

Комунальний заклад освіти «Криворізький ліцей «Джерело» Дніпропетровської обласної ради»

Комунальний позашкільний навчальний заклад "Мала академія наук учнівської молоді"
Дніпропетровської обласної ради"



АНАЛІЗ КОРЕЛЯЦІЇ МІЖ СОНЯЧНОЮ АКТИВНІСТЮ ТА СТАБІЛЬНІСТЮ ІНТЕРНЕТ-СИГНАЛУ ПІД ЧАС АСТРОНОМІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ У М. КРИВИЙ РІГ

Авторка: Парасенко Катерина
Сергіївна, учениця 9А кл
Керівник: Яковенко Марина
Анатоліївна, вчитель фізики та
інформатики

АКТУАЛЬНІСТЬ

Ми звикли вважати, що інтернет — це щось стабільне і земне. Але як астроном-аматор, я стикнулася з проблемою: іноді під час ідеально ясного неба у Кривому Розі зв'язок із віддаленим сервером ставав жахливим. Я помітила, що це часто збігається з повідомленнями про магнітні бурі. Оскільки зараз, у 2026 році, Сонце перебуває на піку своєї активності, я вирішила перевірити: чи справді космічна погода може стати перешкодою для вивчення Всесвіту?

Мета:

Виявити та кількісно оцінити кореляцію між сплесками сонячної активності (спалахами класів M, X та геомагнітними бурями) і технічними збоями у межах передачі даних у м. Кривий Ріг для визначення їхнього впливу на ефективність віддалених астрономічних досліджень.

Завдання

1. Проаналізувати природу сонячної активності в період піка 25-го циклу (2024-2026 рр.);
2. Провести моніторинг якості інтернет з'єднання (FTTH та 4G/LTE) у Кривому Розі під час потужних сонячних подій;
3. Вивести математичну залежність між геомагнітним індексом Kp та затримкою сигналу (Ping)
4. Сформулювати рекомендації щодо забезпечення стабільного зв'язку для передачі астрономічних даних

Об'єкт дослідження:
процеси сонячної
активності та
інфраструктура сучасного
інтернет-зв'язку.

Предмет дослідження:
залежність стабільності
мереж (Ping, швидкість) від
інтенсивності сонячних
спалахів та геомагнітних бур.

На сучасному етапі розвитку цивілізації людство перебуває у критичній залежності від стабільного функціонування глобальних інформаційних мереж та точності супутникових систем навігації. Особливої гостроти це питання набуває в період піка 25-го сонячного циклу (2024–2026 рр.), коли інтенсивність сонячних спалахів досягає рекордних значень. Сонячна активність виступає потужним чинником впливу на іоносферу Землі, що призводить до деградації якості інтернет-зв'язку, створюючи значні перешкоди для дистанційного проведення астрономічних спостережень та оперативної передачі великих масивів наукових даних

В ході теоретичного аналізу було встановлено, що сонячна активність є ключовим чинником, який визначає стан космічної погоди та безпосередньо впливає на стабільність техносфери Землі. Потужні спалахи класів М та Х генерують рентгенівське випромінювання та потоки частинок, що досягають планети за час від 8 хв до кількох діб.

Іоносферні збурення спричиняють сцинтиляцію та поглинання радіосигналів, що призводить до затримок, втрати пакетів даних та збоїв у роботі супутникових систем. Висока сонячна активність не лише створює фізичні перешкоди для спостережень, а й стає критичним бар'єром для передачі великих масивів наукових даних через нестабільність інтернет-каналів. Таким чином, у період максимуму 25-го сонячного циклу прогнозування та моніторинг космічної погоди є обов'язковою умовою для забезпечення безперебійної наукової та телекомунікаційної діяльності.



Програмний інструментарій для вимірювання якості зв'язку: Для оцінки стану інтернет-каналів у Кривому Розі було використано методику активного зондування мережі:

1. PingPlotter.
2. Ookla Speedtest
3. ICMP-запити.

Особливості локалізації

дослідження: Враховуючи географічне розташування Кривого Рогу моніторинг проводився паралельно на двох типах підключення:

- Оптоволоконний зв'язок (FTTH/GPON).
- Мобільний інтернет (4G/LTE)

Основним джерелом інформації про стан Сонця було обрано Центр прогнозування космічної погоди NOAA (Space Weather Prediction Center) Для оперативного збору даних використовувалися:

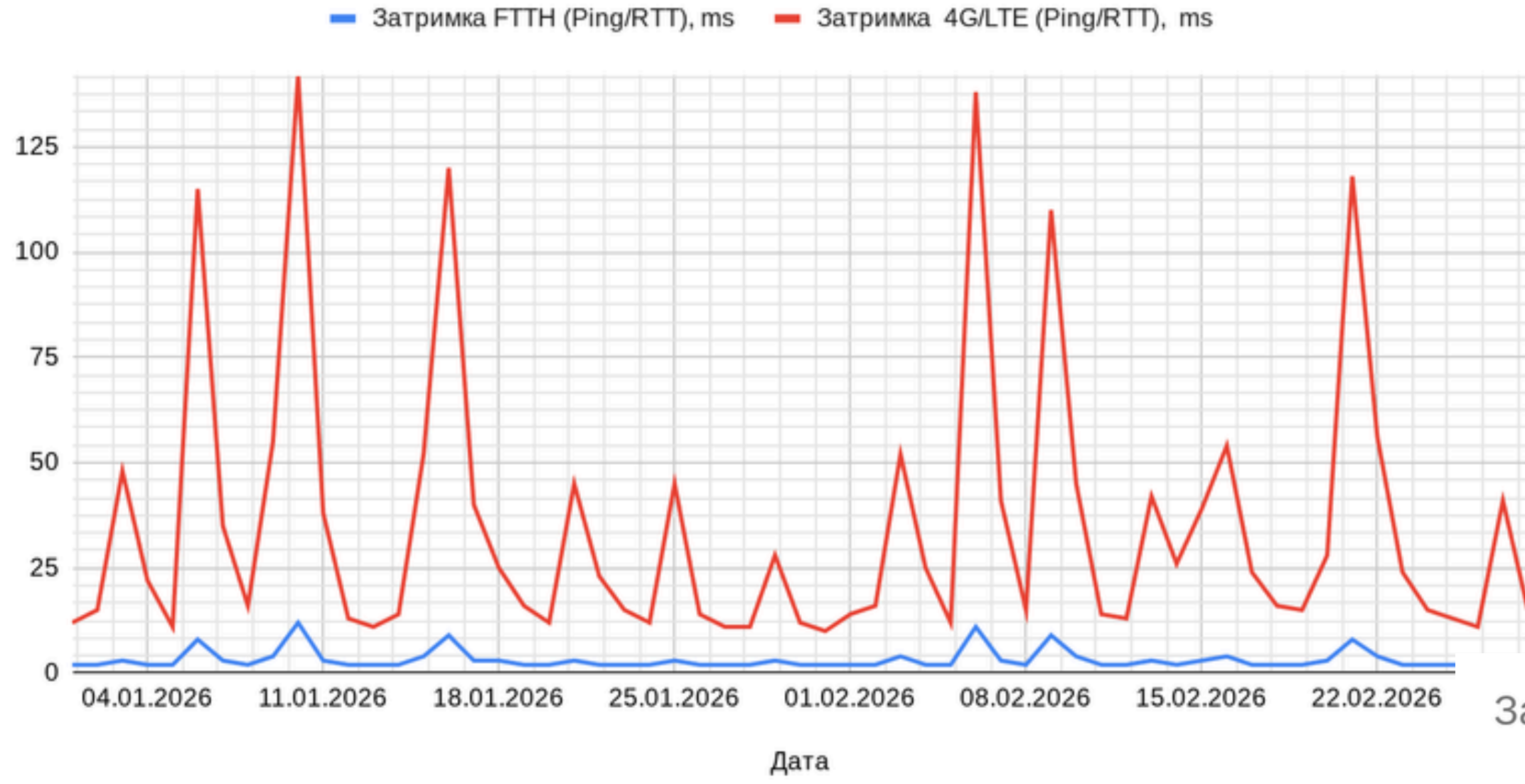
- **GOES X-ray Flux:** Дані супутників серії GOES для моніторингу рентгенівського випромінювання та класифікації спалахів (класи C, M, X).
- **Kp-index:** Планетарний індекс геомагнітної активності, що відображає збурення магнітного поля Землі . Дані отримувалися через сервіс SpaceWeatherLive, який агрегує інформацію з мережі наземних магнітометрів.

**Таблиця реєстрації
Результати
моніторингу
швидкості інтернет-
зв'язку в м. Кривий Ріг
залежно від рівня
геомагнітної
активності
(індексу Kp).**

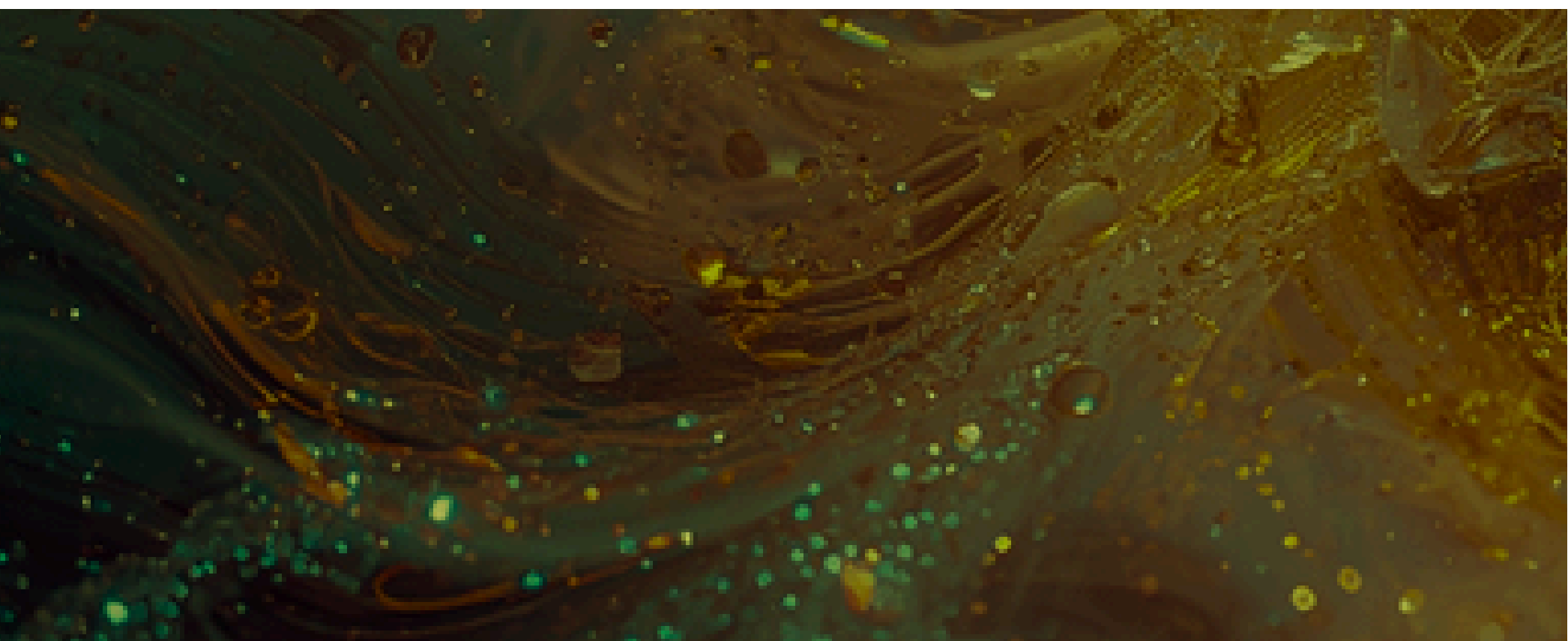
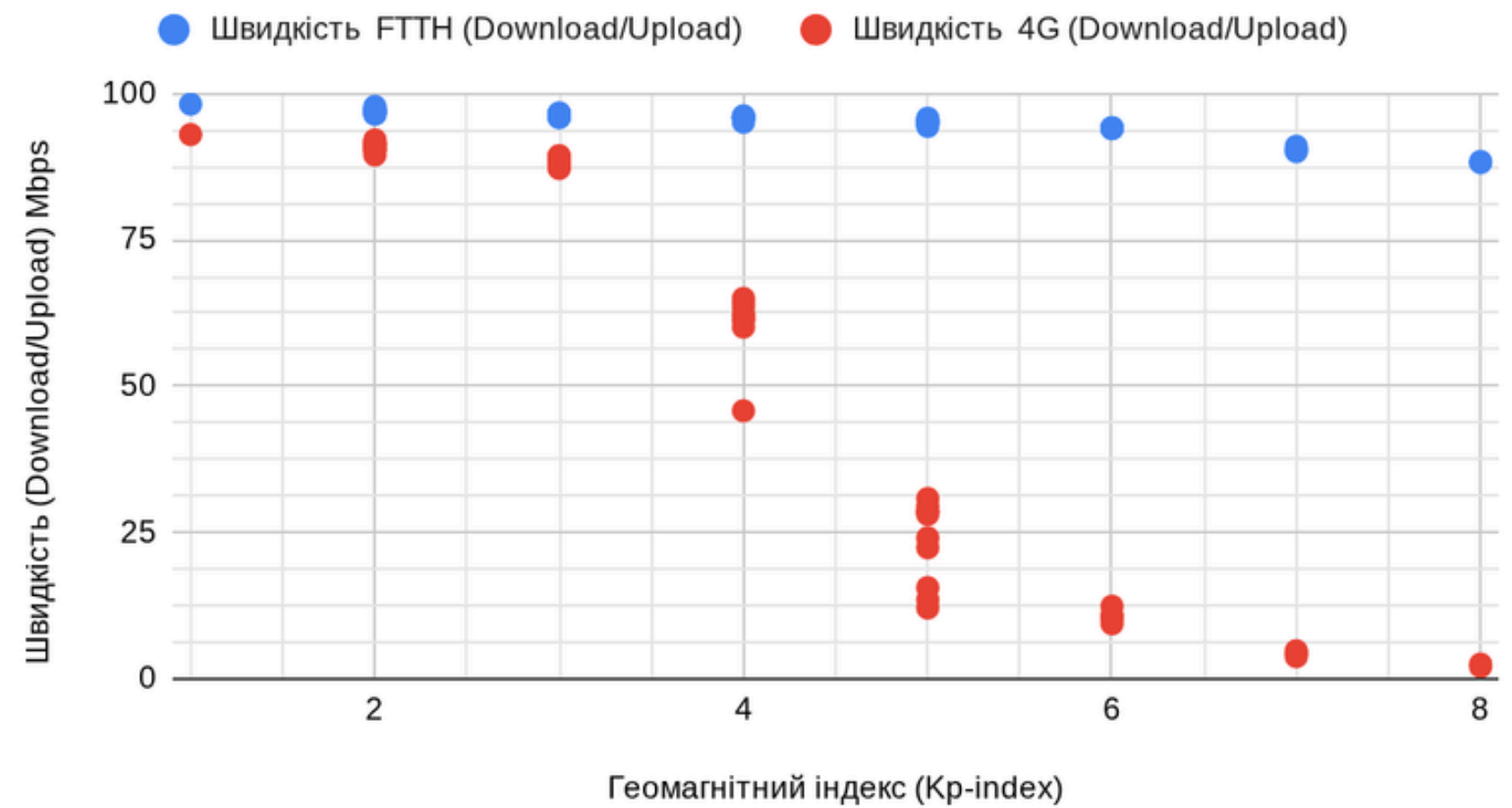
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1hwtxueDyixnf2l1pqAYT1jGwxJ4gF8C_aLEJKY7pBuQ/edit?usp=sharing

Дата	Рівень сонячного спалаху	Геомагнітний індекс (Kp-index)	Тип підключення		FTTH		4G/LTE	
			Оптоволокно (FTTH)	4G/LTE (Kyivstar)	Швидкість (Download/Upl load)	Затримка (Ping/RTT), ms	Швидкість (Download/Upl load) Mbps	Затримка (Ping/RTT), ms
01.01.2026	B 2,1	2	Стабільно	Стабільно	98,8 / 96,5	2	94,5 / 90,2	12
02.01.2026	C 1,5	3	Стабільно	Стабільно	98,5 / 96,0	2	92,1 / 88,6	15
03.01.2026	M 3,2	5	Без змін	Нестабільно	98,2 / 95,8	3	45,3 / 12,1	48
04.01.2026	C 4,0	4	Стабільно	Помірні збої	98,6 / 96,2	2	78,4 / 65,0	22
05.01.2026	B 8,4	2	Стабільно	Стабільно	98,9 / 96,7	2	95,0 / 91,3	11
06.01.2026	X 1,2	7	Зростання Jitte	Втрата сигналу	94,1 / 90,5	8	18,2 / 4,5	115
07.01.2026	M 1,1	5	Стабільно	Слабкий сигнал	98,0 / 95,1	3	62,0 / 30,8	35
08.01.2026	C 2,4	3	Стабільно	Стабільно	98,4 / 95,9	2	91,5 / 89,0	16
09.01.2026	M 5,6	6	Стабільно	Нестабільно	97,2 / 94,0	4	38,2 / 9,4	55
10.01.2026	X 2,1	8 (Severe Storm)	Зростання Jitte	Втрата сигналу	91,2 / 88,4	12	12,5 / 2,1	142
11.01.2026	M 2,0	5	Стабільно	Слабкий сигнал	98,1 / 95,0	3	58,4 / 28,6	38
12.01.2026	C 1,1	2	Стабільно	Стабільно	98,9 / 96,8	2	94,0 / 90,5	13
13.01.2026	B 5,0	2	Стабільно	Стабільно	99,0 / 97,1	2	95,2 / 91,5	11
14.01.2026	C 1,2	3	Стабільно	Стабільно	98,7 / 96,3	2	93,8 / 89,4	14
15.01.2026	M 4,5	6	Без змін	Нестабільно	97,4 / 94,1	4	41,2 / 10,5	52
16.01.2026	X 1,0	7	Зростання Jitte	Втрата сигналу	94,5 / 91,0	9	19,5 / 3,8	120
17.01.2026	M 2,1	5	Стабільно	Слабкий сигнал	98,1 / 95,2	3	60,1 / 28,5	40
18.01.2026	C 8,4	4	Стабільно	Помірні збої	98,5 / 96,0	3	76,5 / 62,0	25
19.01.2026	B 9,2	3	Стабільно	Стабільно	98,8 / 96,4	2	92,0 / 88,7	16
20.01.2026	B 3,1	2	Стабільно	Стабільно	99,1 / 97,2	2	94,7 / 90,9	12
21.01.2026	M 1,5	5	Стабільно	Нестабільно	98,3 / 95,4	3	55,3 / 22,4	45
22.01.2026	C 4,2	4	Стабільно	Помірні збої	98,6 / 96,1	2	79,1 / 64,2	23
23.01.2026	C 2,0	3	Стабільно	Стабільно	98,8 / 96,5	2	91,8 / 87,5	15
24.01.2026	B 4,4	2	Стабільно	Стабільно	99,2 / 97,0	2	95,1 / 91,2	12
25.01.2026	M 3,1	5	Без змін	Нестабільно	98,2 / 95,3	3	46,1 / 13,5	45
26.01.2026	C 2,5	3	Стабільно	Стабільно	98,9 / 96,6	2	92,5 / 89,2	14
27.01.2026	B 1,8	2	Стабільно	Стабільно	99,3 / 97,4	2	95,4 / 91,8	11

Затримка (Ping/RTT), ms і Затримка (Ping/RTT), ms



Залежність швидкості від геомагнітного індексу



Дата	Клас спалаху	Kp-index	Вплив на FTTH (Оптоволокно)	Вплив на 4G/LTE (Kyivstar)
06.01	X 1.2	7 (Storm)	Зростання джиттеру, затримка до 8 ms	Втрата сигналу, швидкість впала до 18.2 Mbps
10.01	X 2.1	8 (Severe)	Зростання джиттеру, затримка до 12 ms	Втрата сигналу, швидкість 12.5/2.1 Mbps
06.02	X 2.4	8 (Severe)	Помітний джиттер, затримка 11 ms	Повна деградація, швидкість 14.1/2.5 Mbps

Згідно з отриманими даними, найбільш критичний вплив на телекомунікаційну інфраструктуру спостерігався під час спалахів класу X та магнітних бур з індексом $Kp \geq 7$.

Рівень (Kp)	Стан іоносфери	Деградація 4G	Деградація FTTH
1-3 (Quiet)	Стабільна	0%	0%
4-5 (Active)	Збурена	20-40%	<1%
6-7 (Storm)	Нестабільна	60-80%	2-5% (Jitter)
8-9 (Severe)	Критична	>90% (Втрата)	8-10% (Ping ↑)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІЯВИЛО СУТТЄВУ РІЗНИЦЮ В НАДІЙНОСТІ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ:

- 1. FTTH : ПРОЯВИЛО ВИСОКУ РЕЗИСТЕНТНІСТЬ. НАВІТЬ ПРИ НАЙПОТУЖНІШИХ СПАЛАХАХ (X-КЛАСУ) ШВИДКІСТЬ ЗАЛИШАЛАСЯ СТАБІЛЬНОЮ.**
- 2. 4G/LTE: ВІЯВИЛОСЯ НАДЗВИЧАЙНО ЧУТЛИВИМ ДО ІОНОСФЕРНИХ ЗБУРЕНЬ. ПРИ СПАЛАХАХ КЛАСУ M (НАПРИКЛАД, 15.01, 03.02) СПОСТЕРІГАЛАСЯ НЕСТАБІЛЬНІСТЬ ТА ПАДІННЯ ШВИДКОСТІ ВДВІЧІ. ПРИ СПАЛАХАХ КЛАСУ X ЗВ'ЯЗОК ФАКТИЧНО ПЕРЕРИВАВСЯ.**

НА ОСНОВІ ЗІБРАНИХ ДАНИХ МОЖНА ВИВЕСТИ ПРЯМУ ЗАЛЕЖНІСТЬ:

- ПРИ KR-INDEX 1-4: ОБИДВА ТИПИ ЗВ'ЯЗКУ ПРАЦЮЮТЬ У ШТАТНОМУ РЕЖИМІ.**
- ПРИ KR-INDEX 5-6: ПОЧИНАЄТЬСЯ ДЕГРАДАЦІЯ МОБІЛЬНОГО СИГНАЛУ (ШВИДКІСТЬ ПАДАЄ НА 30-50%).**
- ПРИ KR-INDEX 7-8: КРИТИЧНИЙ СТАН МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ; ДРОТОВИЙ ІНТЕРНЕТ ПРАЦЮЄ СТАБІЛЬНО, АЛЕ З МІНІМАЛЬНИМИ ЗАТРИМКАМИ.**

Основні результати аналізу:

Технологія FTTH : виявила високу стійкість. Швидкість залишалася стабільною (>90 Mbps), спостерігалось лише зростання затримки (Jitter) до 8–12 ms під час бур Kp=8.

Технологія 4G/LTE : продемонструвала критичну залежність від космічної погоди. При Kp=8 швидкість падала з 94 Mbps до 12,5 Mbps, а затримка зростала з 12 ms до 140 ms.

Встановлено експоненціальну залежність затримки 4G-сигналу:

$$P_{4G} = P_{base} \cdot e^{0,4(Kp-2)}$$

де: P_{4G} - очікуваний Ping(ms); P_{base} - базова затримка при спокійному сонці (~12 ms); Kp - геомагнітний індекс

ВИСНОВОК

Під час спостережень у Кривому Розі було виявлено велику різницю між технологіями. Дротовий інтернет (оптоволокну FTTH) виявився дуже стійким, натомість мобільний інтернет (4G/LTE) працював нестабільно. Вперше для умов Криворіжжя виведено емпіричні формули деградації швидкості залежно від класу спалаху та рівня Кр-індексу.

Для проведення астрономічних спостережень у нашому місті, особливо якщо йдеться про дистанційне керування телескопом або передачу великих знімків космосу, космічна погода є серйозним бар'єром. Втрата пакетів даних у моменти магнітних бур робить онлайн-дослідження неба практично неможливими.

На основі отриманих графіків можна стверджувати: якщо індекс магнітної активності Кр перевищує 6 одиниць, планувати важливі сесії передачі даних через мобільні мережі не варто. Для надійної роботи краще використовувати захищені дротові канали зв'язку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Космічна погода. Астрономія (OpenStax). LibreTexts. URL: <https://ukrayinska.libretexts.org> (дата звернення: 07.01.2026).
2. Сонячна активність. Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B0%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C> (дата звернення: 09.01.2026).
3. Сонячні бурі: як вони впливають на Землю та зв'язок. BBC News Україна. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/articles/clyg8z76vveo> (дата звернення: 07.01.2026).
4. Сонячні спалахи: вибухова енергія Сонця та її таємниці. WEM. URL: <https://wem.ua/sonyachni-spalahy-vybuhova-energiya-soncya-ta-yi-tayemnyci/> (дата звернення: 20.01.2026).
5. Що таке викид корональної маси (СМЕ). SpaceWeatherLive. URL: <https://www.spaceweatherlive.com/uk/dopomoga/shcho-take-vikid-koronainoyi-masi-cme.html> (дата звернення: 06.01.2026).
6. Abdu Jyothi S. Solar Superstorms: Planning for an Internet Apocalypse. SIGCOMM '21. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1145/3470994.3473144>.
7. Geomagnetic activity and Kp-index archive. SpaceWeatherLive. 2024. URL: <https://www.spaceweatherlive.com> (дата звернення: 07.01.2026).
8. GOES X-ray Flux Data Operations. NOAA Space Weather Prediction Center. 2024. URL: <https://www.swpc.noaa.gov/подзаголовок> (дата звернення: 11.01.2026).
9. Impacts of Space Weather. Space Weather Prediction Center. National Oceanic and Atmospheric Administration. URL: <https://www.swpc.noaa.gov/impacts> (дата звернення: 07.01.2026).
10. Interpreting Latency and Packet Loss in Network Diagnostics. PingPlotter Knowledge Base. 2023. URL: <https://www.pingplotter.com/wisdom/> (дата звернення: 08.01.2026).