Приём несущих частот спутника Al Yah 1 (52,5° в. д.) вне зоны покрытия (Out Of Footprint)

Исследование конкретного случая в Лученце (Словацкая Республика) с центральным рефлектором Prodelin D = 450 см: шесть несущих из диаграммы EAST и одна из диаграммы MENA в Ku-диапазоне

Автор измерений и методики: Роман Да́вид (Roman Dávid), www.dxsatcs.com
Место приёма: Лученец, Словацкая Республика (48,3331° с. ш., 19,6664° в. д.)
Дата составления: 9 ноября 2026 г.
Отрасли знаний: волновая физика, высокочастотная техника, математика, спутниковый приём
Источник данных: сигнальные мониторинги автора (7 несущих, всего 510 ч); AZ/EL по dishpointer.com; диаграммы направленности SES/Yahsat
Обработка: текст, расчёты и графики подготовлены языковой моделью Claude (Anthropic) на основе данных и утверждений автора; все измеренные значения получены автором.

Аннотация. В исследовании анализируется непрерывный приём семи несущих частот спутника Al Yah 1 (Yahsat 1A, 52,5° в. д.) в Лученце, то есть в области, далеко выходящей за пределы зоны покрытия (Out Of Footprint) диаграмм EAST и MENA. Приём контролировался рефлектором Prodelin диаметром 450 см; каждая несущая отслеживалась не менее 72 часов, всего 510 часов, что при частоте дискретизации 1 Гц соответствует 1 836 000 точкам измерения. Параметр качества Q ни разу не опустился до нуля, то есть не произошло ни одного срыва захвата (lock), в том числе при периодических кратковременных дождях умеренной интенсивности. Расчёт наведения (AZ 139,2° / EL 26,2°), трассы сигнала (38 962 км, потери в свободном пространстве 205,8 дБ), порогов модуляций и ослабления в дожде показывает, что наблюдаемое состояние физически согласуется с ориентировочным бюджетом линии связи. Сравнение с записями 2022 года после пересчёта в общую величину Es/N_0 указывает на снижение уровня сигнала порядка 3–6 дБ (обычно около 4 дБ); причину можно установить лишь дополнительными контрольными измерениями. В исследовании приведены также границы интерпретации, которые необходимо соблюдать при публикации.

Ключевые слова: Al Yah 1, Yahsat 1A, 52,5° в. д., Ku-диапазон, вне зоны покрытия (Out Of Footprint), EAST, MENA, DVB-S, DVB-S2, Es/N_0, запас по сигналу, ослабление в дожде, Лученец, Центральная Европа.

1. Введение и цель исследования

Спутниковый приём вне зоны покрытия (Out Of Footprint) – это область, в которой диаграмма направленности спутника уже не рассчитана на покрытие, и поэтому принимаемый сигнал приходит из краевых частей главного лепестка или с его крутого спада в направлении от ядра зоны покрытия. Значение эквивалентной изотропно излучаемой мощности (ЭИИМ, EIRP) там относительно вершины диаграммы снижается на десятки дБ, и приём возможен лишь благодаря большой эффективной площади антенны, низкой шумовой температуре приёмного тракта и стабильности всей трассы. Спутник Al Yah 1 (Yahsat 1A) вещает с позиции 52,5° в. д. в Ku-диапазоне несколькими лучами. Для данного исследования важны луч EAST, предназначенный для области от Персидского залива до Центральной Азии, и луч MENA, покрывающий Северную Африку и Ближний Восток.

Цель исследования – подробно разобрать результаты долговременных сигнальных мониторингов, проведённых автором в Лученце, и поместить их в физический и математический контекст. Исследование посвящено трём вопросам:

(a) Какова геометрия приёма (азимут, угол места, расстояние, потери в свободном пространстве, ширина луча антенны) и что из неё следует для требований к точности настройки?
(b) Каковы достигнутые результаты (длительность, число точек измерения, отсутствие срыва захвата) и какой статистический и физический смысл они имеют?
(c) Чем нынешнее состояние отличается от записей 2022 года и какие объяснения допускает снижение сигнала?

Ключевое утверждение автора звучит так: с рефлектором 450 см в Центральной Европе можно длительно и без срыва захвата (lock) принимать семь несущих с Al Yah 1, включая одну несущую из луча MENA. Исследование подробно развивает это утверждение и показывает, в каких пределах оно подтверждено измеренными данными. Там, где данные будут дополнены позднее (например, таблицы осадков), это указано прямо.

2. Геометрия приёма: AZ/EL, расстояние и ширина луча антенны

2.1 Настройка антенны для Лученца

Данные о настройке антенны взяты с dishpointer.com (снимок экрана под текстом). Для точки 48,3331° с. ш. и 19,6664° в. д. и спутника на 52,5° в. д. верны следующие значения:

Величина	Значение (dishpointer.com)	Независимый расчёт
Азимут (истинный, на истинный север)	139,2°	139,18°
Азимут (магнитный)	133,1°	разность 6,1° = магнитное склонение
Угол места	26,2°	26,16°
Skew LNB	−25,8°	–
Длина наклонной трассы спутник – антенна	–	38 962 км
Время распространения сигнала (в одну сторону)	–	≈ 130 мс

Значения с dishpointer.com я проверил независимым расчётом по геометрии геостационарной орбиты (приложение A). Результат 139,18° и 26,16° совпадает со значениями 139,2° и 26,2° в пределах округления, поэтому в исследовании эти данные используются как определяющие.

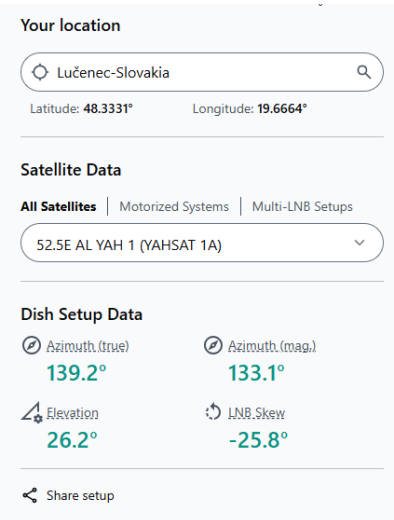


Рис. 1 – Настройка антенны для Лученца и Al Yah 1 (Yahsat 1A) на 52,5° в. д. по dishpointer.com: AZ 139,2° (истинный), 133,1° (магнитный), EL 26,2°, skew LNB −25,8°.

2.2 Значение малого угла места

Угол места 26,2° относится к умеренно малым. Сигнал проходит через тропосферу по наклонной трассе, которая примерно в 1 / sin(26,2°) ≈ 2,3 раза длиннее, чем при зенитном направлении. Для приёма в Ku-диапазоне из этого вытекают три следствия: более сильное газовое поглощение (кислород и водяной пар), более длинный путь через дождевой слой и большая амплитуда тропосферной сцинтилляции. С другой стороны, малый угол места повышает требование к прямой видимости в направлении 139° (препятствия, деревья, здания). Долговременная стабильность захвата (lock) на всех семи несущих при этом косвенно подтверждает, что трасса свободна.

2.3 Потери в свободном пространстве и задержка

При расстоянии d = 38 962 км и частоте f = 11,9 ГГц потери в свободном пространстве составляют

$$L_{fs} = 92{,}45 + 20\cdot\log_{10}(d\ [км]) + 20\cdot\log_{10}(f\ [ГГц]) \approx 205{,}8\ дБ.$$

Это доминирующие потери на трассе. Каждое удвоение расстояния добавляло бы 6 дБ, но для геостационарного спутника расстояние фиксировано; поэтому на практике можно менять лишь усиление антенны, шумовую температуру и, разумеется, ЭИИМ, на который, однако, влияет только оператор.

2.4 Усиление и ширина луча рефлектора 450 см

Длина волны на 11,9 ГГц составляет λ ≈ 2,52 см. Усиление параболического рефлектора диаметром D и с коэффициентом использования поверхности η равно

$$G = \eta\cdot(\pi\cdot D / \lambda)^2$$

При D = 4,5 м и η = 0,60–0,70 получается G ≈ 52,8–53,4 дБи (среднее значение 53,1 дБи при η = 0,65). Ширина луча по уровню спада на 3 дБ приблизительно равна

$$\theta_{3\ дБ} \approx 70\cdot\lambda / D \approx 0{,}39°.$$

У узкого луча есть две стороны. Хорошая сторона – отличное подавление сигналов от соседних спутников и наземных помех. Недостаток – жёсткое требование к точности настройки: отклонение от максимума на Δθ вызывает снижение усиления приблизительно на

$$\Delta G \approx 12\cdot(\Delta\theta / \theta_{3\ дБ})^2\ [дБ].$$

При Δθ = 0,05° это ≈ 0,2 дБ, при Δθ = 0,10° ≈ 0,8 дБ, при Δθ = 0,20° ≈ 3,2 дБ. Если запас по сигналу составляет 1–2 дБ, то критична каждая десятая доля градуса; ветер, тепловое расширение конструкции и небольшие смещения крепления могут полностью израсходовать запас. Поэтому наблюдаемая стабильность свидетельствует и о механически очень прочном креплении.

Для сравнения: рефлектор диаметром 300 см имеет усиление на $20\cdot\log_{10}(450/300)$ = 3,52 дБ ниже и луч шириной около 0,59°. Эта разница используется в разделе 8.

3. Диаграммы направленности EAST и MENA и положение Лученца

На рисунках 2 и 3 показаны официальные диаграммы ЭИИМ в Ku-диапазоне для лучей EAST и MENA спутника Yahsat 1A. Полностью закрашенные области обозначают области с более высокой ЭИИМ, изолинии даны в дБВт. У луча EAST отмечены изолинии 51, 50 и 48 дБВт, у луча MENA – 50, 48, 46 и 44 дБВт.

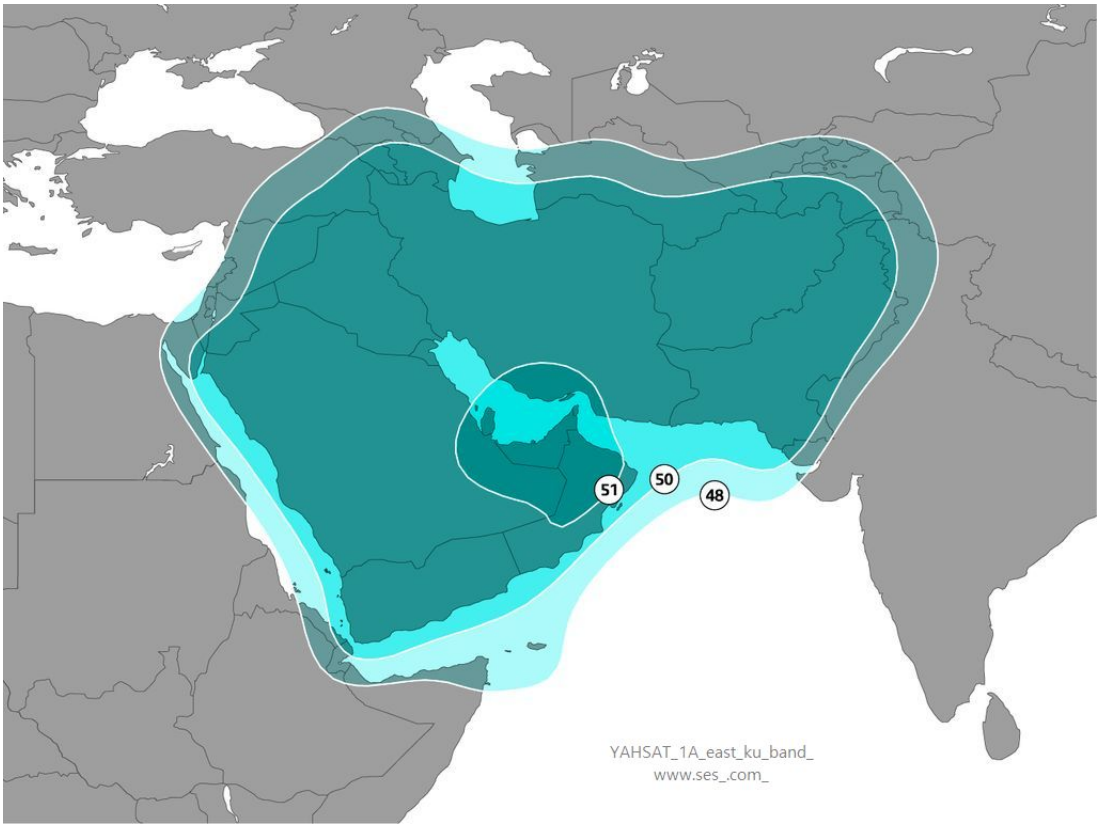


Рис. 2 – Диаграмма направленности EAST (Ku-диапазон) спутника Yahsat 1A; изолинии ЭИИМ 51/50/48 дБВт. Источник: SES (www.ses.com). Лученец лежит к северо-западу от показанного фрагмента, за пределами всех показанных изолиний.

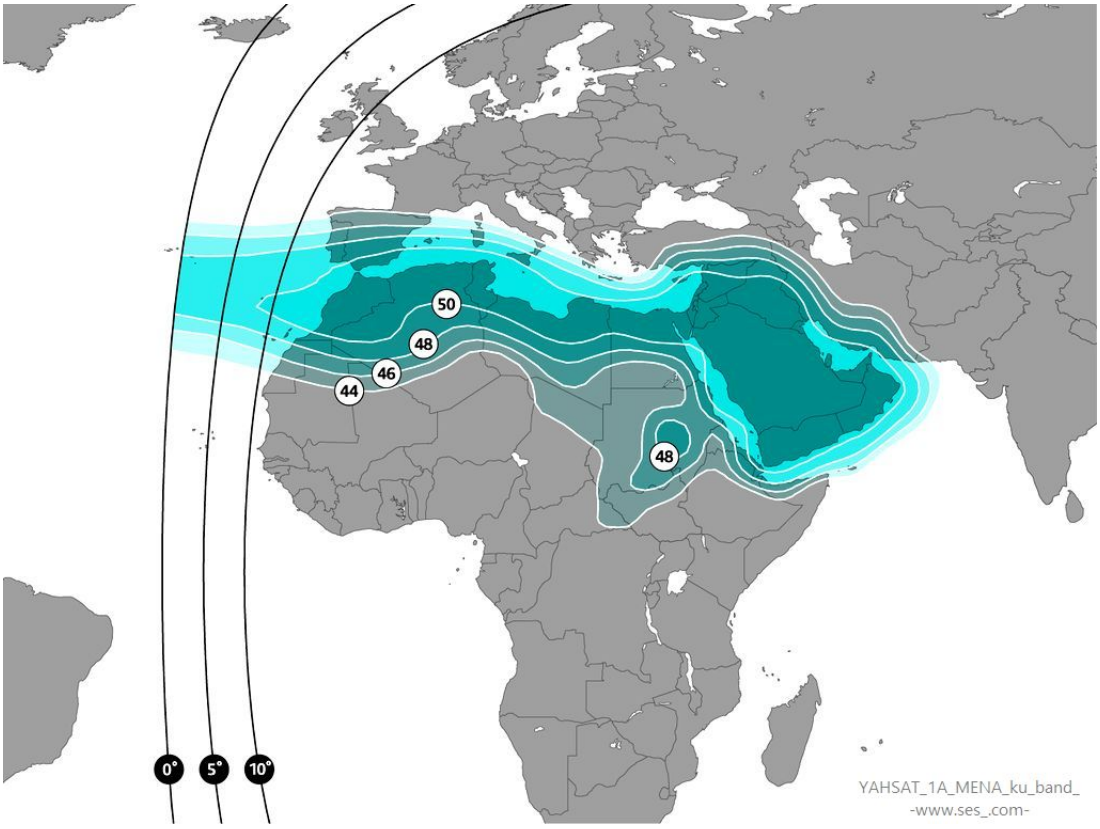


Рис. 3 – Диаграмма направленности MENA (Ku-диапазон); изолинии ЭИИМ 50/48/46/44 дБВт. Источник: SES (www.ses.com). Центральная Европа лежит к северу от самой удалённой из показанных изолиний.

Из обеих диаграмм следует, что Лученец лежит **за пределами всех показанных изолиний**, а значит, вне номинальной зоны покрытия. В луче EAST удалённость от границы покрытия значительна: покрытие направлено на Аравийский полуостров, Иран, Афганистан и Западную Азию, тогда как Центральная Европа лежит на северо-западной окраине, куда доходит лишь крутой спад диаграммы. В луче MENA покрытие расположено вокруг Средиземноморского бассейна и Ближнего Востока; Центральная Европа находится к северу от внешней изолинии.

Производитель и оператор не указывают для этой области гарантированную ЭИИМ, поэтому реальные значения в месте приёма по документации не известны. Поэтому в данном исследовании используется не значение ЭИИМ из диаграммы, а значения, подразумеваемые измерением (раздел 9). Важно, что приём семи несущих в столь удалённом месте требует, чтобы усиление всего приёмного тракта было близко к порогу, и именно этому соответствуют наблюдаемые малые запасы.

4. Методика сигнального мониторинга

Методика основана на правилах автора (dxsatcs.com): для зон вне покрытия (Out Of Footprint) действует минимальная единичная длительность мониторинга одной несущей t = 72 часа. Причина в том, чтобы запись охватывала несколько суточных циклов (суточные изменения температуры, влажности, ветра и возможная суточная вариация ЭИИМ) и тем самым была действительно репрезентативной. У каждой несущей отслеживались захват (lock) приёмника и качество Q (синяя кривая). Критерий отказа был однозначным: срыв захвата соответствует значению Q = 0.

4.1 Перечень контролируемых несущих

№	Частота / пол.	Луч	Содержимое	Модуляция, SR, FEC	Длительность	Отсчёты (1 Гц)
1	11 766 V	EAST	Yahlive	DVB-S, QPSK, 27 500, 7/8	72 ч	259 200
2	11 842 V	EAST	Yahlive	DVB-S2, 8PSK, 27 500, 2/3	72 ч	259 200
3	11 881 V	EAST	GEM Turkey	DVB-S, QPSK, 27 500, 5/6	72 ч	259 200
4	11 977 H	EAST	Yahlive	DVB-S, QPSK, 27 500, 5/6	77 ч	277 200
5	11 996 V	EAST	Yahlive	DVB-S, QPSK, 27 500, 7/8	72 ч	259 200
6	12 072 V	EAST	Yahlive	DVB-S, QPSK, 27 500, 5/6	72 ч	259 200
7	12 168 H	MENA	Du UAE	DVB-S2, 8PSK, 27 500, 5/6	73 ч	262 800
	Итого				**510 ч**	**1 836 000**

Табл. 1 – Семь контролируемых несущих. Число отсчётов получено из длительности и частоты дискретизации 1 Гц (часы × 3 600); сумма 1 836 000 соответствует данным автора.

Проверка суммы: 5 × 72 ч + 77 ч + 73 ч = 510 ч; 510 ч × 3 600 с/ч = 1 836 000 отсчётов. Число точек измерения, указанное автором, таким образом, точно соответствует частоте дискретизации 1 Гц.

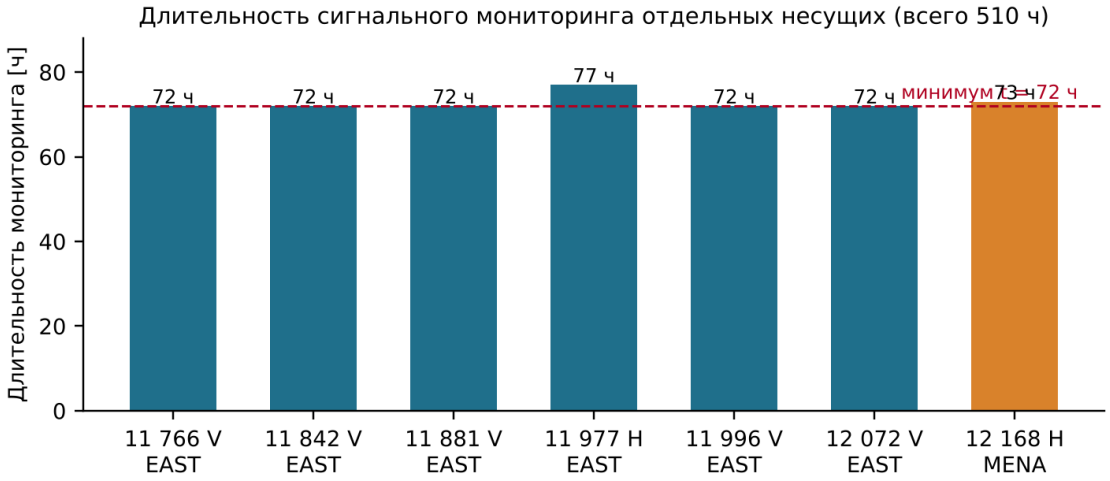


Рис. 4 – Длительность мониторинга для каждой несущей. Все записи удовлетворяют минимуму 72 ч для зон вне покрытия (Out Of Footprint).

4.2 Что означает величина в 510 часов

Автор говорит об «одном сплошном и непрерывном ходе устойчивой работы захвата (lock)». Точнее, речь идёт о **совокупности семи непрерывных записей** (каждая не менее 72 часов), которые вместе составляют 510 часов без срыва захвата. Эта формулировка безопаснее для научной публикации, так как не наводит на мысль, что все несущие отслеживались одновременно; судя по сумме длительностей, они, по-видимому, отслеживались одна за другой. Независимо от этого каждая из этих семи записей является самостоятельным доказательством для своей несущей, а их совпадающий результат усиливает общий вывод.

5. Параметры принимаемых несущих и их пороги

Чтобы можно было сравнивать запасы между разными модуляциями и годами, необходимо выразить их в общей физической величине, а именно в отношении энергии символа к спектральной плотности шума Es/N_0. Для DVB-S2 стандарт ETSI EN 302 307-1 приводит идеальные пороги Es/N_0 для квазибезошибочного приёма (PER = 10^{-7}); для DVB-S значения выводятся из требуемого E_b/N_0 согласно ETSI EN 300 421 с учётом скорости кода и кода Рида – Соломона (188/204).

Несущая	Система	Модуляция, FEC	Идеальный порог Es/N_0 [дБ]	Спектральная эффективность [бит/символ]
11 766 V, 11 996 V	DVB-S	QPSK 7/8	≈ 8,5	1,61
11 842 V	DVB-S2	8PSK 2/3	6,62	2,00
11 881 V, 11 977 H*, 12 072 V	DVB-S	QPSK 5/6	≈ 7,9	1,54
12 168 H (MENA)	DVB-S2	8PSK 5/6	9,35	2,50

*Табл. 2 – Идеальные пороги (AWGN, без потерь реализации приёмника). Реальный приёмник обычно требует на 0,5–1,5 дБ больше. Спектральная эффективность DVB-S приведена с учётом RS(204,188); для DVB-S2 – без пилотов и заголовка кадра. * Для 11 977 H список автора указывает FEC 5/6, тогда как сравнительная часть автора говорит о 7/8 (см. раздел 8).*

Из таблицы вытекает любопытный вывод. Несущая на 12 168 H из луча MENA использует модуляцию 8PSK с FEC 5/6, имеющую из всех семи несущих самый высокий порог (9,35 дБ). Поскольку на ней была получена 73-часовая запись без срыва, Es/N_0 в Лученце должно было в течение всей записи **постоянно превышать 9,35 дБ плюс потери реализации приёмника**. Это одновременно нижняя граница для уровня сигнала этой несущей, которую можно прочесть из результата без дополнительных

предположений. Таким же образом получаются нижние границы для остальных несущих: ≈ 8,5 дБ для QPSK 7/8, ≈ 7,9 дБ для QPSK 5/6 и 6,6 дБ для 8PSK 2/3.

6. Результаты: стабильность захвата и статистическая значимость

6.1 Основной результат

На всех семи несущих захват (lock) сохранялся в течение всего времени мониторинга, и значение качества Q ни разу не достигло нуля. Достигнутая доступность, таким образом, составляет наблюдаемые 100 % для 1 836 000 точек измерения (510 ч). Это необычный результат для зоны вне покрытия (Out Of Footprint), так как работа идёт вблизи порога: даже небольшое снижение сигнала на 1–2 дБ при малом запасе привело бы к срыву захвата. Такая стабильность указывает на то, что сигнал не колеблется (ЭИИМ, настройка антенны и трасса в течение 72 часов не меняются) и что запас над порогом, пусть и малый, присутствует постоянно.

6.2 Статистическая оценка

Нулевое число срывов не означает нулевой вероятности срыва. Статистика даёт верхние границы риска. Согласно «правилу трёх»: если в n независимых единицах не произошло ни одного события, верхняя граница 95-процентного доверительного интервала для вероятности события приблизительно равна 3/n. Если в качестве единицы взять один час (а не одну секунду, поскольку секундные отсчёты не независимы друг от друга), то для всего набора из 510 ч получается:

Набор	Часы n	Наблюдаемые срывы	Верхняя граница 95 % для доли часов со срывом	Нижняя граница доступности (почасовой)
Каждая несущая отдельно (72 ч)	72	0	≈ 4,2 %	≈ 95,8 %
Все 7 несущих вместе	510	0	≈ 0,59 %	≈ 99,41 %

Табл. 3 – Статистические границы для нулевого числа срывов (правило трёх, 95 %).

Число 1 836 000 точек, таким образом, нельзя интерпретировать как 1 836 000 независимых свидетельств. Соседние секундные отсчёты сильно связаны (за секунду сигнал почти не меняется). Независимую информацию несёт скорее число различных погодных и суточных ситуаций, охваченных записью; порядок величины – сотни или тысячи независимых интервалов, а не миллионы. Ценность набора поэтому определяется **длительностью записи и разнообразием условий** (день/ночь, сухо/дождь, температура), и это автор выполнил минимумом в 72 часа на несущую. Число 1 836 000 – правдивое указание плотности записи, но для научной аргументации в качестве основного показателя следует приводить 510 часов и семь несущих.

7. Влияние погодных условий

Автор подтверждает наличие кратковременных дождей данными с shmu.sk. Физически это главный механизм, ухудшающий приём в Ku-диапазоне: дождевые капли поглощают и рассеивают волну длиной 2,5 см, сопоставимой с размером капель. Удельное ослабление в дожде согласно ITU-R P.838 выражается степенной зависимостью

$$\gamma_R = k \cdot R^{\alpha} \ [дБ/км],$$

где R – интенсивность дождя в мм/ч. Для 12 ГГц k ≈ 0,0246 и α ≈ 1,12 для вертикальной поляризации (ITU-R P.838-3, округлено). Полное ослабление получается умножением на эффективную длину пути в дожде. При угле места 26,2°, высоте нулевой изотермы около 3,1 км (ITU-R P.839) и высоте станции

0,2 км наклонный путь через дождевой слой составляет максимум приблизительно 7,4 км; при локальных кратковременных дождях дождевая ячейка меньше, поэтому я привожу и более короткий эффективный путь 3 км.

Интенсивность R [мм/ч]	Характер дождя	Ослабление, путь 3 км [дБ]	Ослабление, путь 7,4 км [дБ]
1	слабая морось	0,07	0,18
2	слабый дождь	0,16	0,40
5	умеренный дождь	0,45	1,10
10	довольно сильный дождь	0,97	2,40
20	сильный дождь	2,12	5,23

Табл. 4 – Ориентировочное ослабление в дожде на 11,9 ГГц (вертикальная поляризация). Это модель, а не измерение; она служит для оценки согласованности порядка величин с наблюдением.

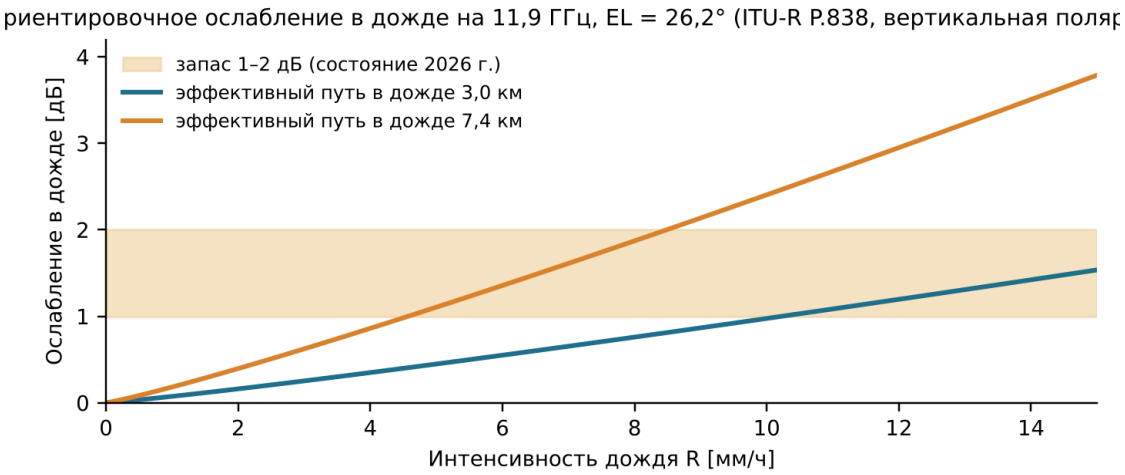


Рис. 5 – Ослабление в дожде в зависимости от интенсивности. Жёлтая полоса показывает запас 1–2 дБ, который был доступен в 2026 году на несущей 11 977 Н.

Из модели следует, что при слабом или умеренном дожде (примерно до 5 мм/ч) ослабление составляет порядка десятых долей дБ – одного дБ. Это совместимо с наблюдением автора: при умеренной интенсивности осадков Q не опускалась до нуля. При интенсивности 10 мм/ч и выше ослабление уже может достигать 1–2,5 дБ, что при запасе 1–2 дБ могло бы привести к срыву. Поэтому наблюдаемая стабильность не означает устойчивости к сильному дождю; она означает, что во время записей сильный дождь на трассе не выпадал или был кратковременным.

К этому добавляются другие, меньшие влияния: газовое поглощение (кислород, водяной пар) около 0,2 дБ, ослабление в облаках – десятые доли дБ и тропосферная сцинтилляция с типичным среднеквадратичным отклонением порядка 0,1–0,3 дБ, которое при малом угле места несколько возрастает. Ионосферные влияния на 12 ГГц пренебрежимо малы.

Рекомендация к публикации: к таблице 1 добавить для каждой записи максимальную 10-минутную интенсивность осадков по shmu.sk (мм/ч) и сумму за время записи. Тогда утверждение «стабильный приём и при кратковременных дождях» станет измеримым и проверяемым.

8. Стабильность кривых и сравнение с 2022 годом

8.1 Отсутствие скачкообразных изменений

Автор сообщает, что на кривых всех семи несущих не наблюдалось скачкообразного роста мощности или качества, в отличие от записи RT News на 11 475 МГц H со спутника Express AM-7 (40,0° в. д.), где он зафиксировал такие скачки. Скачкообразное изменение на практике обычно объясняется действиями оператора (изменение мощности на линии вверх, переключение транспондера или луча, смена модуляции), а не поведением распространения волны. Гладкая кривая без скачков поэтому согласуется с тем, что несущие, передаваемые с Al Yah 1, во время записей находились в стабильном состоянии и что изменения вызваны лишь медленными естественными процессами (температура, влажность, сцинтилляция).

По словам автора, сигнальная модель для этих волн не выявила в Лученце постоянного дефекта волны, поэтому применять технологию «Синхронные нанокоррекции», предназначенную для коррекции дефектов в зонах вне покрытия (Out Of Footprint), не потребовалось. Данное исследование не оценивает ни эту модель, ни её технологию; все выводы здесь опираются только на непосредственно измеренные кривые Q и захвата. Для специалистов было бы полезно приложить к исследованию описание модели и необработанные записи.

8.2 Сравнение 2022 и 2026 годов на несущей 11 977 H

Важнейшее наблюдение автора – долговременное снижение уровня сигнала. При той же антенне (450 см) автор для 2022 года указывает запасы по сигналу около 7–9 дБ при DVB-S2 QPSK, FEC 8/9, даже при значительно ухудшенных условиях. Сегодня, при изменённых параметрах DVB-S QPSK и FEC 7/8, запас составляет лишь 1–2 дБ. В 2022 году на рефлекторе 300 см круглосуточно присутствовал запас 3–4 дБ, чего сегодня уже нет.

Прямое сравнение запасов 7–9 дБ и 1–2 дБ было бы некорректным, так как у них разный опорный порог: запас – это всегда расстояние до порога модуляции. Поэтому я пересчитываю их в Es/N_0 = порог + запас:

Состояние	Модуляция	Идеальный порог [дБ]	Запас [дБ]	Оценка Es/N_0 [дБ]
2022 г., PF 450 см	DVB-S2 QPSK 8/9	6,2	7–9	13,2–15,2
2022 г., PF 300 см (пересчёт на 450 см: +3,52 дБ)	DVB-S2 QPSK 8/9	6,2	3–4	12,7–13,7 (для 450 см)
2026 г., PF 450 см	DVB-S QPSK 7/8	≈ 8,5	1–2	9,5–10,5
2026 г., PF 450 см (если FEC 5/6)	DVB-S QPSK 5/6	≈ 7,9	1–2	8,9–9,9

Табл. 5 – Пересчёт запасов 2022 и 2026 годов в общую величину Es/N_0. Запасы приведены по данным автора; пороги – идеальные значения из стандартов, поэтому абсолютное Es/N_0 отягощено неточностью ±1 дБ, но разница между годами менее чувствительна, если приёмник показывает запас одним и тем же способом.

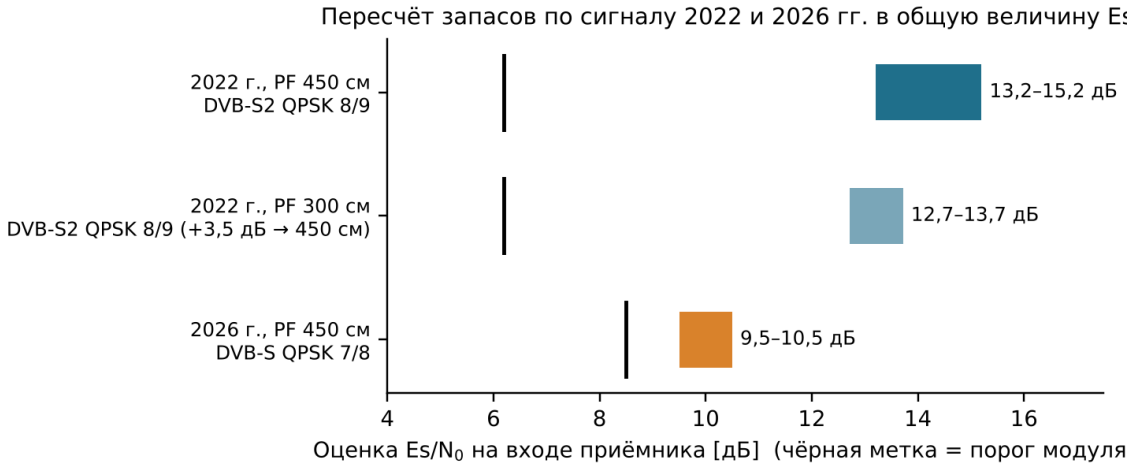


Рис. 6 – Оценка Es/N_0 в 2022 и 2026 годах. Снижение составляет примерно 3–6 дБ, обычно около 4 дБ.

Из пересчёта вытекают три вывода. **Во-первых**, снижение не является лишь кажущимся следствием смены модуляции: даже после нормировки на Es/N_0 остаётся уменьшение примерно на 3–6 дБ (диапазон 13,2–15,2 дБ против 9,5–10,5 дБ). **Во-вторых**, запись 2022 года на рефлекторе 300 см после пересчёта (+3,52 дБ) даёт 12,7–13,7 дБ, что почти соответствует нижней половине записи на 450 см (13,2–15,2 дБ). Два независимых данных автора за 2022 год, таким образом, друг другу не противоречат, что повышает достоверность сравнения. **В-третьих**, снижение на 3–6 дБ соответствует уменьшению мощности до половины – четверти исходного значения и, следовательно, велико.

Проверка данных: перечень несущих в разделе 4 указывает для 11 977 H FEC 5/6, тогда как сравнение в разделе 8 говорит о FEC 7/8. Разница в результате невелика (около 0,6 дБ по порогу), но перед публикацией данные необходимо привести к единому виду.

8.3 Возможные причины снижения и как их различить

Из самих данных определить, что вызвало снижение, нельзя. Рассматриваются следующие гипотезы; к каждой я указываю контрольное измерение, которое её подтвердит или исключит.

Гипотеза	Описание	Как проверить
H1: изменение ЭИИМ на стороне спутника / оператора	Снижение мощности транспондера, изменение значения backoff, корректировка луча или ориентации спутника относительно первоначального состояния; спутник эксплуатируется с 2011 года, поэтому мог меняться и режим эксплуатации.	Сравнить снижение на несущих из разных транспондеров и поляризаций; запросить данные оператора или сравнить с другим наблюдателем в аналогичной зоне.
H2: изменение орбиты спутника (наклонение)	Растущее наклонение орбиты вызвало бы суточные колебания Q и изменение усиления в направлении Лученца.	Искать 24-часовую периодичность в Q; по словам автора, ни скачкообразных, ни периодических изменений не наблюдается.
H3: старение приёмного тракта	Ухудшение коэффициента шума LNB, влага в разъёмах, смена разветвителя питания, потеря усиления в кабеле.	Измерение суммарного шума LNB (Y-фактор, Солнце или холодное небо), замена LNB, проверка кабеля и разъёмов.
H4: изменение рефлектора и его настройки	Микродеформация поверхности, смещение облучателя, небольшое отклонение от максимума (разд. 2.4: 0,1° ≈ 0,8 дБ).	Повторный поиск максимума, проверка фокуса и поляризации, сравнение с опорной несущей.
H5: изменение обстановки на трассе	Рост растительности или новое препятствие на угле места 26° в направлении 139°.	Фотоконтроль горизонта, сравнение кривой зимой и летом.

Табл. 6 – Гипотезы о снижении сигнала и предлагаемые контрольные измерения.

Автор сообщает, что стремительное снижение повторяется на других несущих из диаграммы EAST за последние четыре года. Это говорило бы скорее в пользу факторов, общих для нескольких несущих (H1, H3, H4), чем в пользу явлений, специфичных для одной частоты. Если же причиной был бы приёмный тракт (H3, H4), это касалось бы и других спутников, принимаемых той же техникой; поэтому сравнение с несущей другого спутника было бы самым дешёвым и самым решающим тестом.

9. Ориентировочный бюджет линии связи и подразумеваемая ЭИИМ в Лученце

Бюджет линии связи показывает, какая ЭИИМ должна присутствовать в Лученце, чтобы соответствовать наблюдению. Для одной несущей со скоростью символов 27,5 Мсимв/с справедливо

$$Es/N_0 = EIRP - L_{fs} - L_{прочие} + G/T - 10{\cdot}log_{10}(k) - 10{\cdot}log_{10}(R_s),$$

где $-10{\cdot}\log_{10}(k) = 228{,}6$ дБВт/(К·Гц) и $10{\cdot}\log_{10}(R_s) = 74{,}4$ дБГц. Предположения: усиление антенны 53,1 дБи ($\eta = 0{,}65$), системная шумовая температура 80–120 К (LNB, небо, земля при угле места 26°), прочие потери 0,5 дБ (газы, неточность наведения, поляризация).

Ситуация	Es/N_0 [дБ]	Подразумеваемая ЭИИМ при T = 80 K	при T = 100 K	при T = 120 K
2022 (нижняя оценка)	13,2	31,2 дБВт	32,2 дБВт	33,0 дБВт
2022 (верхняя оценка)	15,2	33,2 дБВт	34,2 дБВт	35,0 дБВт
2026 (нижняя оценка)	9,5	27,5 дБВт	28,5 дБВт	29,3 дБВт
2026 (верхняя оценка)	10,5	28,5 дБВт	29,5 дБВт	30,3 дБВт

Табл. 7 – Подразумеваемая ЭИИМ в направлении на Лученец при выбранных предположениях. Это не измерение ЭИИМ; значения служат для оценки порядка величины, и их неопределённость составляет примерно ±2 дБ.

Результат показывает, что ЭИИМ в направлении на Лученец составляет порядка 28–30 дБВт, то есть примерно на 20 дБ меньше вершины диаграммы (48–51 дБВт). Это согласуется с положением далеко за границей покрытия и показывает, что приём в Центральной Европе возможен лишь благодаря высокому усилению антенны: с рефлектором 300 см (−3,5 дБ) запас в 2026 году при той же настройке опустился бы ниже нуля, что автор в своём обзоре и констатирует («уже невозможно»). Эта оценка одновременно показывает, почему удвоение диаметра рефлектора (+6 дБ) для такой области ценно: оно соответствует разнице между стабильным приёмом и его полной потерей.

10. Обсуждение

Что подтверждают результаты. Данные автора надёжно подтверждают утверждение, что при наблюдавшихся условиях семь несущих с Al Yah 1 можно было принимать в Лученце рефлектором 450 см без срыва захвата в течение 510 часов (семь записей по 72–77 часов), в том числе при периодических кратковременных дождях. Физическая модель (разделы 2, 7 и 9) объясняет этот результат без противоречий: запас над порогом мал, но постоянен, а ослабление умеренным дождём меньше запаса.

Что результаты не подтверждают. Они не подтверждают утверждение об устойчивости к сильному дождю, а также о том, что приём будет столь же стабильным в другие времена года или после дальнейшего снижения ЭИИМ. При запасе 1–2 дБ система находится вблизи порога, и дальнейшее снижение на несколько дБ прекратило бы приём.

Значение для практики. Для наблюдателей в Центральной Европе отсюда вытекают три практических вывода. Во-первых, **диаметр антенны оказывает решающее влияние**: каждое удвоение диаметра даёт +6 дБ, 450 см по сравнению с 300 см – это +3,5 дБ. Во-вторых, **качество тракта и точность настройки** в таком режиме напрямую сказываются на запасе (0,1° ≈ 0,8 дБ; ухудшение коэффициента шума LNB на 0,3 дБ означает приблизительно потерю 0,3 дБ запаса). В-третьих, **долговременный мониторинг с документированием обстановки** (осадки, температура, ветер) – единственный способ отличить изменения на спутнике от изменений на земле.

Связь с другими спутниками. Пример Express AM-7 (40,0° в. д.) с индийской диаграммой, на котором автор зафиксировал скачкообразный рост мощности и качества, показывает, что скачки обычны при новых или меняющихся передачах. Плавные кривые Al Yah 1 поэтому качественно иной тип поведения: стабильный, но на более низком уровне, чем в прошлом.

11. Ограничения и условия воспроизводимости

Чтобы исследование выдержало экспертную оценку, необходимо открыто указать его границы:

- **Одно место, одна антенна, один наблюдатель.** Результаты действительны для Лученца и данной конфигурации (рефлектор, LNB, приёмник). Независимое подтверждение из другого места или другой конфигурацией существенно усилило бы доказательство.
- **Q и запас – параметры конкретного приёмника.** Разные приёмники определяют их по-разному, и шкала может не быть линейной в дБ. Поэтому пересчёты в разделе 8 ориентировочные; целесообразно указать модель приёмника и способ отображения Q.
- **Последовательные записи.** Итог в 510 часов – сумма семи записей, а не одна одновременная кривая всех несущих (разд. 4.2).
- **Число отсчётов.** Значение 1 836 000 точек измерения выражает плотность записи; статистический вес определяется числом часов и разнообразием условий (разд. 6.2).
- **Осадки.** Подтверждение дождя данными shmu.sk целесообразно дополнить числовой таблицей интенсивности для каждой записи (разд. 7).
- **2022 год.** Неопубликованные записи 2022 года необходимо приложить (хотя бы графики с указанием модуляции, времени и настройки), иначе сравнение остаётся непроверенным. Для 11 977 H нужно привести к единому виду значение FEC (5/6 или 7/8).
- **Причина снижения.** Исследование количественно оценивает снижение, но не может определить его причину (табл. 6).

Рекомендуемый пакет приложений для публикации: необработанные логи (CSV с шагом в секунду: время, Q, уровень, lock), фотография конфигурации и горизонта, модель LNB и приёмника, таблица осадков и температур за каждую запись, записи 2022 года с данными о настройке.

12. Заключение

В Лученце, лежащем далеко за пределами зоны покрытия диаграмм EAST и MENA спутника Al Yah 1, удалось получить непрерывный приём семи несущих рефлектором Prodelin 450 см: шесть из луча EAST и одна из луча MENA, в совокупности 510 часов (1 836 000 отсчётов при 1 Гц), без единого срыва захвата и без снижения Q до нуля. Физический анализ показывает, что этот результат согласуется с геометрией приёма (AZ 139,2°, EL 26,2°, наклонная трасса 38 962 км, потери в свободном пространстве 205,8 дБ), с усилением антенны около 53 дБи, с порогами использованных модуляций и с ожидаемым ослаблением умеренным дождём.

Пересчёт записей 2022 года в общую величину Es/N_0 показывает снижение уровня сигнала примерно на 3–6 дБ; нынешний постоянный запас составляет около 1–2 дБ. Система, таким образом, работает вблизи порога, и стабильность захвата примечательна именно тем, что запас мал, но постоянен. Дальнейшее снижение на несколько дБ прекратило бы приём. Причину снижения необходимо определить контрольными измерениями, указанными в таблице 6.

Исследование, таким образом, подтверждает, что приём вне зоны покрытия (Out Of Footprint) в Центральной Европе с большим рефлектором и качественным трактом длительно возможен, и одновременно показывает, где проходят его границы. После дополнения приложениями, указанными в разделе 11, результаты можно будет представить на независимую проверку.

Литература и источники

[1] ETSI EN 300 421: Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services (DVB-S).

[2] ETSI EN 302 307-1: Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for broadcasting, interactive services, news gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2), Part 1.

[3] ITU-R P.618: Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems.

[4] ITU-R P.838: Specific attenuation model for rain for use in prediction methods.

[5] ITU-R P.839: Rain height model for prediction methods.

[6] ITU-R P.676: Attenuation by atmospheric gases and related effects.

[7] Maral, G., Bousquet, M.: Satellite Communications Systems. Wiley.

[8] Stutzman, W. L., Thiele, G. A.: Antenna Theory and Design. Wiley.

[9] dishpointer.com – расчёт AZ/EL для 52,5° в. д. (Al Yah 1 / Yahsat 1A), Лученец; SES – диаграммы направленности YAHSAT 1A EAST и MENA, Ku-диапазон (www.ses.com); shmu.sk – данные об осадках (добавить в приложения).

Приложение A – Использованные соотношения

Для станции с широтой φ и долготой λ_s, спутника на долготе λ_{sat} и $\Delta = \lambda_{sat} - \lambda_s$ справедливо (R = 6 378 км, r = 42 164 км):

$$\cos\gamma = \cos\varphi \cdot \cos\Delta,\quad EL = \arctan[(\cos\gamma - R/r) / \sin\gamma],\quad AZ = 180° - \arctan[\tan\Delta / \sin\varphi],$$

$$d = \sqrt{(R^2 + r^2 - 2 \cdot R \cdot r \cdot \cos\gamma)}.$$

Для Лученца: φ = 48,3331°, Δ = 32,8336°, γ = 56,04°, что даёт AZ = 139,18°, EL = 26,16° и d = 38 962 км. Магнитный азимут получается вычитанием магнитного склонения (≈ 6,1° восточное), что соответствует значению 133,1° с dishpointer.com.

Пороги DVB-S: $Es/N_0 = E_b/N_0 + 10 \cdot \log_{10}(2 \cdot R_c \cdot 188/204)$, при E_b/N_0 = 5,0 / 5,5 / 6,0 / 6,4 дБ для R_c = 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 (ETSI EN 300 421, округлено). Правило трёх: верхняя граница 95 % для вероятности события при n независимых испытаниях без события ≈ 3/n.