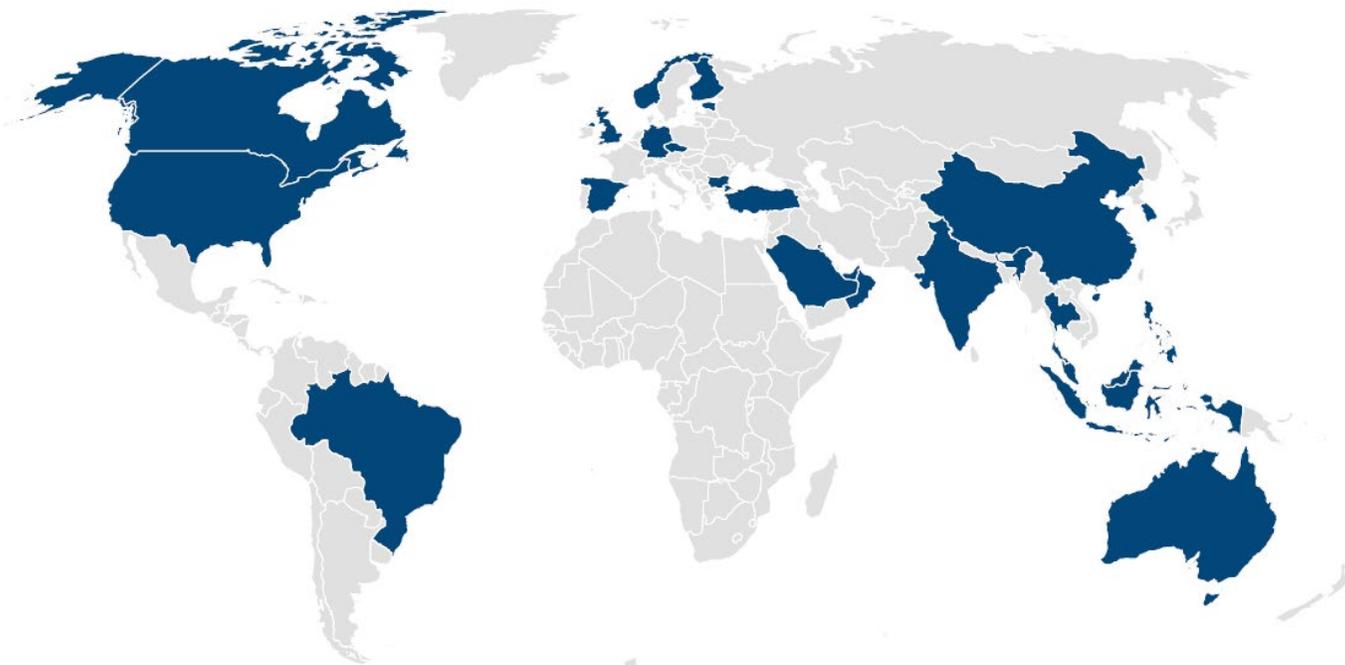
Источник: GSA, Ноябрь 2025

Технические особенности 5G RedCap

	LTE Cat-1bis	LTE Cat-4	RedCap
BANDWIDTH	20 MHz	20 MHz	20 MHz (sub-7 GHz)
DATA RATE (peak; dl/ul)	10/5 Mbps	150/50 Mbps	150/50+ Mbps
DUPLEXING	FD-FDD, TDD	FD-FDD, TDD	HD-FDD, FD-FDD, TDD
TX/RX CHAIN	1 Tx, 1 Rx	1 Tx, 1 Rx	1 or 2 Tx, 1 or 2 Rx
MIMO LAYERS (dl/ul)	1/1	2/1	1 or 2/1
COUPLING LOSS (max)	140 dB	140 dB	140 dB



География инвестиций 5G RedCap



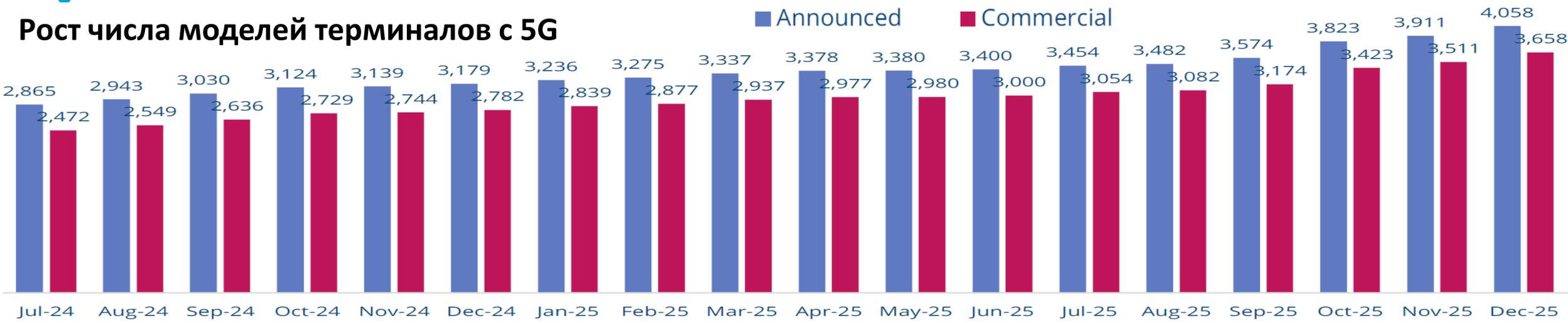
GSA identified 34 operators in 24 countries that are currently investing in RedCap technology. The majority of current investments are in the form of tests and trials, with 23 operators in 20 countries evaluating, testing or trialling 5G RedCap technology.

Всего 4 страны в коммерческой эксплуатации.

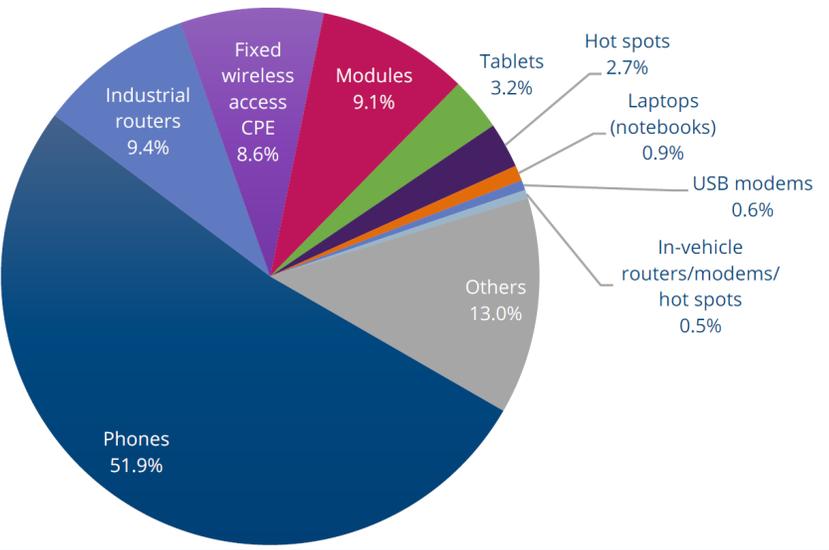
Источник: GSA, Сентябрь 2025

Ситуация с распространённостью терминалов 5G

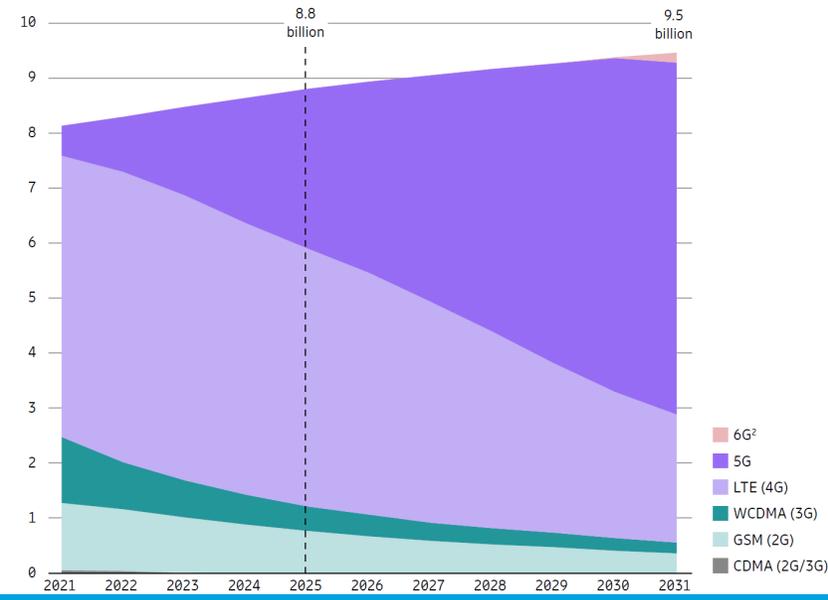
Рост числа моделей терминалов с 5G



Форм-фактор моделей терминалов с 5G



Глобальное распределение абонентов по технологиям



**Низкое
проникновение
смартфонов 5G** = **Медленный
возврат
инвестиций**

Специально разработанные дешевые модели смартфонов 5G ускоряют внедрение в развивающихся странах (пример Индии)

BUSINESS 6th May 2025

New Delhi, May 6 (IANS): Led by affordable devices, 5G smartphone shipments accounted for 86 per cent of the overall Indian market in the January-March quarter, marking a 14 per cent annual increase, according to a new report.

93 – 152 USD

Notably, 5G smartphones priced between Rs 8,000 and Rs 13,000 recorded over 100 per cent YoY growth, reflecting surging demand for affordable 5G access, said the report by CyberMedia Research (CMR).

Feb 09 2026

Affordable 5G fuels India smartphone market despite 1% dip in 2025: Report

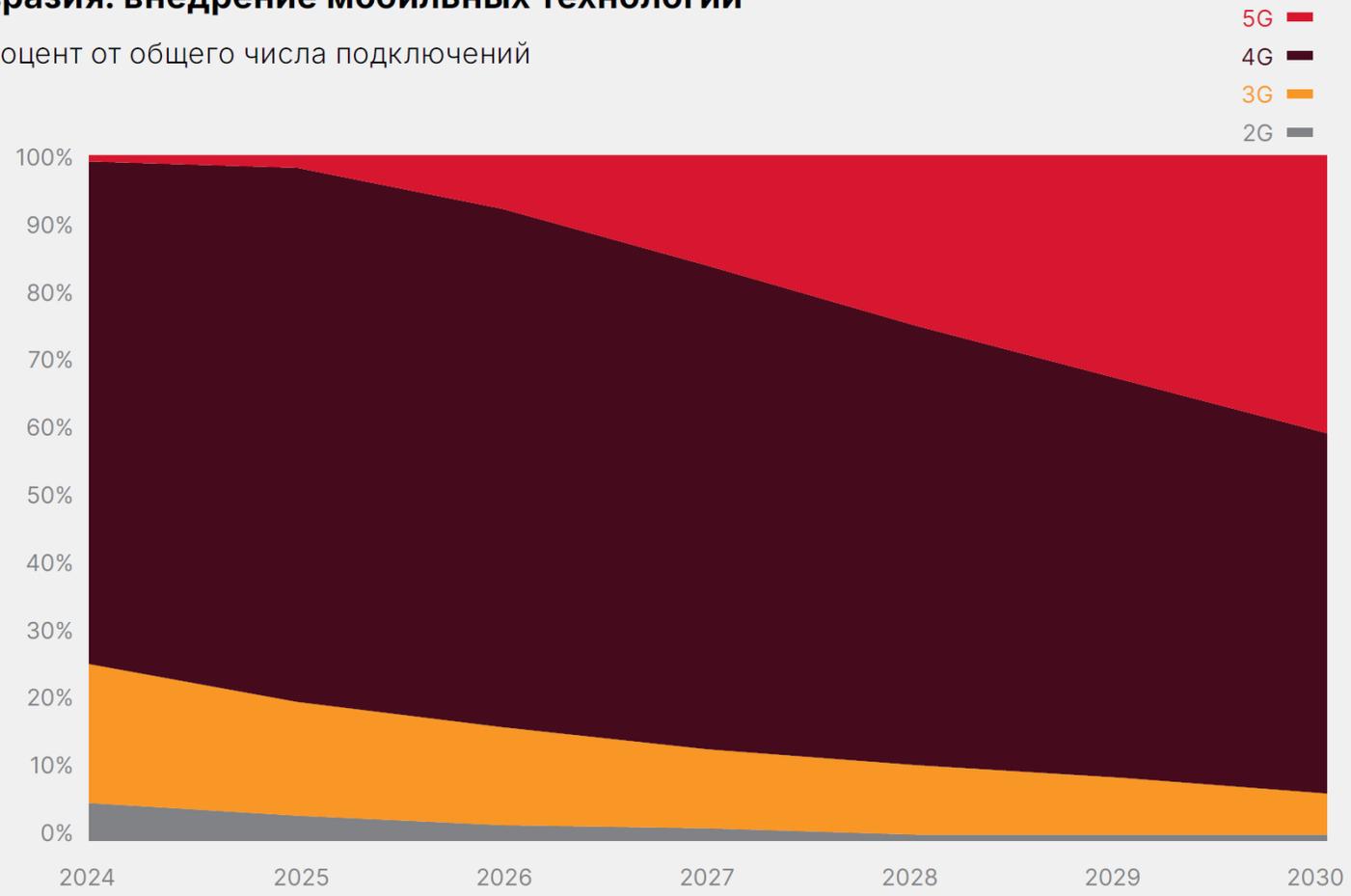
- India's smartphone market declined 1% year-on-year in 2025, marking a year of recalibration rather than contraction
- Budget 5G smartphones in ₹6,000-8,000 price bracket surged over 1,900% compared to 2024, with 88% share of total 5G shipments

65 – 87 USD

Внедрение сетей 5G в Евразии

Евразия: внедрение мобильных технологий

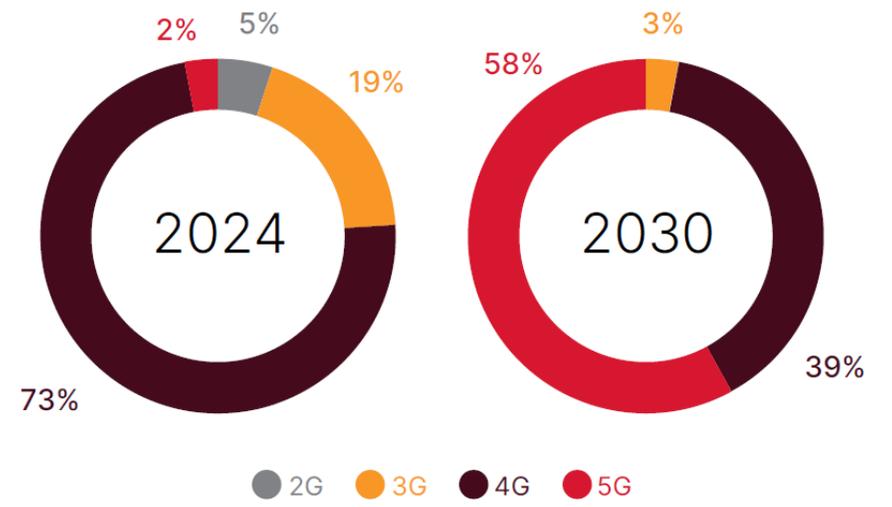
Процент от общего числа подключений



Источник: GSMA, Май 2025

Беларусь

Сочетание технологий*



Проникновение абонентов



Проникновение смартфонов



Содержание доклада

- Текущее развитие стандартов и технологий
- Статус внедрения сетей 5G
- Будущее развитие и перспективы

Смещение фокуса на 6G и определение пути эволюции 5G-Advanced



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



Направления развития сетей 5G в рамках 3GPP rel.19

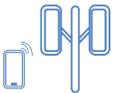
Продолжение развития в рамках текущих нужд операторов



Mobile broadband evolution and further vertical expansion
Continue to enhance mobile experiences and extend 5G's reach into new areas



Immediate and longer-term commercial needs
Drive new value in commercialization efforts and efficiently enable advanced deployments

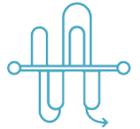


New and enhanced devices and network evolution
Focus on the end-to-end 5G technology evolution to bring new levels of performance

Новые исследования в рамках подготовки к 6G



Revolutionary system innovations
Conduct advanced research to prepare for formal 6G Study Items in Release 20



New spectrum bands and enabling technologies
Study feasibility of new band ranges and types (e.g., upper mid-band in 7-24 GHz)

ВКР-27

Ключевые технологии и вопросы в рамках 3GPP rel.19



MIMO



Ambient IoT



Duplexing evolution



Wireless AI/ML



Mobility



Satellites evolution



Higher mid-band spectrum (i.e., 7–16 GHz)



Network energy savings



Topology



XR and metaverse



Integrated sensing and communication



Low-power wakeup receiver



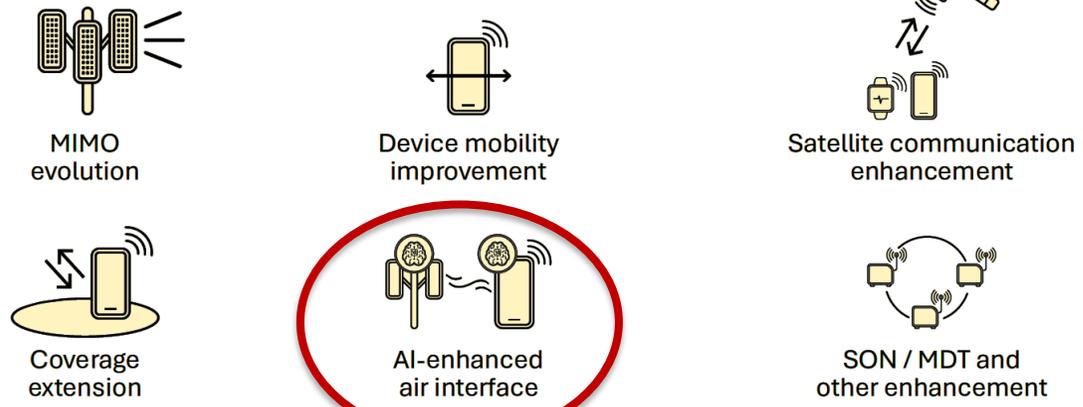
SON/MDT

Направления развития сетей 5G в рамках 3GPP rel.20

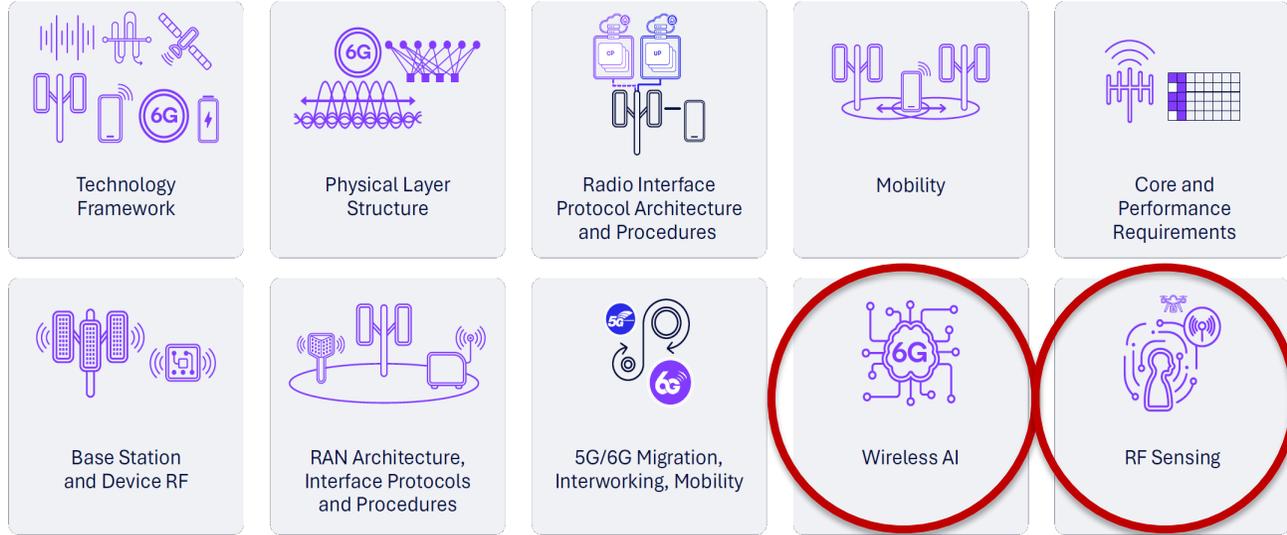
5G-Advanced

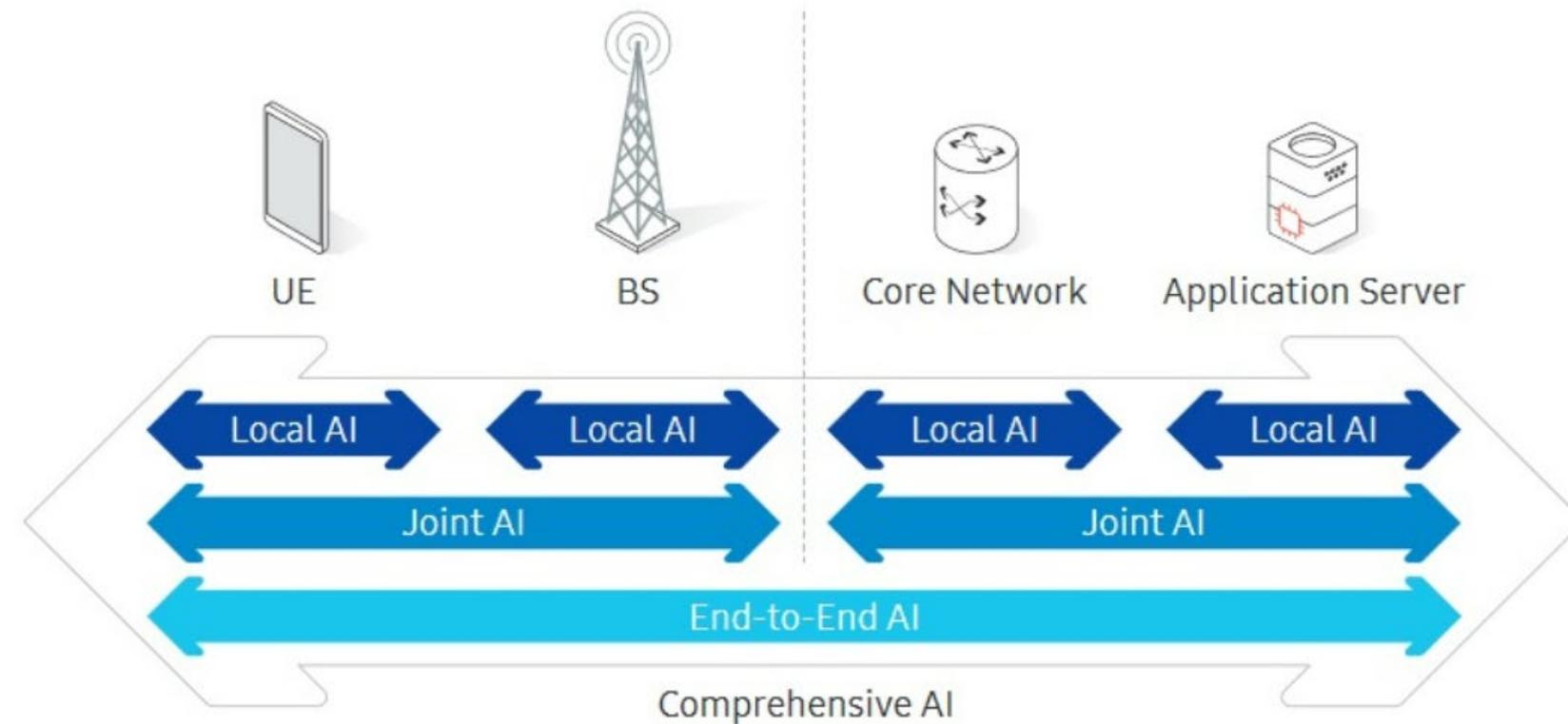
6G study

Further evolving 5G system foundation



Exploring new devices and use cases



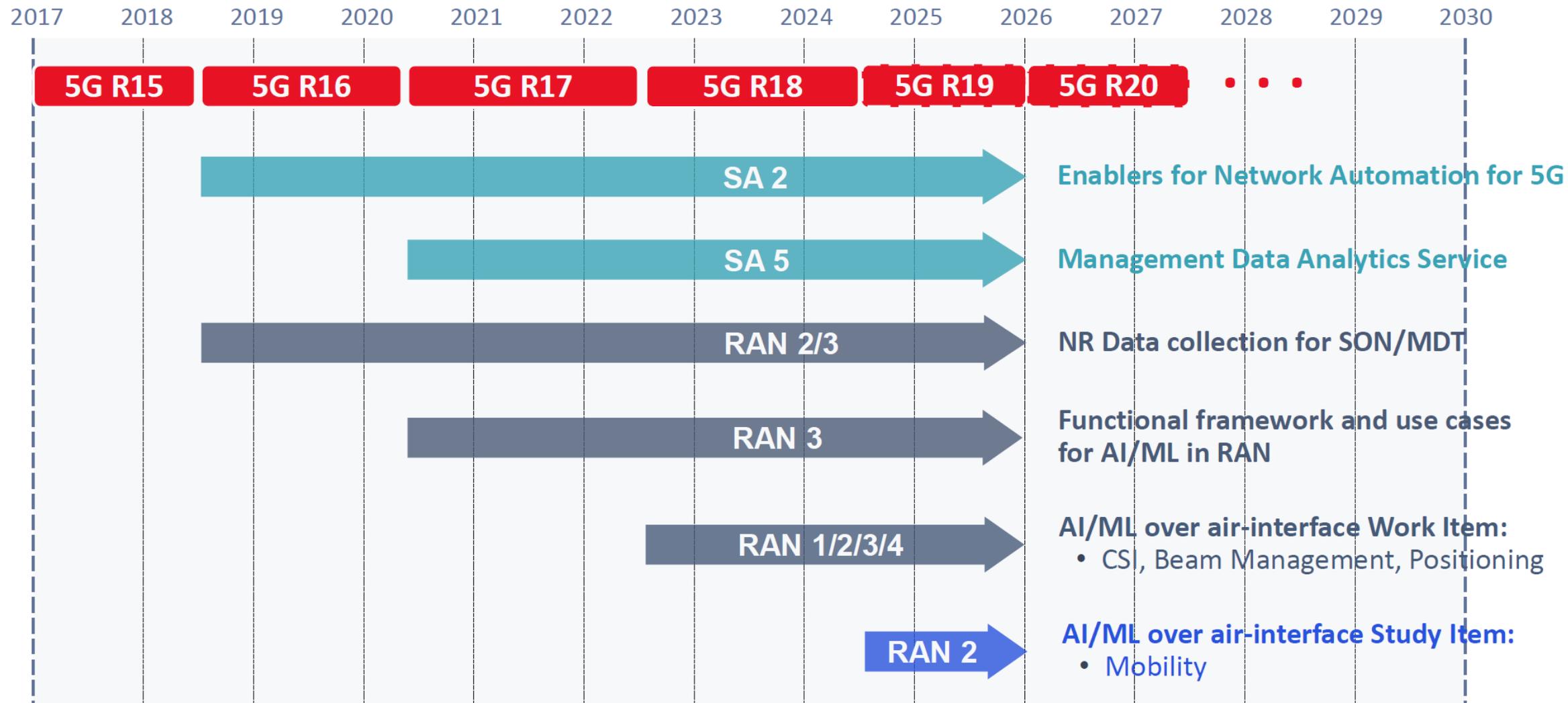


Credits: Samsung

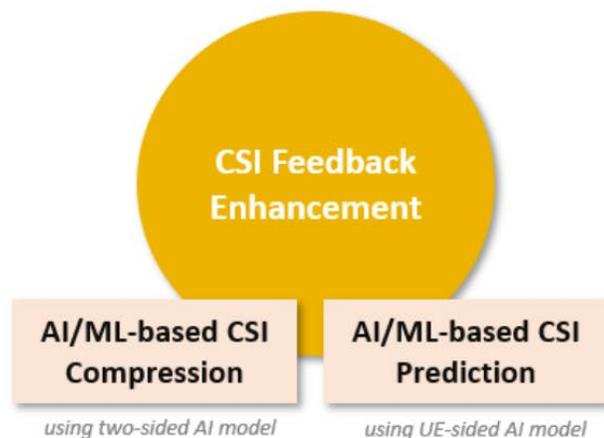
Существующие теоретические методы на основе математической статистики плохо применимы, имеют плохую сходимость или слишком сложно параметризуются в сложных многофакторных задачах.

Алгоритмы ML/DL при продуманном применении позволяют обойти вышеперечисленные проблемы. Таким образом, становится возможным найти решения старых и новых задач более эффективными способами и выйти за пределы устоявшейся теории.

Работы по внедрению элементов AI в рамках действующих стандартов



Rel.18 study



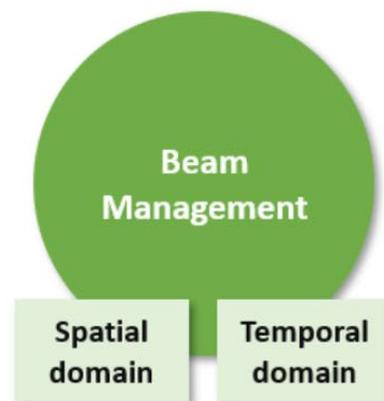
Goal of Using AI/ML Techniques

1. Reduce CSI feedback overhead
2. Improve CSI feedback accuracy



Rel.19 further study

Further study 2-sided CSI compression, 1-sided CSI prediction, model transfer/deliver, ...

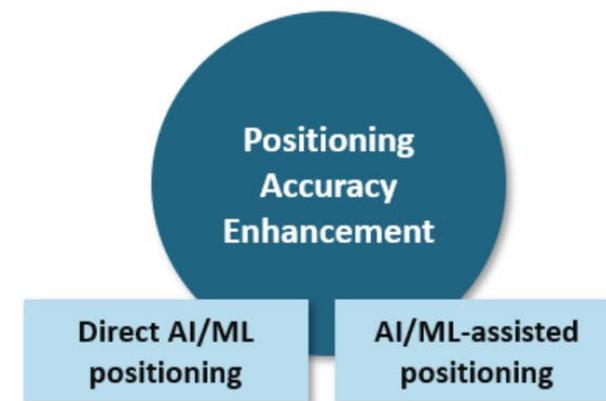


Goal of Using AI/ML Techniques

1. Reduce overhead
2. Minimize latency
3. Improve the accuracy of beam selection



Support device/network-sided beam prediction model in time/spatial domain



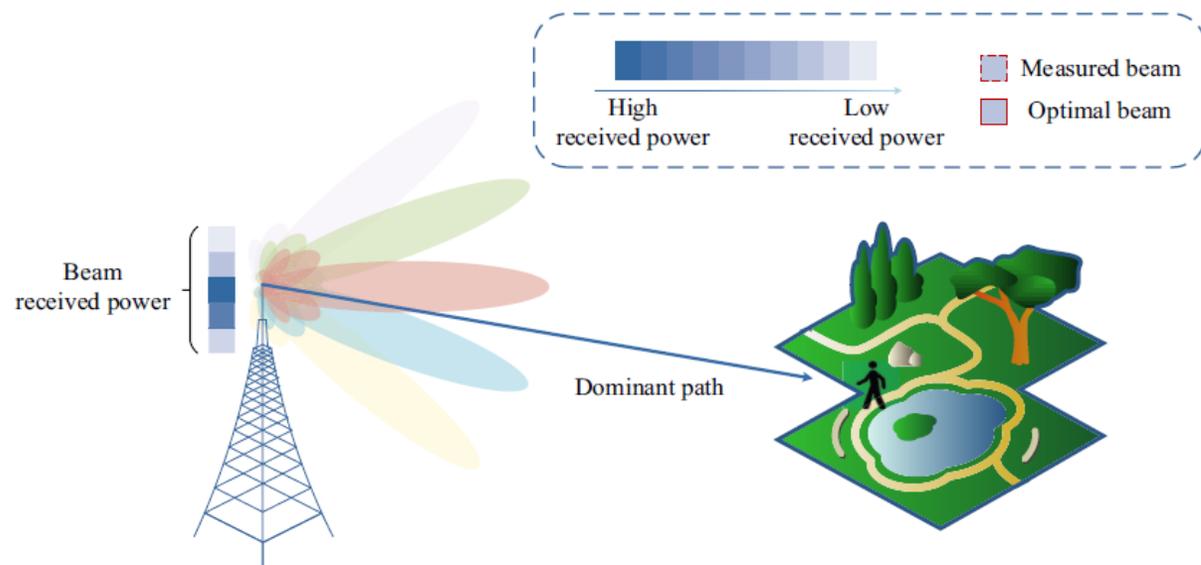
Goal of Using AI/ML Techniques

1. Improve positioning accuracy

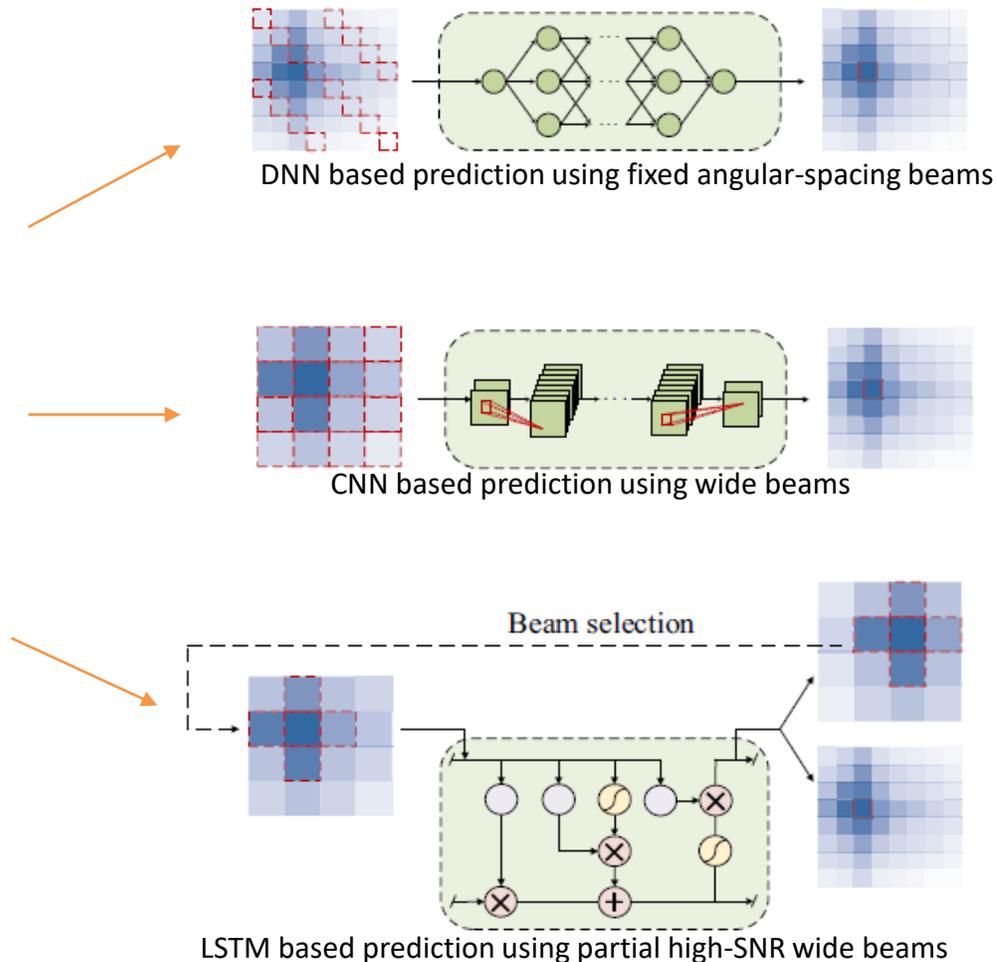


Support single-sided model for both AI-direct and AI-assisted positioning

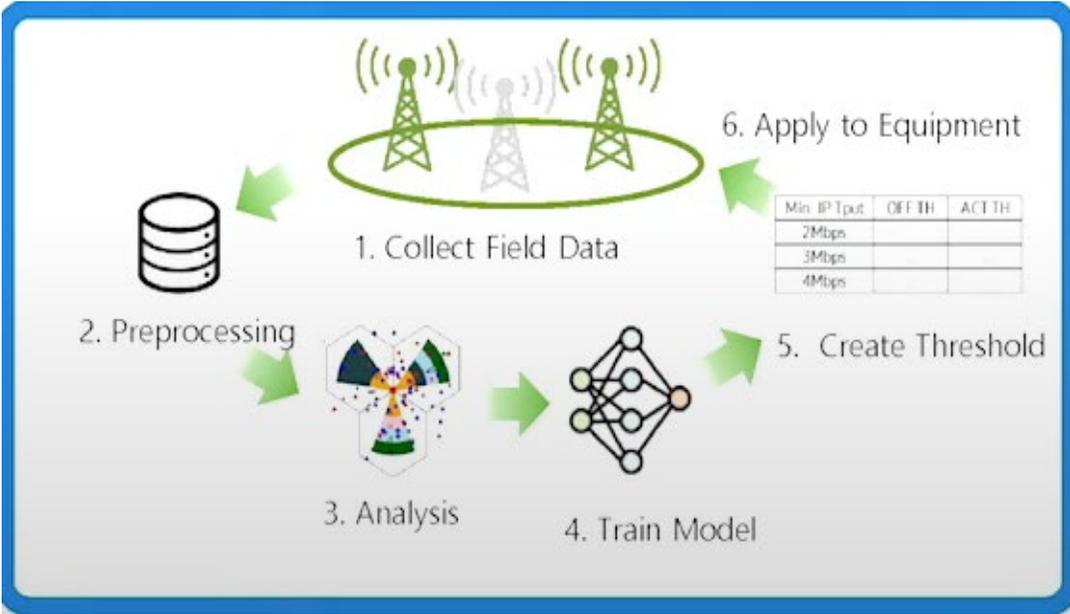
Проблема большего числа измерений на разных узких лучах и выбор оптимального для связи



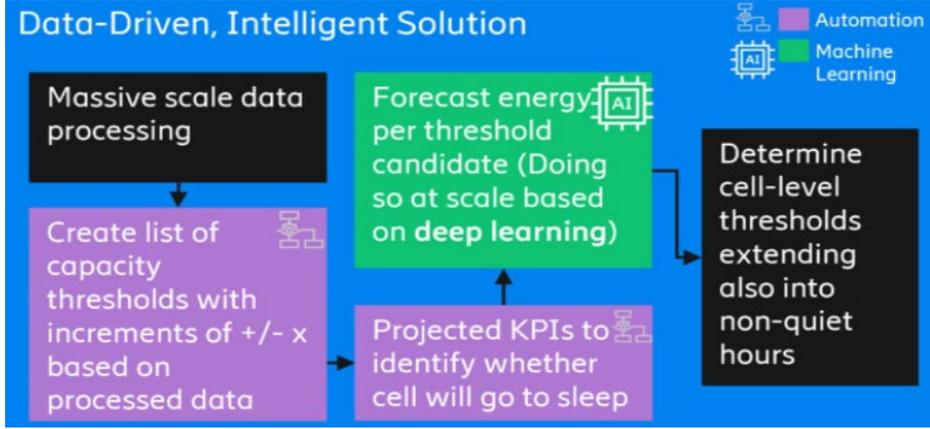
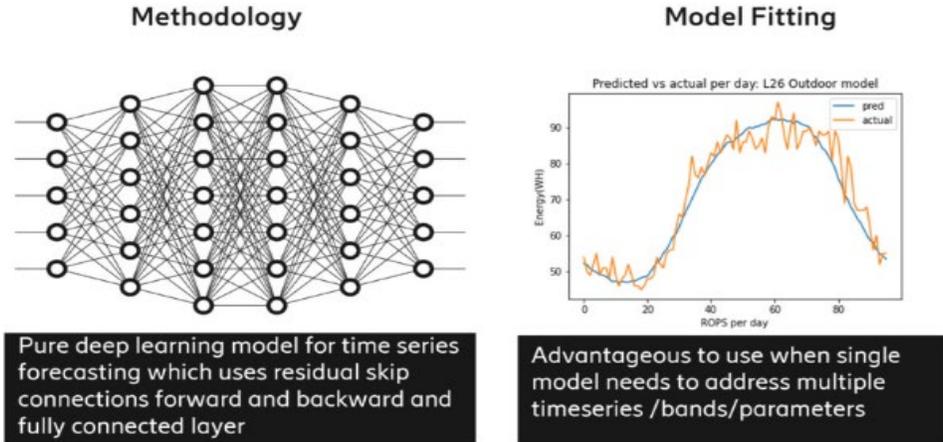
Примеры рассматриваемых подходов



Существующие проприетарные решения AI/ML по экономии электроэнергии

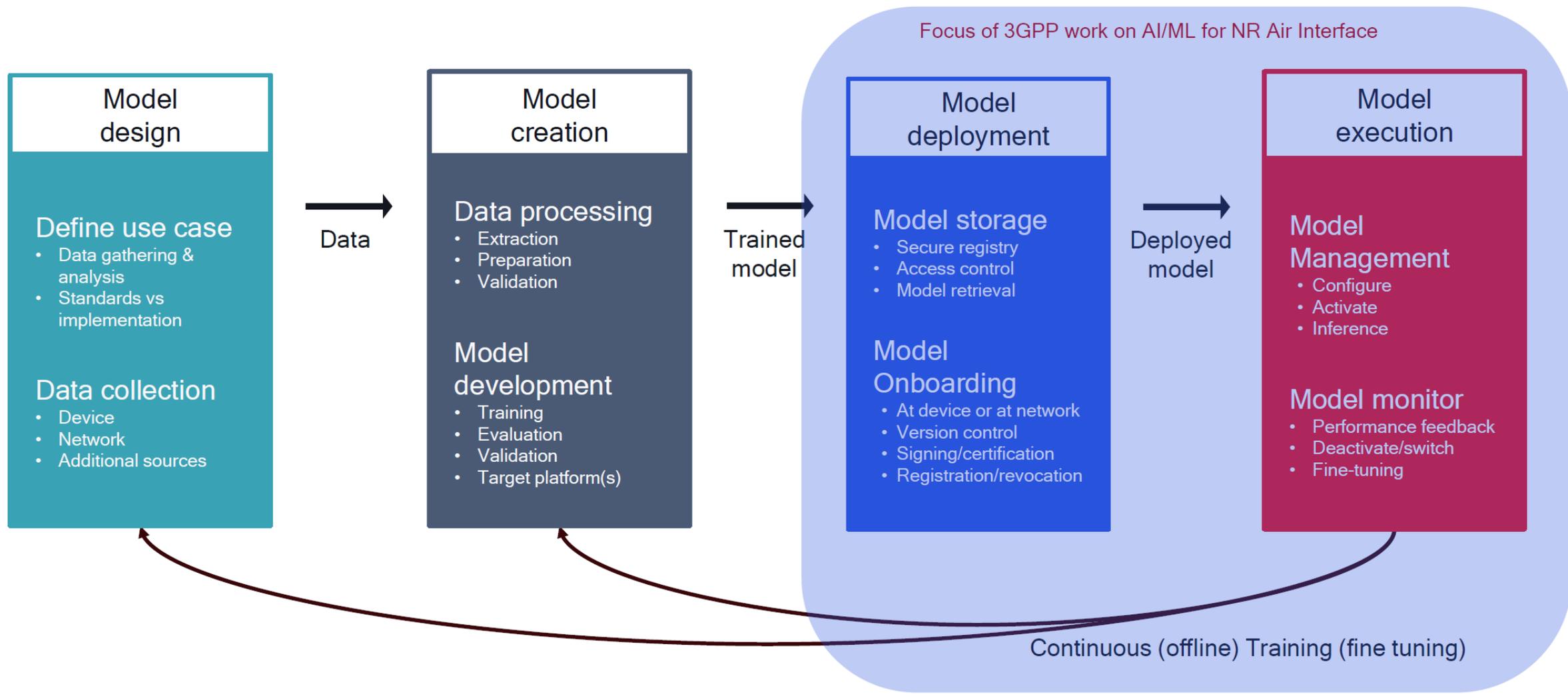


Источник: Samsung



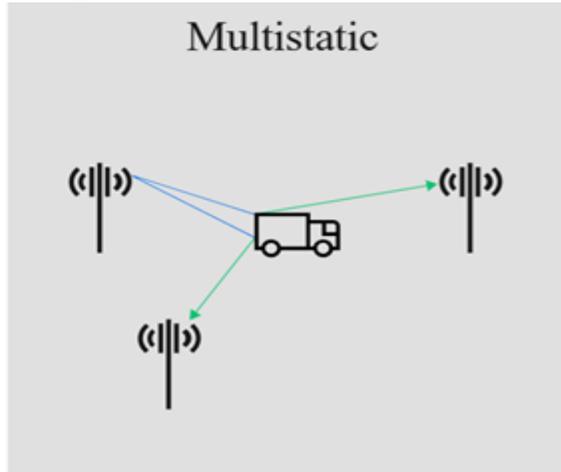
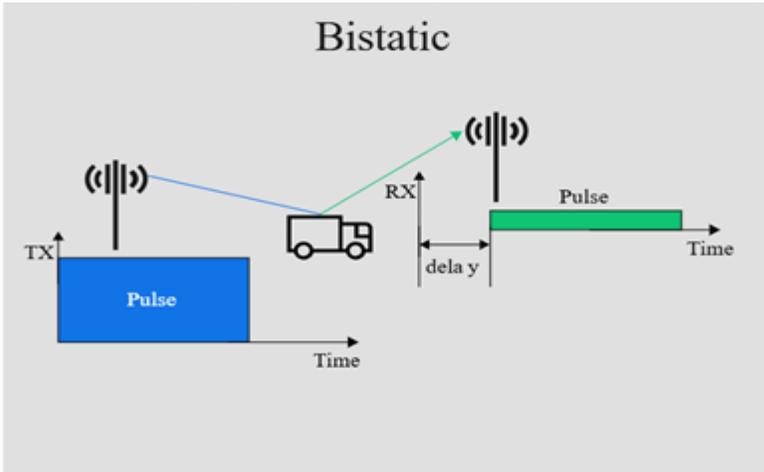
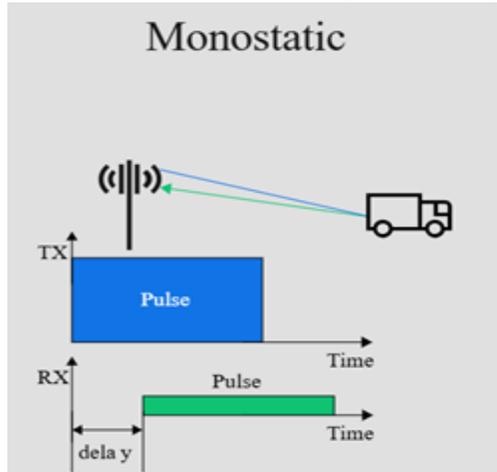
Источник: Ericsson

Роль стандартизации 3GPP в разработке моделей AI/ML для радионтерфейса

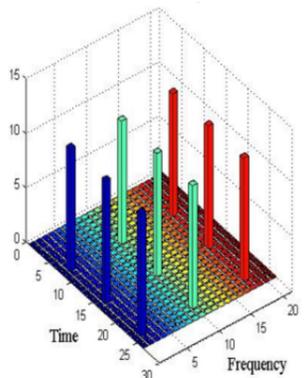
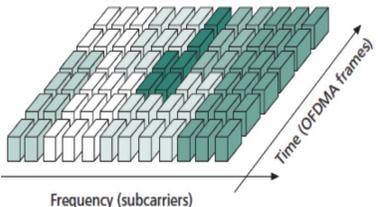


Integrated Sensing and Communication (ISAC)

Режимы радиолокации внутри стандартов 3GPP (на примере сигналов БС)



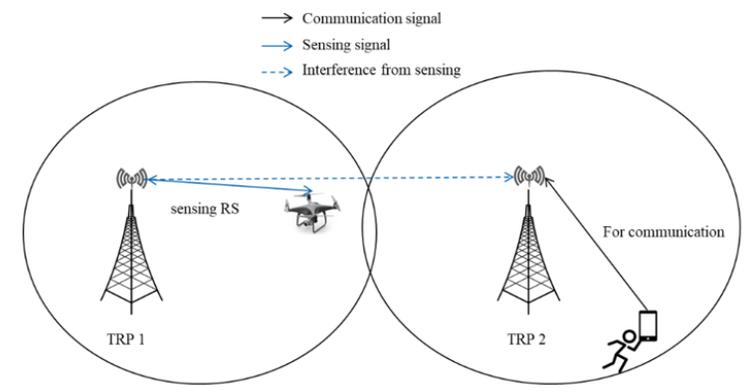
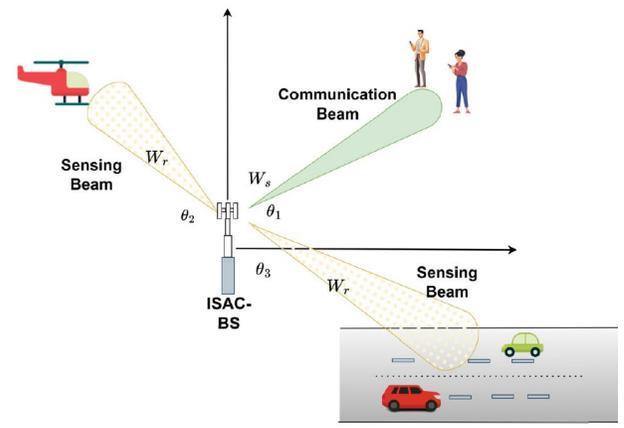
Выбор сигнала для радиолокации



Сложный OFDMA

OTFS

Управление лучами для сенсинга и для связи, решение проблем помех



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ