

ПАРАМЕТРИЧНЕ НАЛАШТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВІ РАДАРНИХ ПОКАЗНИКІВ

This work is devoted to calibrating the anomaly-detection threshold in a Sentinel-1 SAR pipeline for damage detection on agricultural land. The threshold is the control parameter that defines the binary anomaly mask and therefore the feature set of the classifier. A metric sweep over the threshold reveals a trade-off: ROC AUC favours lower values, whereas the F1-score peaks at 4.5 dB. Raising the threshold from the literature default of 2.0 dB to 4.5 dB cuts the median share of false-positive anomalous pixels on undamaged fields from 68.8% to 22.1%, matching the physical scale of local damage.

Виявлення локальних пошкоджень сільськогосподарських угідь (вирв, траншей, слідів техніки) за радарними показниками Sentinel-1 будується на попиксельному аналізі міжрічної зміни коефіцієнта зворотного розсіювання $\Delta\sigma^\circ$. Для кожного пікселя за поляризаціями VV та VH обчислюється різниця дБ-композитів моніторингового (серпень 2022 р.) та базового (серпень 2021 р.) періодів, після чого піксель визнається аномальним за умовою $|\Delta\sigma^\circ| > \tau$. Кількість таких пікселів у межах поля та їх нормована частка формують ознаки, що кодують просторовий масштаб руйнування і, як показано в попередніх дослідженнях [1], є вагомими предикторами класифікатора.

Поріг τ є керуючим параметром конвеєра, що безпосередньо визначає бінарну маску аномалій, а через неї весь простір ознак. Вибір τ є важливим аспектом дослідження, адже занижене значення насичує маску сезонним шумом, тоді як завищене значення відсіює слабковиражені пошкодження. Метою доповіді є обґрунтування процедури емпіричного калібрування цього порога й кількісне оцінювання його впливу на результат детекції.

Початкове значення $\tau = 2,0$ дБ узятو з літературних джерел [2, 3], орієнтованих на детекцію змін загального призначення. Для задачі, що розглядається, воно виявилось непридатним. Аналіз показав, що за $\tau = 2,0$ дБ медіанна частка аномальних пікселів на завідомо непошкоджених полях

сягала 68,8%. Тобто маска аномалій фактично втрачала розрізнявальну здатність, коли майже кожне поле отримувало клас «пошкоджене».

У дослідженні аналіз супутникової інформації було обмежено вузьким часовим вікном кінця серпня. Саме на цей період припадає активна фаза збиральних робіт. Зміна стану поверхні поля спричиняє зміни зворотного розсіювання порядку 2–3 дБ, які не є пошкодженнями. Поріг, нижчий за цю величину, неминуче реагує на агротехнічні зміни нарівні зі справжніми руйнуваннями. Це означає, що коректне значення τ має лежати вище, ніж смуга сезонного шуму.

Для визначення робочого порогу було перевірено значення τ у діапазоні 1,0–5,0 дБ із кроком 0,5 дБ. На кожному етапі розраховувався набір показників, які визначають поріг за чотирма різними критеріями (рис. 1).

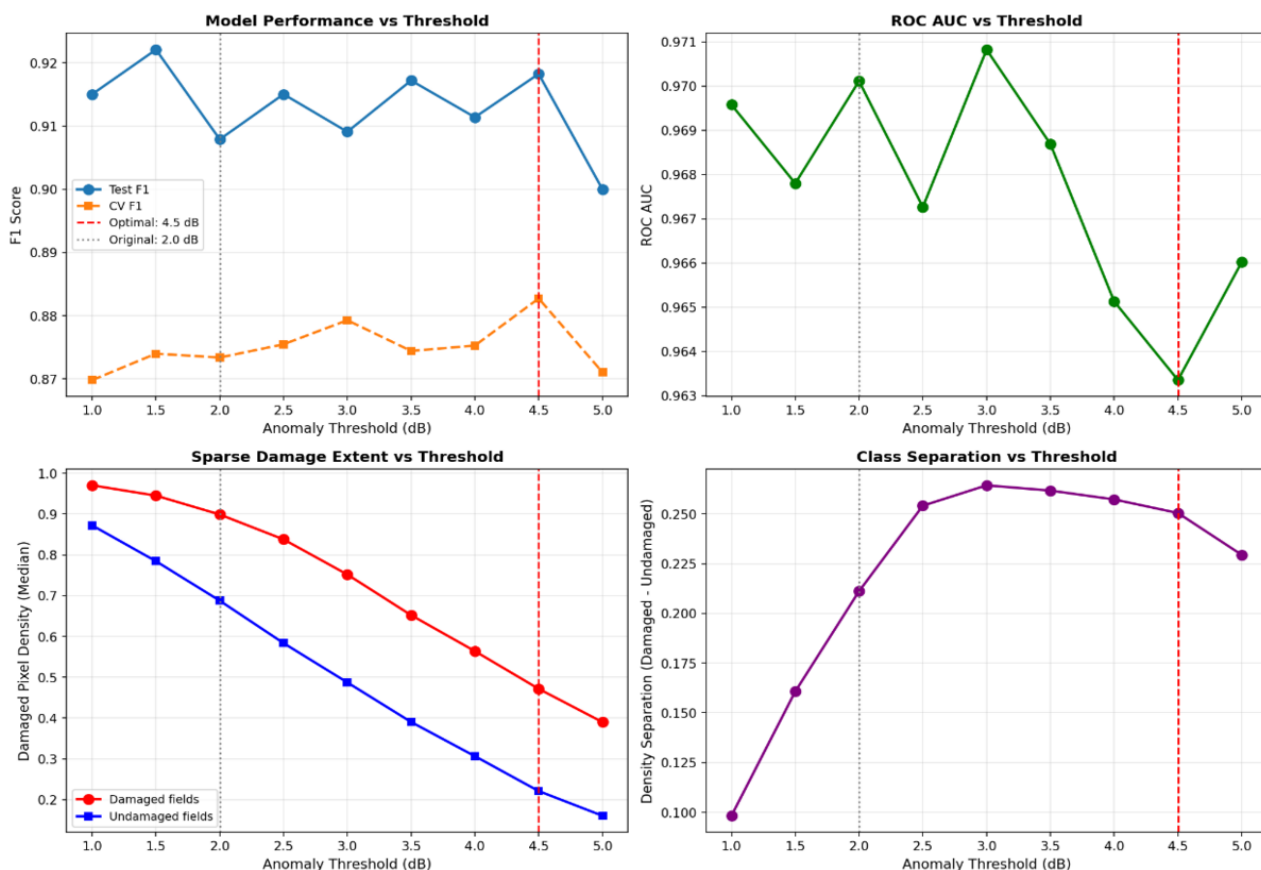


Рис. 1. Аналіз оптимізації порогового значення для детекції радарних аномалій

Перша панель відтворює залежність F1-міри (на тестовій та крос-валідаційній вибірках) від порога. Крива має виражений максимум за умови $\tau = 4,5$ дБ – саме тут досягається найкращий баланс точності й повноти бінарної класифікації.

Друга панель демонструє площу під ROC-кривою (ROC AUC). На відміну від F1, ця метрика тяжіє до нижчих значень порога. Виникає характерний

компроміс: здатність моделі до ранжування полів за ймовірністю пошкодження вища за малих τ , тоді як якість остаточного рішення класифікатора – за $\tau = 4,5$ дБ. Оскільки практичним результатом технології є саме бінарна класифікація «пошкоджене/непошкоджене», а не ранжування, за цільову метрику прийнято F1, і робочим значенням обрано 4,5 дБ.

Третя панель ілюструє медіанну щільність аномальних пікселів окремо для пошкоджених і непошкоджених полів. Зі зростанням τ обидві криві спадають, проте крива непошкоджених полів спадає швидше. Це означає, що підвищення порога прибирає насамперед фоновий сезонний шум, зберігаючи в цьому разі щільні ділянки реальних пошкоджень.

Четвертий графік демонструє різницю щільності аномалій між пошкодженими та непошкодженими полями, тобто наскільки добре ця єдина ознака розділяє класи. Найкраще розділення досягається за 3,0 дБ – трохи нижче, ніж оптимум за F1. Пояснюється це тим, що остаточне рішення класифікатора спирається не лише на щільність аномалій, а на весь набір ознак. Тому робоче значення порога обрано за максимумом F1, а не за точкою найкращого розділення класів за однією ознакою.

Зміщення порога з 2,0 дБ до 4,5 дБ знизило медіанну частку хибнопозитивних аномальних пікселів на непошкоджених полях з 68,8% до 22,1%. Це безпосередньо зменшило кількість хибних спрацьовувань класифікатора й привело масштаб маркованих аномалій відповідно до фізичного масштабу локальних пошкоджень, які займають лише 2–10% площі поля.

Література

1. Світенко Г.М., Романенков Ю. О. Автоматизоване виявлення пошкоджень сільськогосподарських земель на основі даних Sentinel-1 та ансамблевих методів машинного навчання. Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тези доп. шістнадцятої міжнар. наук.-техн. конф., Харків 2026. С. 47–48.

2. Zhang Y., Liu J., Shen W. A Review of Ensemble Learning Algorithms Used in Remote Sensing Applications. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, No. 17. Art. 8654. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12178654>

3. Sadeh Y., Wagner J., Nair S. S., Oliynyk O., Belles E., Bibih A. et al. National-scale in-season field boundaries of Ukraine using remote sensing. *Scientific Data*. 2025. Vol. 12, No. 1. Art. 833. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-025-05190-7>