

Р.Б. Гаврилюк, к.геол.н.

Інститут геологічних наук НАН України

В.М. Балінський

Національний екологічний центр України

В.В. Гулевець, аспірант

Міжрегіональна академія управління персоналом

Є.О. Бовсуновський, к.т.н.

Національний університет «Київський авіаційний інститут»

МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ У ВИЗНАЧЕННІ ШКОДИ, ЗАВДАНОЇ РОСІЙСЬКОЮ АГРЕСІЄЮ АЗОВО-ЧОРНОМОРСЬКОМУ БАСЕЙНУ

Анотація. Російська повномасштабна військова агресія проти України визначила безпрецедентний вплив на екосистеми Азово-Чорноморського морського басейну. Особливу загрозу становлять випадки нафтового забруднення, що здатні поширюватися на значні відстані і становлять загрозу як для морських, так і для прибережних екосистем. В роботі висвітлено результати застосування методів дистанційного зондування у дослідженнях таких забруднень, які є фактично безальтернативними в умовах триваючої агресії. Вони дозволяють документувати наслідки впливу, що є важливим елементом в оцінюванні довгострокових ризиків забруднення.

Ключові слова: морські екосистеми, мазутне забруднення, війна, дистанційне зондування.

Сучасна російська війна проти України принесла безпрецедентні впливи на довкілля, оцінювання яких має низку суттєвих викликів, серед яких і методичні [1]. Не є винятком і морські акваторії України, які опинилися в епіцентрі військових дій і продовжують зазнавати впливу впродовж вже більше 4 років повномасштабної агресії.

Супутникові методи дистанційного зондування Землі є одними з ключових інструментів оцінки екологічного стану морських акваторій, зокрема в умовах обмеженого доступу до районів дослідження. Їх значення суттєво зростає під час воєнних дій, коли традиційні методи спостереження є ускладненими або неможливими.

У період російської повномасштабної військової агресії проти України Азово-Чорноморський басейн зазнає значного впливу. Пошкодження портової інфраструктури, аварійні ситуації з морськими суднами, а також функціонування так званого «тіньового флоту» створюють підвищені ризики виникнення нафтових та нафтопродуктових забруднень морських а також прибережних екосистем. У цих умовах супутниковий моніторинг виступає головним джерелом оперативної та об'єктивної інформації про стан морського середовища.

Дослідження, проведені протягом останніх десятиліть, продемонстрували ефективність методів SAR (радіолокатор із синтезованою апертурою) у виявленні розливів нафти на поверхні моря. Було доведено, що розливи нафти можна надійно ідентифікувати на зображеннях SAR завдяки ефекту загасання коротких хвиль у

тонких плівках нафти. Важливим досягненням стало впровадження супутникової платформи Sentinel-1, яка забезпечує регулярне охоплення водних територій та високу просторову роздільну здатність. Водночас оптичні датчики Sentinel-2 виявилися цінними інструментами для уточнення меж забруднення та верифікації об'єктів на поверхні.

Запропонована інтегрована методика трасування нафтових шлейфів на основі поєднання даних Sentinel-1 та Sentinel-2 [2, 3] продемонструвала високу ефективність у задачах виявлення та локалізації джерел забруднення. Однак подальші дослідження показали, що інтерпретація SAR-знімків може бути суттєво ускладнена за певних умов, що призводить до появи шумових ефектів, хибнопозитивних структур або маскування реальних забруднень.

Доступними джерелами супутникових даних є програми Copernicus Sentinel-1 та Sentinel-2. Обробка та аналіз супутникових даних виконуються із використанням платформи Copernicus Browser (EO Browser), що забезпечує доступ до архівів супутникових спостережень та інструментів їх візуалізації.

Радіолокаційні дані Sentinel-1 (С-діапазон, режим IW, поляризації VV та VH) застосовуються для виявлення ділянок із пониженим рівнем зворотного розсіювання, які потенційно можуть відповідати поверхневим плівковим забрудненням, зокрема нафтового походження. Обробка SAR-знімків здійснюється у стандартному вигляді без глибокої радіометричної корекції, із використанням візуального аналізу просторових структур та контрасту сигналу.

Оптичні дані Sentinel-2 рівня L2A використовуються як незалежне джерело для верифікації результатів інтерпретації SAR-знімків. Аналіз проводиться із застосуванням стандартних та розширених візуалізаційних підходів, зокрема True Color, Highlight Optimized Natural Color, SWIR-композицій, а також спеціалізованих скриптів (False Color Urban, Magic Eyes, Index Visualization), що дозволяють підсилювати спектральні відмінності тонких плівкових утворень.

Методика дослідження базується на порівняльному аналізі радіолокаційних і оптичних знімків одних і тих самих сцен із метою оцінки достовірності виявлення нафтових забруднень. Особливу увагу слід приділяти аналізу впливу метеорологічних та гідрофізичних факторів, зокрема вітрового режиму, хмарності та температурної стратифікації приповерхневого шару, на формування радіолокаційного сигналу та можливість інтерпретації отриманих зображень.

Важливим елементом коректного використання даних дистанційного зондування є визначення обмеження застосування радіолокаційних супутникових знімків у прибережних акваторіях, що, зокрема, спричинені маскуванням реальних нафтових забруднень за умов термічної стратифікації приповерхневого шару.

На прикладі наслідків потрапляння нафтопродуктів на водну поверхню в акваторії Цемеської бухти (м. Новоросійськ) у першій половині квітня 2026 року, встановлено, що за певних метеорологічних умов (підвищена вітрова активність, щільна хмарність, температурна стратифікація приповерхневого шару) SAR-зйомка може втрачати інформативність, формувати хибнопозитивні сигнали, не відображати реальні нафтові шлейфи або призводити до їх повного маскування.

Отримані результати свідчать про наявність принципових обмежень використання радіолокаційних даних Sentinel-1 для виявлення поверхневих нафтових забруднень у прибережних акваторіях, особливо в умовах змінних

метеорологічних процесів. Це пояснюється залежністю радіолокаційного сигналу від мікроспорсткості водної поверхні.

Встановлено, що хоча інтегрований підхід на основі Sentinel-1 та Sentinel-2 забезпечує високу ефективність виявлення та трасування забруднень, використання SAR як самостійного джерела даних є недостатнім. Отримані результати демонструють, що без обов'язкової верифікації за допомогою оптичних знімків або додаткових метеорологічних даних існує значний ризик як пропуску реальних забруднень, так і хибного їх виявлення.

Отримані результати уточнюють межі застосування супутникових методів моніторингу та підкреслюють необхідність комплексного підходу до аналізу морських забруднень.

Дослідження виконано за підтримки проєкту «OIL-TRACE Black Sea: Remote and Field Monitoring of Oil Pollution Dynamics in the Kerch Strait and the Tuzly Lagoons Region» («Дистанційний та польовий моніторинг динаміки нафтового забруднення в Керченській протоці та районі Тузлівських лиманів»), що впроваджується за сприяння Німецького федерального фонду охорони навколишнього середовища (Deutsche Bundesstiftung Umwelt).

Список використаної літератури

1. Гаврилюк Р.Б. Виклики в оцінці наслідків російської агресії проти України для довкілля. Збірник наукових праць Міжнародної Карпатської Школи: зимова сесія (21-25 лютого 2024 року): 2-ге вид., доповн. Косів: Наукове товариство імені Шевченка, 2024. С. 73–76.

2. Balinsky V., Havryliuk R., Hulevets V., Timofti M. (2025). Integrated methodology for tracing oil slicks using Sentinel-1 and Sentinel-2 data: backward modelling, meteorological correction, and visualization analysis. Proceedings of the XXV International Science Conference “Ecology. Human. Society”, Kyiv, Ukraine, pp. 88–96. <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2025.332100>

3. Balinsky V.M., Havryliuk R.B., Hulevets V.V. (2025) Methodology for backward tracing of oil slicks to underwater spill sources. Biological, chemical, and environmental threats during war: proceedings of the I International Scientific and Practical Conference, Lviv, May 22, 2025. Lviv: LSULS, p. 115-119.