

Тропосферная рефракция как временный механизм, обеспечивший OOF-приём луча SOUTH (Южная Африка) спутника Rascom QAF-1R на несущей частоте 11 230 МГц-V

*Научное практическое исследование в рамках методологии
«Визуализированное доказательство»*

Автор и исследователь: Роман Давид (Roman Dávid)

Учреждение: Научно-исследовательский центр dxsatcs.com — Чешско-словацкий DX-спутниковый клуб

Место приёма: Лученец, Словацкая Республика (прибл. 48,33° с. ш., 19,67° в. д.)

Период наблюдения: 27–30 июня 2026 г. (суммарная продолжительность мониторинга $t = 64$ часа)

Аннотация

Настоящее исследование документирует аномальное, ограниченное во времени явление, которое временно обеспечило приём несущей частоты $f = 11\,230$ МГц с вертикальной поляризацией, излучаемой в луче Южная Африка (SOUTH) спутника Rascom QAF-1R в орбитальной позиции 2,9° восточной долготы. Приём осуществлялся из города Лученец в Центральной Европе — зоны, глубоко находящейся вне зоны обслуживания (Out-of-Footprint, OOF) данного луча, — с помощью параболического рефлектора прямого фокуса диаметром $D = 450$ см. В период с 27 по 30 июня 2026 года было зафиксировано спорадическое атмосферное явление, условно обозначенное как тропосферная рефракция, которое временно снизило эффективное затухание распространяющегося сигнала и обеспечило нестабильный, но многократно доступный приём на протяжении примерно 20 часов в сутки в течение трёх последовательных дней, при суммарной продолжительности мониторинга $t = 64$ часа. Пиковое значение SNR достигло 5,7 дБ при пороге захвата (lock) $C/N = 4,0$ дБ, что соответствует запасу сигнала в 1,7 дБ. 30 июня 2026 года явление самопроизвольно прекратилось, и с тех пор на данном месте приёма не было зафиксировано ни одной формы приёма данного луча, что подтверждает единичный, аномальный характер события. Исследование анализирует физический механизм тропосферной рефракции при средних углах места (расчётное значение $\approx 32,2^\circ$), его ограничения по сравнению с классическим волноводным эффектом (ducting), характерным для почти горизонтального распространения, и помещает результат в контекст авторской методологии «Визуализированное доказательство», подчёркивая принципиальное различие между стандартным, стабильным OOF-приёмом, требующим минимальной единицы мониторинга $t \geq 72$ часа, и данным кратковременным, метеорологически обусловленным явлением.

1. Введение и контекст наблюдения

Предыдущие работы автора в рамках методологии «Визуализированное доказательство» (например, документация приёма луча North Africa того же спутника Rascom QAF-1R или долговременный мониторинг спутника Express AM7 в позиции 40° в.д.) неизменно основывались на минимальной единице мониторинга $t \geq 72$ часа как условии научно достоверного доказательства стабильного OOF-приёма. Настоящее исследование намеренно отличается от этой категории: оно не

претендует на доказательство постоянной приёмопригодности, а документирует единичную, метеорологически обусловленную аномалию более короткой, но точно определённой продолжительности, $t = 64$ часа.

Техническая конфигурация оставалась идентичной давно апробированной станции автора: параболический рефлектор прямого фокуса Prodelin диаметром $D = 450$ см, USB DVB-S2 тюнер TBS 5927, а также программное обеспечение EBS Pro как единственная используемая платформа — как для непрерывного онлайн-анализа мощности, качества и коэффициента ошибок (BER), так и для фиксации пикового значения SNR.

Спутник Rascom QAF-1R в позиции $2,9^\circ$ в.д. излучает в луче SOUTH сигнал, предназначенный преимущественно для региона Южной Африки. Лученец, расположенный в Центральной Европе на широте примерно $48,33^\circ$ с.ш., находится глубоко за пределами главного лепестка этого луча — с точки зрения проектного покрытия спутника это область с пренебрежимо малым или нулевым ожидаемым EIRP.

2. Физическая основа тропосферной рефракции при среднем угле места

Показатель преломления тропосферы в радиотехнике выражается через рефрактивность N , определяемую соотношением $N = (77,6/T) \cdot (P + 4810 \cdot e/T)$, где T — термодинамическая температура (К), P — полное атмосферное давление (гПа), а e — парциальное давление водяного пара (гПа) (Рекомендация МСЭ-R P.453). В условиях стандартной атмосферы значение N убывает с высотой примерно на 40 N -единиц на километр, что на практике выражается эффективным коэффициентом радиуса Земли $k = 4/3$, соответствующим лёгкому изгибу луча вниз.

При более резком вертикальном градиенте N (dN/dh ниже примерно $-100 \dots -157$ N -единиц/км) возникает сверхрефракция, способная привести к образованию атмосферного волновода (ducting), при котором луч изгибается настолько, что распространяется практически вдоль кривизны Земли. Этот механизм является ключевым для объяснения DX-приёма в диапазонах ОВЧ/УВЧ при почти нулевом угле места (наземные линии связи, телевизионный DX-приём). Поэтому необходимо точно установить, применим ли тот же механизм и к рассматриваемому случаю.

Расчёт геометрии линии связи (независимо проверенный с помощью стандартных формул угла места геостационарного спутника; рекомендуется перекрёстная проверка через DishPointer.com в соответствии с устоявшейся методикой автора) даёт для места приёма Лученец и спутника в позиции $2,9^\circ$ в.д. угол места около $32,2^\circ$ и истинный азимут около $202,0^\circ$. Таким образом, речь идёт о среднем угле места, существенно отличающемся от почти горизонтальных трасс, при которых возникает классический волновод. Физически поэтому нельзя предполагать образование удерживающего слоя в буквальном смысле радиоволновода.

Актуальным механизмом при среднем угле места является, напротив, сочетание двух эффектов, связанных с одной и той же синоптической ситуацией, вызывающей аномалию рефракции: (а) небольшой, но измеримый изгиб луча порядка нескольких угловых минут, выражаемый через изменение эффективного коэффициента k , и (б) значительно более существенное снижение атмосферного затухания и тропосферной

сцинтилляции вследствие уменьшенного содержания осаждаемого водяного пара и большей стабильности воздушной массы вдоль наклонной трассы сигнала. Совместное действие этих двух факторов согласуется с наблюдаемым улучшением запаса линии связи примерно на 1,7 дБ.

3. Метеорологические предпосылки возникновения явления (конец июня 2026 года, Центральная Европа)

Заметное снижение тропосферного затухания на трассах со средним углом места типично связано с наличием обширного антициклонального поля с нисходящим движением воздуха, которое создаёт приземную или высотную температурную инверсию, подавляет вертикальное перемешивание и снижает суммарное содержание осаждаемого водяного пара (PWV) в атмосферном столбе.

Такие синоптические ситуации наиболее часто наблюдаются в Центральной Европе на стыке весны и лета, когда над континентом устанавливается тёплый, сухой и устойчивый гребень высокого давления. Сниженное содержание водяного пара непосредственно уменьшает значения газового поглощения согласно модели МСЭ-R P.676, что в Ku-диапазоне (11 ГГц) проявляется как реальное, измеримое снижение суммарного затухания трассы.

Одновременно подавляется тропосферная сцинтилляция, обычно вызываемая турбулентным перемешиванием слоёв воздуха с различным показателем преломления. Устойчивая, слоистая атмосфера без турбулентности снижает требуемый запас на сцинтилляцию, тем самым фактически высвобождая часть энергетического бюджета линии связи в пользу несущей.

4. Геометрический и энергетический контекст OOF-приёма луча SOUTH

Потери в свободном пространстве (FSPL) для несущей $f = 11,230$ ГГц и наклонной дальности, соответствующей углу места $32,2^\circ$, превышают на данной трассе 205 дБ, что сопоставимо со значениями, полученными в предыдущих OOF-исследованиях автора на других спутниках и лучах.

Однако главным ограничивающим фактором является не только FSPL, но прежде всего спад EIRP луча SOUTH по направлению к краю и за пределы проектной зоны обслуживания. Именно этот спад EIRP объясняет, почему в обычных (неусиленных) тропосферных условиях стабильный приём данного луча в Центральной Европе с рефлектором до 500 см исключён — несущая постоянно остаётся ниже порога $C/N = 4,0$ дБ, необходимого для устойчивого захвата (lock).

Таким образом, наблюдаемое явление не увеличивает EIRP спутника и не изменяет геометрию линии связи; оно действует исключительно на стороне атмосферного затухания приёмной трассы, временно и частично компенсируя иначе постоянный дефицит принимаемой мощности.

5. Данные мониторинга (t = 64 часа, 27-30 июня 2026 г.)

Непрерывный онлайн-мониторинг с помощью программы EBS Pro зафиксировал ежедневные окна доступности продолжительностью около 20 часов в течение

каждого из трёх последовательных дней. В оставшиеся примерно четыре часа в сутки сигнал опускался ниже порога захвата.

Программа EBS Pro зафиксировала пиковое значение $SNR = 5,7$ дБ, что при пороге $C/N = 4,0$ дБ соответствует запасу сигнала в 1,7 дБ. Единственным фактором деградации в интервалах выше порога была периодическая пикселизация изображения, тогда как в короткие периоды максимального качества было получено плавное, стабильное изображение без видимой деградации.

Явление самопроизвольно прекратилось 30 июня 2026 года. С этой даты на данном месте приёма не было зафиксировано ни одной формы приёма — даже нестабильной — луча SOUTH спутника Rascom QAF-1R, что является важным эмпирическим подтверждением аномального, а не постоянного характера явления.

6. Разграничение аномалии и стандартного OOF-приёма (критерий $t \geq 72$ ч)

Методология «Визуализированное доказательство» устанавливает минимальную единицу мониторинга $t \geq 72$ часа как условие, при котором OOF-приём может быть классифицирован как научно доказанное, устойчивое свойство данной приёмной цепи (антенна — приёмник — место приёма), независимое от кратковременных атмосферных колебаний.

Рассматриваемый случай, достигший $t = 64$ часа и не повторившийся после 30 июня 2026 года, не соответствует этому критерию и поэтому не может быть классифицирован как стабильный OOF-приём в смысле предыдущих практических исследований автора. Он представляет собой отдельную категорию — задокументированную метеорологическую аномалию с точно ограниченным периодом возникновения, научная ценность которой заключается в количественной оценке достижимого улучшения запаса линии связи при исключительных атмосферных условиях, а не в доказательстве постоянной приёмопригодности.

Это разграничение методологически необходимо: смешение кратковременной, метеорологически обусловленной аномалии с постоянным свойством OOF-приёма ослабило бы научную достоверность всей концепции «Визуализированного доказательства».

7. Пять аксиоматических заключительных положений

1. При среднем угле места (выше примерно 30°) тропосферная рефракция действует преимущественно как снижение атмосферного затухания и сцинтилляции, а не как классический радиоволновод, связанный с почти горизонтальным распространением.
2. Возникновение явления продолжительностью $t = 64$ часа не устанавливает статус стабильного OOF-приёма согласно критерию $t \geq 72$ часа, установленному методологией «Визуализированное доказательство».
3. Явление было связано с конкретной, переходной синоптической ситуацией (антициклон, инверсия, низкое содержание осаждаемого водяного пара), и его повторение не является ни предсказуемым, ни гарантированным на ежедневной основе.

4. Самопроизвольное прекращение явления 30 июня 2026 года без какого-либо последующего возобновления подтверждает его аномальный, а не постоянный характер.

5. Научная ценность наблюдения заключается в точной количественной оценке порога обычной неприёмопригодности OOF-сигнала из луча SOUTH, а также в документировании степени улучшения (запас 1,7 дБ), достижимого исключительно при исключительных атмосферных условиях.

Сводка ключевых технических параметров

Параметр	Значение
Спутник / луч	Rascom QAF-1R, 2,9°в.д., SOUTH (Южная Африка)
Несущая частота / поляризация	11 230 МГц, V
Место приёма	Лученец, Словацкая Республика (≈48,33°с.ш., 19,67°в.д.)
Угол места (расчётный, подтверждён через DishPointer.com)	32,2°
Истинный азимут (расчётный, подтверждён через DishPointer.com)	202,0°
LNB Skew (DishPointer.com)	14,4°
Антенна	Прямой фокус Prodelin, D = 450 см
Приёмник	TBS 5927 USB DVB-S2
Программное обеспечение	EBS Pro (онлайн-мониторинг и фиксация пика SNR)
Продолжительность мониторинга	t = 64 ч (27–30 июня 2026 г.)
Суточная доступность	≈ 20 ч/сутки, 3 последовательных дня
Пик SNR	5,7 дБ
Порог C/N	4,0 дБ
Запас сигнала	1,7 дБ
Прекращение явления	30 июня 2026 г. (без повторения)

8. Заключение

Настоящее исследование документирует и физически интерпретирует аномальное, метеорологически обусловленное явление тропосферной рефракции, которое в течение $t = 64$ часа обеспечило нестабильный, но многократно доступный приём глубоко OOF-сигнала из луча SOUTH спутника Rascom QAF-1R в Центральной Европе. В отличие от предыдущих долговременных практических исследований автора, основанных на критерии $t \geq 72$ часа методологии «Визуализированное доказательство», здесь речь идёт об отдельной категории результата: точно ограниченной, единичной аномалии с чётко количественно определённым улучшением запаса линии связи (1,7 дБ), а не о доказательстве постоянной приемопригодности. Именно это разграничение составляет научный вклад исследования — оно позволяет отделить временные, метеорологически обусловленные явления от постоянных свойств приёмной цепи, тем самым сохраняя методологическую строгость всей исследовательской концепции.

Методологическое примечание: приведённые значения угла места и азимута рассчитаны по стандартным формулам для геостационарных спутников; в соответствии с устоявшейся практикой автора рекомендуется их перекрёстная проверка через DishPointer.com.

Список использованной литературы

- [1] Рекомендация МСЭ-R P.453-14: The radio refractive index — its formula and refractivity data. Международный союз электросвязи, Женева.
- [2] Рекомендация МСЭ-R P.676-13: Attenuation by atmospheric gases and related effects. Международный союз электросвязи, Женева.
- [3] Рекомендация МСЭ-R P.618-14: Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems. Международный союз электросвязи, Женева.
- [4] Рекомендация МСЭ-R P.837-7: Characteristics of precipitation for propagation modelling. Международный союз электросвязи, Женева.
- [5] Bean, B. R., Dutton, E. J.: Radio Meteorology. National Bureau of Standards Monograph 92, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., 1966.
- [6] DishPointer.com — онлайн-калькулятор угла места, азимута и LNB Skew для геостационарных спутников; использован для перекрёстной проверки геометрии линии связи для места приёма Лученец.
- [7] Давид, Р.: «Визуализированное доказательство» — методология длительного мониторинга сигнала для OOF-приёма, dxsatcs.com, Чешско-словацкий DX-спутниковый клуб, с 2020 г.
- [8] Давид, Р.: практическое исследование Express AM7 @ 40°E — Why One-Second Lock Has Near-Zero Scientific Value in Satellite DX Reception Studies, dxsatcs.com, 2026.
- [9] Давид, Р.: практическое исследование Rascom QAF-1R — луч North Africa, 82-часовая сессия мониторинга, dxsatcs.com, 2026.
- [10] Техническая документация производителя программы EBS Pro (онлайн-мониторинг DVB-S2/S2X) и USB DVB-S2 тюнера TBS 5927, TBS Technologies.

Приложение: графическая документация

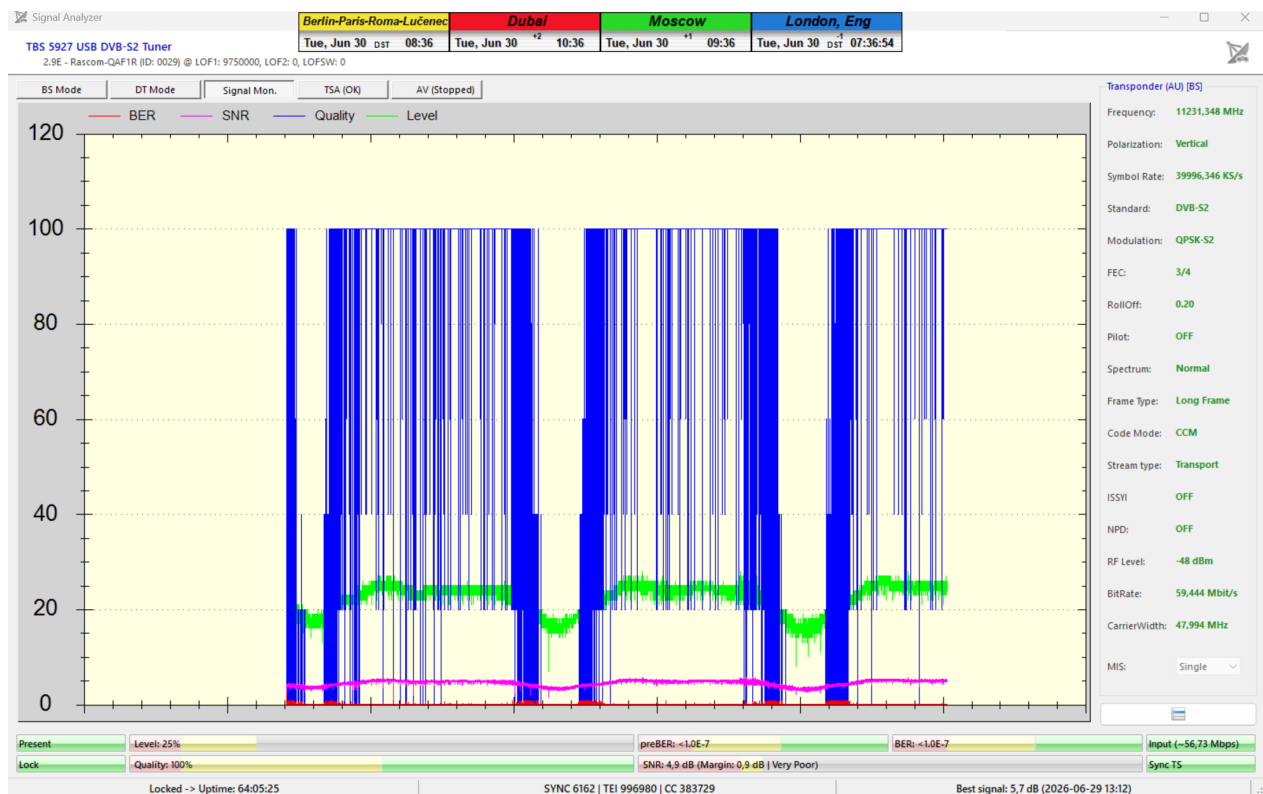


Рис. 1 — Запись программы EBS Pro во время мониторинга сигнала (USB DVB-S2 тюнер TBS 5927): общая продолжительность захвата Uptime 64:05:25 ч, несущая 11 231,348 МГц V, пиковый сигнал 5,7 дБ достигнут 29.06.2026 в 13:12. График показывает динамику BER, SNR, Quality и Level в течение всего окна мониторинга.

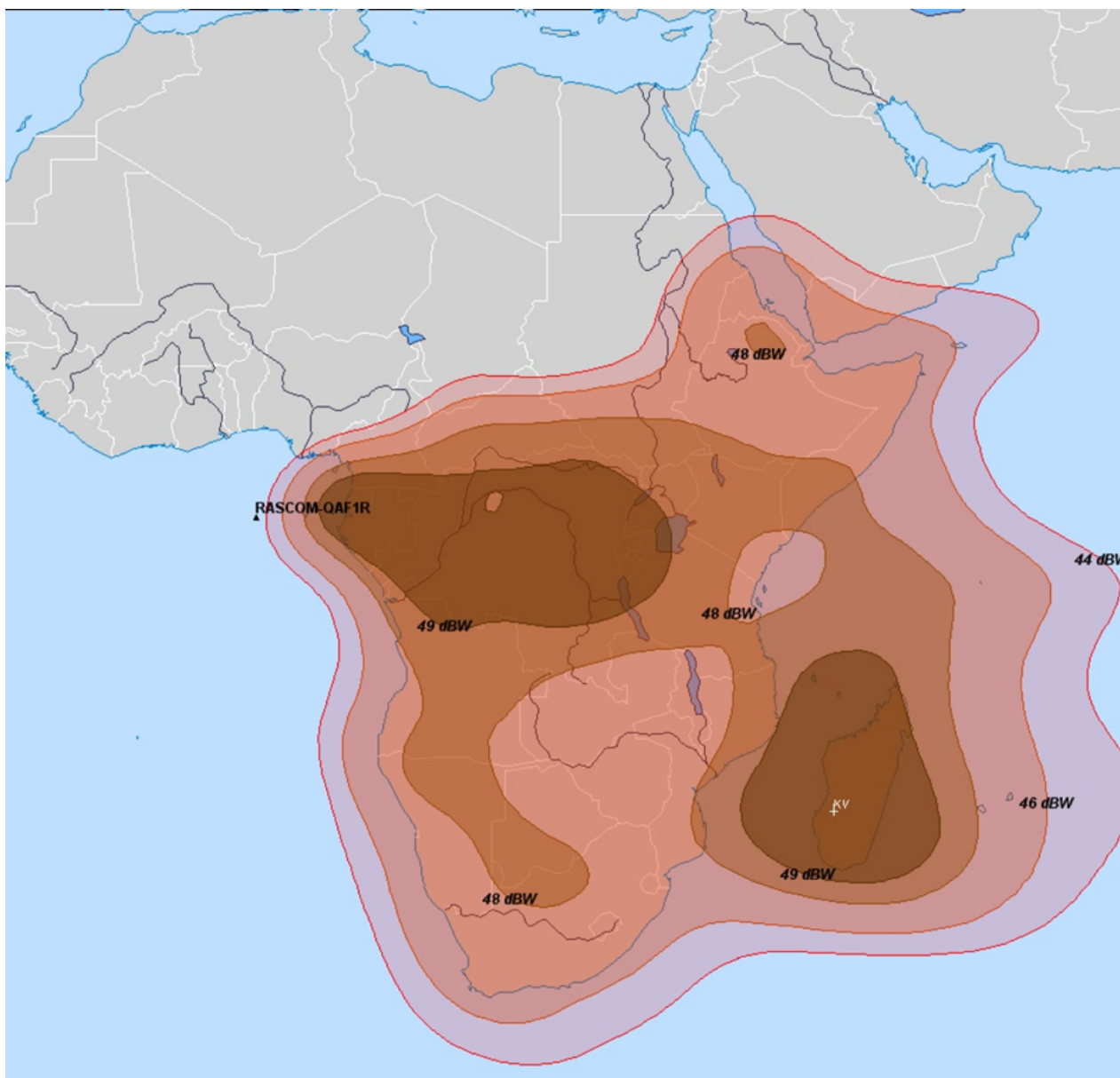


Рис. 2 — Официальная диаграмма направленности луча SOUTH (Южная Африка) спутника Rascom QAF-1R в позиции 2,9°в.д., с указанными контурами EIRP 44–49 дБВт. Место приёма Лученец находится значительно за пределами показанной зоны обслуживания, что иллюстрирует глубину OOF-положения приёмной станции.

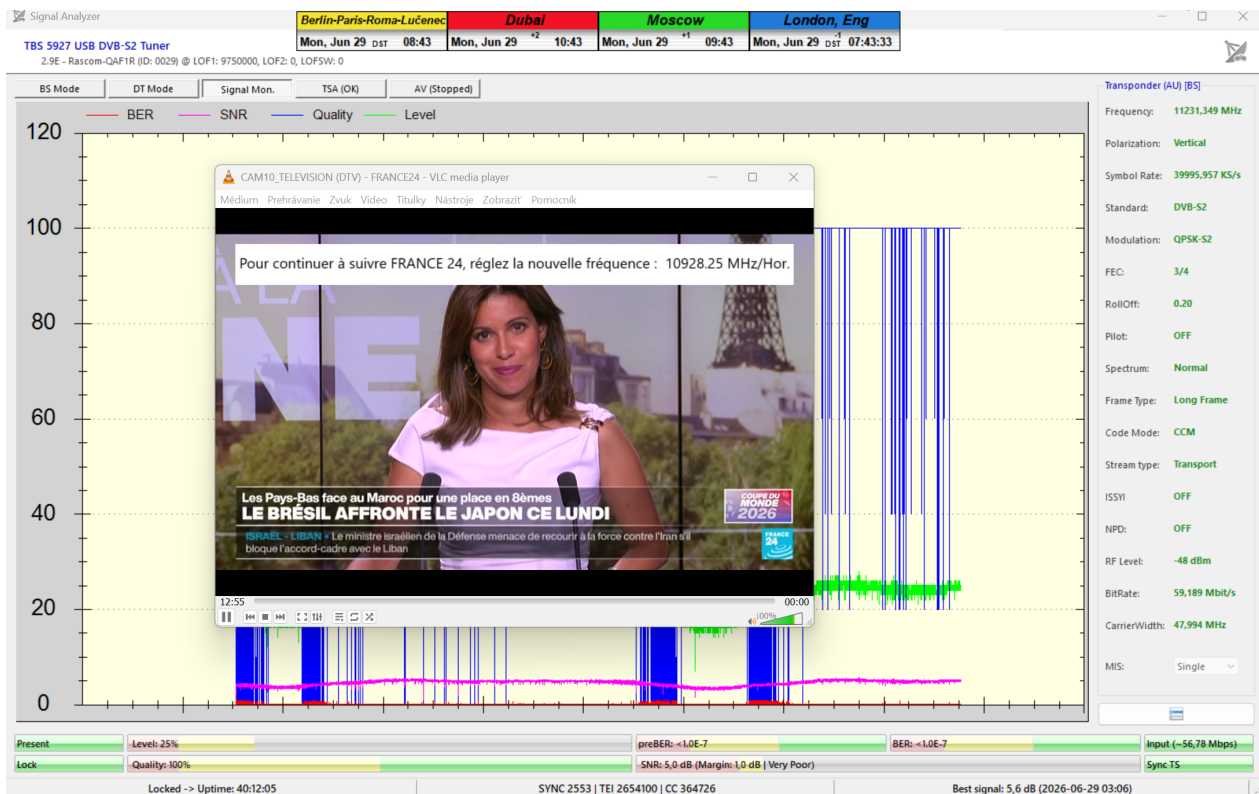


Рис. 3 — Живой снимок с приёмной станции во время одного из окон стабильного приёма (медиаплеер VLC, канал FRANCE24), Uptime 40:12:05 ч, SNR 5,0 дБ. Снимок документирует плавное изображение без видимой деградации в интервале выше порога.