

Платформа екологічних доказів: інтерактивна карта забруднення та шкоди для Чорного моря

Науково-методологічна основа геопросторового документування, мультисенсорної верифікації, польових доказів і медіаархівування

Vladyslav Balinsky (ORCID 0009-0007-5036-7897)

Ruslan Havryliuk (ORCID 0000-0002-6465-9440)

Ivan Rusev (ORCID 0000-0003-4993-3672)

Робочий науково-методологічний звіт, версія 4.0 - 27 липня 2026 року

Реалізацію платформи та підготовку звіту підтримує Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) — Німецький федеральний екологічний фонд, номер проекту 30025/100.

Поточна проектна основа: *Remote and Field Monitoring of Oil Pollution Dynamics in the Kerch Strait and the Tuzly Lagoons Region.*

Інституційні учасники: ГО «Зелений лист»; науково-дослідний відділ НПП «Тузлівські лимани»; Національний екологічний центр України; Міжнародна благодійна організація «Екологія-Право-Людина» щодо визначених аналітичних даних.

Статус документа. Звіт подає науково-методологічну основу платформи, її поточні робочі приклади та принципи подальшого розвитку. Це робоча публікація для наукового обговорення й наступного доповнення.

Зміст

Анотація

1. Вступ і сфера застосування
2. Архітектура платформи та модель доказів
3. Джерела даних, походження та наукова відповідальність
4. Інтегрована методика
5. Робочі приклади
6. Розширення, контроль якості та управління
7. Застосування, обмеження й сталість
8. Висновки

Додаток А. Поточний реєстр опублікованих доказових об'єктів

Додаток В. Мінімальна схема метаданих

Додаток С. Матриця внеску та відповідальності

Додаток D. Наукова апробація та підтверджувальні матеріали

Анотація

Платформа екологічних доказів є живою та розширюваною геопросторовою системою для збирання, структурування, верифікації, публікації й довготривалого збереження доказів морського забруднення та екологічної шкоди, зокрема наслідків російської агресії проти України. Платформа пов'язує супутникові спостереження, польові дані, географічні координати, фотографії, медіафайли, зразки, лабораторні документи, біологічні спостереження й аналітичні реконструкції з окремими картованими об'єктами. Кожен об'єкт представлено стандартною двомовною доказовою карткою, у якій зазначено, що саме спостерігали, яким способом отримано інформацію, хто її створив або надав, яка невизначеність залишається та які джерела може відкрити користувач.

Платформу розроблено у відповідь на практичну потребу працювати за умов обмеженого доступу, воєнних ризиків, неповного офіційного моніторингу та швидкої зміни стану довкілля. Поточна редакція містить три повністю сформовані робочі приклади: катастрофу танкерів «Волгонефть-212/239» і мазутне забруднення; VO-1 — розлив рослинної олії, пов'язаний із портом Південний; VO-2 — розлив рослинної олії, пов'язаний із портом Чорноморськ. Ці приклади перевіряють різні поєднання реконструкції джерела, мультисенсорного супутникового аналізу, картування перенесення вздовж узбережжя, польової верифікації, відбору проб, інтеграції лабораторних результатів і документування біологічних наслідків. Вони є апробацією повторно застосовуваної методології, а не остаточними межами платформи.

Центральним методичним компонентом є інтегроване використання радіолокаційних даних Sentinel-1 та оптичних знімків Sentinel-2. Опублікована авторами методика поєднує морфологічний аналіз поверхневих плям, виявлення стійких зон «темного ядра», зворотне трасування, метеорологічну й гідродинамічну корекцію та оптичну верифікацію поверхневих об'єктів. Польові дослідження перевіряють супутникову інтерпретацію за допомогою GPS-прив'язок, фотографій, зразків і біологічних доказів. Платформа окремо зберігає прямі спостереження, інтерпретації та аналітичні реконструкції, роблячи невизначеність видимою, а не прихованою.

Результатом є водночас наукове середовище моніторингу та геоприв'язане медіасховище й база доказів. Платформа може підтримувати дослідження, управління природоохоронними територіями, суспільну комунікацію, журналістські розслідування, експертну оцінку та впорядковане збереження матеріалів, потенційно важливих для адміністративних або правових процесів. Водночас процесуальне чи судове використання потребує додаткових процедур автентифікації, ланцюга зберігання, лабораторної простежуваності й експертної валідації.

Ключові слова: Чорне море; екологічні докази; морське забруднення; Sentinel-1; Sentinel-2; радіолокатор із синтезованою апертурою; нафтова пляма; мазут; розлив рослинної олії; польова верифікація; екологічний моніторинг; доказове картування; геоприв'язане медіасховище; підводне джерело забруднення.

1. Вступ і сфера застосування

1.1 Науковий та операційний контекст

Чорне море зазнає взаємопов'язаного тиску від судноплавства, портової й промислової інфраструктури, річкового стоку, аварій, російських ударів, пошкоджених суден і мобілізації забруднювачів унаслідок бойових дій. Під час війни найбільш важливі для дослідження території можуть бути недоступними, небезпечними або контрольованими противником. Суднові дослідження затримуються чи стають неможливими, офіційна інформація може бути неповною, а докази зникають унаслідок вивітрювання, поховання, розсіювання, прибирання або втрати онлайн-публікацій.

За таких умов екологічне документування має одночасно виконувати кілька функцій: швидко виявляти потенційну подію, зберігати її хронологію, утримувати первинні медіаматеріали, відділяти спостереження від висновку, підтримувати подальшу перевірку та залишатися зрозумілим для користувачів, які не брали участі в початковому аналізі. Звичайної тематичної карти недостатньо, оскільки вона показує просторовий результат, але не обов'язково зберігає логіку, джерела, невизначеність і відповідальність, що стоять за кожним об'єктом.

Тому платформа розглядає картування лише як один компонент ширшого доказового процесу. Точка, лінія або полігон є не просто символом, а входом до пакета доказів: дати, координат, методу спостереження, зображень, аналітичних документів, авторства, походження даних, інтерпретації та обмежень. Така конструкція перетворює карту з кінцевої ілюстрації на активний робочий документ, який можна перевіряти, виправляти й розширювати.

Система сформувалася під час документування конкретних подій забруднення, але її архітектура навмисно ширша. Нові інциденти можуть стосуватися мазуту, нафтопродуктів, рослинних олій, вантажів, продуктів горіння, уламків, забруднених донних відкладів, загибелі організмів, пошкодження оселищ або інших форм екологічного тиску. Тип події може змінюватися, тоді як внутрішня логіка залишається сталою.

Платформа є вибірковою, а не вичерпною. Поточна географічна та інституційна спроможність найбільша для Керченської протоки, північно-західної частини Чорного моря, Одеського узбережжя, НПП «Тузлівські лимани» та Жебріянської коси. Інші сектори, зокрема Кавказьке узбережжя та ширший Чорноморський басейн, можуть бути включені за наявності надійних спостережень, аналітичної спроможності та відповідальних партнерів. Відсутність події на платформі не можна трактувати як доказ відсутності забруднення.

Платформа прямо працює в контексті агресії Російської Федерації проти України та зберігає матеріали, які можуть бути важливими для наукової оцінки, розслідувань злочинів проти довкілля, проваджень щодо екоциду, а також майбутніх вимог про компенсацію і репарації. Водночас карта не здійснює юридичної кваліфікації окремих подій: її завданням є збереження походження, методів, невизначеності та зв'язків між доказами.

1.2 Мета, користувачі та межі застосування

Звіт подає наукову й методологічну основу платформи: архітектуру доказів, модель картки, мультисенсорний аналіз, локалізацію ймовірних підводних джерел, польову та лабораторну верифікацію, біологічну інтерпретацію, картографічну реалізацію, збереження медіа, авторство й управління даними. Окремо розглянуто поточні робочі приклади та процедуру додавання нових подій.

Загальною метою є розроблення й експлуатація розширюваної геопросторової системи збирання, верифікації, упорядкування, публікації та довготривалого збереження доказів морського забруднення й пов'язаної екологічної шкоди у Чорноморському регіоні.

Система має забезпечувати:

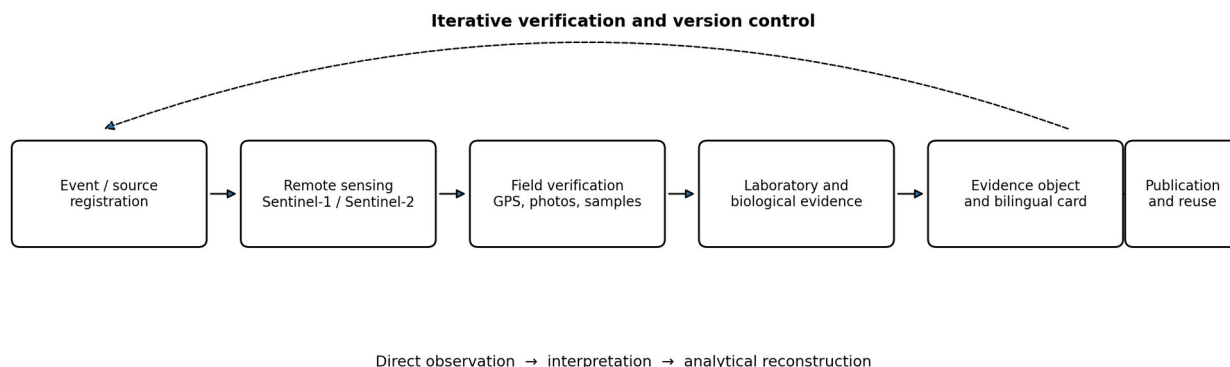
- збереження просторового й хронологічного зв'язку між джерелом забруднення, його розвитком, перенесенням і зафіксованими наслідками;
- інтеграцію дистанційних, польових, лабораторних, біологічних і медійних доказів без стирання відмінностей між ними;
- повторно застосовуваний стандарт картки для нових інцидентів;
- видимість походження та обмежень доказів;
- можливість знаходити й повторно використовувати фотографії, супутникові матеріали й документи з коректною атрибуцією;
- наукове порівняння подій і типів забруднювачів;
- ведення версійного робочого запису, який доповнюється після появи нових перевірених даних.

Платформу розраховано на екологів, працівників природоохоронних територій, фахівців із дистанційного зондування, лабораторних партнерів, журналістів, громадські організації, державні органи, прокурорів і слідчих, викладачів, донорів і громадськість. Різним користувачам потрібна різна глибина інформації. Карта забезпечує швидку просторову навігацію, картки — стислий доказовий виклад, а цей звіт — методологічний контекст для критичного читання.

Платформа не є автоматичним детектором забруднення, повним переписом усіх інцидентів у Чорному морі, чисельною океанографічною моделлю або юридичним встановленням відповідальності. Супутникові аномалії можуть мати незабруднювальні причини. Польові знахідки можуть бути перенесені з віддалених джерел. Лабораторні дані потребують простежуваності на рівні зразка. Аналітичні шляхи перенесення залишаються гіпотезами, якщо їх безпосередньо не спостерігали або не моделювали. Ці обмеження є частиною дизайну системи й мають залишатися видимими в кожному подальшому використанні.

2. Архітектура платформи та модель доказів

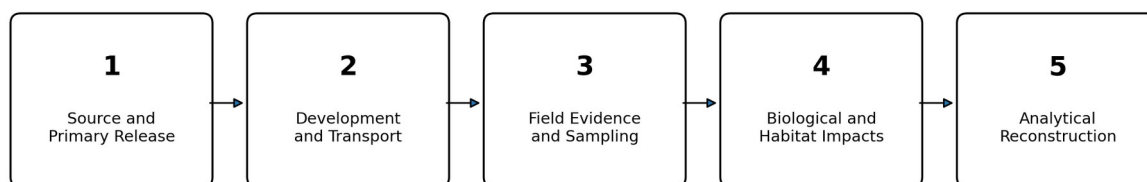
2.1 Подієво-центрична архітектура



Інтегрований робочий процес платформи

Кожен інцидент забруднення або пошкодження представлено як модуль події. Модуль може містити точки, лінії, полігони, фотографії, документи й аналітичні зв'язки, але матеріали організовано за їхньою роллю в доказовому ланцюгу, а не за форматом файлу чи датою спостереження. Це запобігає утворенню роз'єднаних шарів «супутник», «поле», «фото» та «наслідки», які розривають одну причинну подію.

Common internal roles for every event module



Media, methods and dates are attributes of evidence objects - not separate scientific layers

Спільні ролі доказів

Роль	Функція в доказовому ланцюгу	Типові об'єкти
Джерело та первинний викид	Визначає ініціювальний об'єкт, місце аварії або перший задокументований вихід забруднювача	пошкоджене судно, портова ємність, початковий полігон викиду, корпус на березі
Розвиток і перенесення	Документує просторово-	датовані плями, положення

Роль	Функція в доказовому ланцюгу	Типові об'єкти
	часову зміну	уламків, лінії дрейфу, прибережні зони перенесення
Польові докази та відбір зразків	Фіксує безпосередню перевірку на місцевості	GPS-точка, місце відбору проби, сфотографований залишок, польовий полігон
Впливи на біоту й оселища	Документує контакт з організмами або уражене середовище	забруднені тварини, псамофільний біотоп, зона загибелі організмів
Аналітична реконструкція	Формулює чітко кваліфікований висновок із кількох видів доказів	імовірне джерело, зворотно реконструйований шлях, далеке перенесення

Ці ролі є концептуальними й документальними. Вони не обов'язково мають відображатися як окремі публічні шари. Дати, сенсори, фотографії й відео є атрибутами доказових об'єктів, а не альтернативною науковою архітектурою.

Поточна редакція використовує чотири наукові шари: Volgoneft, VO-1, VO-2 і «Спільний географічний і науковий контекст». П'ятий презентаційний шар містить інтерактивну легенду. Контекстний шар навмисно залишається порожнім доти, доки не будуть підготовлені незалежно значущі контекстні об'єкти. Порожні заповнювачі не створюються, оскільки можуть створити враження наявності доказів, яких ще немає.

Реальний об'єкт слід представляти в науковій архітектурі один раз. Додаткові медіаматеріали приєднуються до нього, якщо документують ту саму просторову подію. Окрема медіаточка виправдана лише тоді, коли матеріал має самостійне географічне значення. Інтерв'ю прив'язується до об'єкта, який воно пояснює, а не до студії чи офісу. Це зменшує дублювання та не дозволяє сприймати повторені медіапосилання як незалежні спостереження.

2.2 Доказові об'єкти та стандарт картки

Кожен опублікований об'єкт, залежно від його типу, має містити:

- стабільний ідентифікатор події та об'єкта;
- англійську публічну назву й українську назву всередині картки;
- тип геометрії та координати або інтерпретовану площу;
- дату події, спостереження, публікації та версії;
- роль об'єкта й рівень доказовості;
- метод спостереження або оброблення;
- виклад прямих доказів;
- наукову інтерпретацію;
- невизначеність і обмеження;
- фотографії, супутникові матеріали, відео або документи;
- ідентифікатор зразка й лабораторне посилання, якщо це доречно;
- автора, інституційне джерело й постачальника даних;

- права та ліцензійні умови;
- історію ревізій.

Назви об'єктів на карті подано англійською мовою для компактного й міжнародно зрозумілого каталогу. Кожна картка містить повний англійський блок, після якого наведено повний український блок. Дві мови не змішуються в одному переліку метаданих. Зображення й джерела повторюються в обох блоках, щоб кожна мовна версія залишалася повною при окремому копіюванні.

2.3 Статус і рівні доказів

Кожна доказова картка визначає статус наведеного в ній твердження. Польова фотографія темного в'язкого згустку є прямим спостереженням. Визначення його як вивітреного мазуту є польовою інтерпретацією, яку може посилити лабораторний аналіз. Прив'язування до конкретної аварії танкера залишається гіпотезою джерела, якщо немає хімічного фінгерпринтингу або іншого вирішального зв'язку. Лінія між Керченською протокою й Тузлівськими лиманами є аналітичною реконструкцією, а не зафіксованою траєкторією.

Платформа не зводить докази до одного числового показника впевненості. Натомість використовуються прозорі категорії:

1. первинне польове спостереження;
2. первинні дані, отримані за супутниковими знімками;
3. оптична або інша незалежна просторова верифікація;
4. лабораторно підтриманий доказ;
5. мультиджерельна аналітична реконструкція;
6. контекстний або вторинний доказ.

Один об'єкт може поєднувати кілька рівнів. У картці зазначають найсильніший матеріал і невирішену невизначеність.

2.4 Публічний інтерфейс і користування картою

Користувач відкриває каталог шарів, обирає подію або тип доказів і натискає на точку, лінію чи полігон. Доказова картка містить дату, координати, спосіб спостереження, фотографії, джерела, наукову інтерпретацію та застереження. Для детальної роботи карту слід відкривати у повноекранному режимі.

Точки позначають місця спостережень, знахідок, відбору проб або ймовірних джерел. Лінії показують зафіксовані переміщення чи обережні аналітичні реконструкції. Полігони показують інтерпретовані межі супутникових аномалій, забруднених ділянок або уражених оселищ; їх не слід читати як абсолютно точну фізичну межу забруднення.

Публічна карта є інтерфейсом перегляду й перевірки. Вона не замінює захищеного зберігання оригінальних файлів, внутрішнього реєстру та процесуального ланцюга збереження доказів.

3. Джерела даних, походження та наукова відповідальність

3.1 Дистанційні й середовищні дані

Sentinel-1 є основним дистанційним джерелом для ретроспективного аналізу протяжних поверхневих плям у поточній методиці. Місія забезпечує знімання радіолокатором із синтезованою апертурою незалежно від денного освітлення та з високою всепогодною придатністю. Зворотне розсіювання радіосигналу реагує на шорсткість водної поверхні. Поверхневі плівки можуть пригнічувати короткі хвилі й проявлятися як темні аномалії, але подібну сигнатуру створюють слабкий вітер, атмосферні процеси, природні поверхнево-активні речовини та інші «двійники». Тому темна зона є аналітичною ознакою для перевірки, а не автоматичним доказом забруднення.

В опублікованій методиці використано знімки Sentinel-1 у режимі Interferometric Wide Swath з поляризаціями VV+VH, оброблені через EO Browser/Sentinel Hub. Для тестового випадку «Волгонефті» автори порівняли 18 сценаріїв візуалізації. Найкращий результат продемонстрував модифікований сценарій «VV - Linear Gamma0 - 50% green», обраний за контрастністю темного ядра, стійкістю до фонового шуму та деталізацією меж. Корисними також були VV Gamma0 у децибелах і SAR Urban.

Sentinel-2 надає мультиспектральну оптичну інформацію й використовується для додаткової верифікації. Інструмент MSI реєструє видимий, ближній інфрачервоний і короткохвильовий інфрачервоний діапазони; чотири канали мають просторову роздільну здатність 10 м, інші — 20 і 60 м. У поточному робочому процесі за придатних умов застосовуються продукти Level-2A з відбиттям на рівні поверхні.

В опублікованій методиці оцінено десять способів візуалізації Sentinel-2. NDWI, SWIR-композити та False Color Urban виявилися особливо корисними для перевірки меж плям, емульгованих скупчень і поверхневих об'єктів, зокрема уламків або буїв. Оптичні знімки часто інтуїтивніше читаються, але залежать від хмарності, освітлення, сонячного відблиску й спектрального контрасту забруднювача. Тому Sentinel-2 доповнює, а не замінює SAR-аналіз.

Архівні поля вітру й інша метеорологічна інформація використовуються для тлумачення зміни орієнтації плями, відхилення неправдоподібних зв'язків і корекції зворотного трасування. В опублікованому дослідженні для аналізу «Волгонефті» застосовано архів Meteoblue. Якщо поточна або майбутня робота використовує чисельні течії, хвильові моделі чи трекінг частинок, необхідно зазначати модель, роздільну здатність, форсинг, час запуску та припущення. Якісну перевірку узгодженості з вітром не можна подавати як повністю зв'язане гідродинамічне моделювання.

3.2 Польові, лабораторні та інституційні дані

Польові докази охоплюють GPS-положення, фотографії, нотатки, вимірювання, відбір зразків, опис субстрату й умов відкладення, спостереження за тваринами та рослинністю, а також просторове оконтурення уражених ділянок. Польову верифікацію в НПП «Тузлівські лимани» проводить науково-дослідний відділ Парку під науковим керівництвом Івана Русева. Фотографії й матеріали серії М щодо мазутного забруднення відповідно до поточного реєстру атрибутуються Vladyslav Balinsky та Ivan Rusev.

Спостереження, фотографії та вихідні матеріали FP-1, FP-2 і FP-3 атрибутуються Ivan Rusev і Парку.

Ruslan Havryliuk координує реєстрацію зразків, інтеграцію лабораторних даних і наукову інтерпретацію результатів аналізів для платформи. Аналітичні дані, пов'язані з обстеженням М-6/М-7, отримано в межах роботи Міжнародної благодійної організації «Екологія-Право-Людина» та надано проєкту Оленою Кравченко.

Лабораторний звіт може посилити польову інтерпретацію, однак значення слід приписувати картованій точці лише тоді, коли ідентифікатор зразка, дата й місце прямо зіставлені. Регіональний аналітичний контекст не можна подавати як результат конкретної точки. Тому картки М-6/М-7 наводять діапазон, зафіксований у документованому наборі зразків, але зберігають вимогу зіставлення ідентифікатора перед присвоєнням значення окремому об'єкту.

ГО «Зелений лист» є важливою публікаційною й медійною платформою для польових звітів, супутникових інтерпретацій і пояснювальних матеріалів. Національний екологічний центр України надає пов'язані інституційні й проєктні матеріали, зокрема публікації SUNDANSE. Прямі інституційні посилання зберігаються тому, що окремі статті, медіапублікації й завантажувані файли з часом може бути складно знайти через загальний пошук.

3.3 Наукова відповідальність

Учасник	Основна відповідальність у платформі
Vladyslav Balinsky, ORCID 0009-0007-5036-7897	методологія дистанційного зондування; оброблення та інтерпретація Sentinel-1 і Sentinel-2; наукове картування; польова верифікація; дизайн доказової системи; підготовка рукопису
Ruslan Havryliuk, ORCID 0000-0002-6465-9440	керівництво проєктом; наукова координація; робота зі зразками й лабораторними даними; аналітична інтеграція; екологічна інтерпретація; наукове рецензування
Ivan Rusev, ORCID 0000-0003-4993-3672	наукове керівництво польовою верифікацією; біологічна та екосистемна інтерпретація; валідація й надання польових матеріалів Парку

Авторство окремих фотографій, зразків або аналітичних наборів зазначається на найточнішому рівні, підтвердженому реєстром. Інституційна участь не скасовує потреби в атрибуції конкретного матеріалу.

Інтегровану методологію використання Sentinel-1 і Sentinel-2 було представлено на XXV Міжнародній науковій конференції «Екологія. Людина. Суспільство», що відбулася 12 червня 2025 року в КПІ ім. Ігоря Сікорського у Києві. Доповідь Vladyslav Balinskyu мала назву «Integrated methodology for tracing oil slicks using Sentinel-1 and Sentinel-2 data: backward modelling, meteorological correction, and visualization analysis». Сертифікат конференції наведено в додатку D.

4. Інтегрована методика

4.1 Мультисенсорний аналіз і реконструкція джерел

Мультисенсорний процес є ітеративним, а не лінійним:

1. зареєструвати інцидент, орієнтовний район джерела й часовий інтервал;
2. отримати знімки Sentinel-1 і Sentinel-2 до, під час і після події;
3. перевірити метеорологічні умови та стан моря;
4. порівняти кілька сценаріїв візуалізації;
5. консервативно оконтурити кандидатні аномалії;
6. проаналізувати морфологію, стійкість і зв'язок із можливими джерелами;
7. зіставити послідовні дати й реконструювати переміщення;
8. перевірити результат оптичними знімками, відомими об'єктами, польовими даними або незалежними джерелами;
9. класифікувати результат як пряме спостереження, інтерпретацію або аналітичну реконструкцію;
10. опублікувати геометрію й доказову картку з обмеженнями та інформацією про версію.

Нафта й інші поверхневі плівки можуть зменшувати шорсткість капілярних хвиль і знижувати зворотне розсіювання. Такий самий візуальний ефект виникає в зонах слабого вітру, дощових осередках, на межах течій, у природних плівках, при біологічній активності та в ділянках, захищених сушею чи суднами. Тому інтерпретація враховує:

- чи був вітер достатнім для формування вимірюваної фонові шорсткості;
- чи має аномалія геометрію, узгоджену з потенційним джерелом;
- чи зберігається або послідовно змінюється між датами;
- чи є морфологічно правдоподібними її межі та внутрішні зони темного ядра;
- чи підтримують висновок оптичні, польові або медійні дані;
- чи не мають сусідні темні зони атмосферного або океанографічного рисунка, несумісного із забрудненням.

Платформа не трактує кольорове підсилення як вимірювання. Сценарій візуалізації змінює читабельність, а не фізичну величину. Пороги та модифікації каналів мають бути задокументовані як інтерпретаційні налаштування.

Sentinel-2 може показувати колір, відбиття й поверхневі об'єкти, недоступні для SAR. Він особливо корисний для перевірки видимих уламків, буїв, товстих скупчень, емульсій і контрастних меж. Оптичний доказ найсильніший, коли об'єкт розташований у тій самій точці, що й стійка SAR-аномалія, та коли умови спостереження придатні. Відсутність ознаки на Sentinel-2 не спростовує тонку плівку, якщо видимість зменшують хмари, відблиск, слабкий контраст або невдалий час знімання.

Опублікована методика розглядає стійку зону темного ядра як можливий поверхневий прояв підводного витоку. Якщо забруднювач піднімається з глибини й одночасно переноситься горизонтально, поверхнева голова плями буде зміщена від джерела. Горизонтальне зміщення виражено формулою:

$$Lh = (h \times v_h) / w_r$$

де **Lh** — горизонтальне зміщення, **h** — глибина джерела, **vh** — швидкість горизонтальної течії, **wr** — швидкість підйому частинок. Положення джерела оцінюють шляхом зворотного зміщення від голови темного ядра вздовж нормалізованого напрямку течії:

$$\mathbf{Psource} = \mathbf{Phead} - \mathbf{Lh} \times \mathbf{dir}$$

де **Psource** — розраховане положення джерела, **Phead** — координати голови темного ядра за SAR, **dir** — вектор напрямку горизонтальної течії.

Формули не усувають невизначеність. На результат впливають глибина джерела, швидкість течії, швидкість спливання, геоприв'язка й правильність визначення голови плями. Тому розрахунок поєднується з морфологією, метеорологічною корекцією, повторними спостереженнями й перевіркою Sentinel-2. У опублікованому тесті для «Волгонефті» оцінену точність локалізації наведено як 40–150 м залежно від якості вхідних даних, глибини, течій і геоприв'язки. Це результат для конкретних умов, а не універсальна гарантія.

У дослідженому випадку Sentinel-1 дозволив простежити інтерпретовану межу плями більш ніж на 14,8 км від уламка, тоді як найкращий придатний Sentinel-2 показував приблизно 7,4 км. Узимку й навесні Sentinel-1 також забезпечив більше придатних знімків, оскільки хмарність не перешкоджає радіолокаційному спостереженню. Sentinel-2 залишався важливим для підтвердження поверхневих об'єктів і морфології забруднення. Практичний висновок — використовувати Sentinel-1 як основну платформу зворотного трасування, а Sentinel-2 як додаткову верифікацію за належної якості знімка.

Картовані межі є інтерпретованими просторовими доказами, а не точними фізичними межами чи контурами концентрації. Оконтурення має бути достатньо відтворюваним, щоб інший аналітик зрозумів рішення, але не повинно заявляти піксельну точність, якої не підтримує сенсор. У науковому об'єкті зберігається повна інтерпретована площа. Для відображення більший полігон може бути обрізаний у місцях, де він приховує менші або ранніші докази; ця картографічна операція не змінює документованої площі.

4.2 Польова, лабораторна та біологічна верифікація

Польова робота перевіряє, чи узгоджуються речовина, субстрат і біологічний контекст із супутниковою або аналітичною інтерпретацією. Вона також виявляє наслідки, невидимі з орбіти: поховані залишки, дрібні агрегати, прилипання до організмів, забруднення пористого піску, запах, в'язкість, крихкість, емульгування та стан оселищ.

Польова перевірка — це не лише підтвердження. Вона може спростувати супутникову інтерпретацію, виявити інший забруднювач, показати більшу або меншу площу, ніж очікувалося, або встановити, що чистий осад перекрив старі шари. Негативні результати мають значення лише тоді, коли відомі межі маршруту, час і можливості виявлення.

Польовий запис має містити:

- дату й місцевий час;
- спостерігача та організацію;
- GPS-координати й пристрій або метод;
- загальні та крупнопланові фотографії;

- стан берега, субстрату й погоди;
- розміри, колір, текстуру, запах і зв'язок із піском чи рослинністю;
- відстань від урізу води або іншу просторову прив'язку;
- ідентифікатор зразка, тару, зберігання й передачу;
- контакт із фауною, флорою або оселищем;
- маршрут чи довжину обстеження, включно з ділянками без знахідок;
- невизначеність і можливе альтернативне пояснення.

Належний запис зразка пов'язує польовий ідентифікатор, етикетку тари, GPS-точку, час, особу, що відбирала зразок, передачу, лабораторне приймання, метод і результат. Картка є рівнем доступу й інтерпретації; вона не замінює оригінальні документи зберігання та лабораторії. Якщо повний ланцюг не можна оприлюднити, картка має зазначити, що існує, а що залишається обмеженим або невирішеним.

Вміст нафтопродуктів, склад ПАВ і фізичні характеристики можуть підтверджувати наявність і рівень забруднення. Атрибуція джерела складніша. Подібні вивітрени важкі палива можуть набувати схожих ознак, а трансформація в довкіллі змінює леткі й розчинні фракції. Порівняльний фінгерпринтинг потребує відповідних еталонів, сумісних методів і врахування вивітрювання. Тому платформа розділяє формулювання «узгоджується з вивітритим мазутом» і «хімічно атрибутовано до конкретного джерела».

Біологічні спостереження документують контакт і реакцію: забруднених організмів, загибель, аномальні скупчення, вкрити забруднювачем рослинність і зміну стану оселища. Фотографія має визначати організм або біотоп настільки точно, наскільки дозволяє експертиза. За невпевненого визначення не можна завищувати таксономічний рівень.

Забруднювач по-різному впливає на відкриту воду, літораль, піщані пересипи, псамофільну рослинність, лимани, очеретяні зарості, донні субстрати та інші середовища. Рослинна олія, хоча й є харчовим продуктом, може формувати плівки, емульсії, полімеризований або похований матеріал, вкривати організми й змінювати кисневий режим або властивості субстрату. Мазут може зберігатися у вигляді вивітрених агрегатів, включатися в осад і створювати вплив вуглеводнів та ПАВ. Платформа документує спостережений стан і окремо подає загальні екологічні механізми, інтерпретовані за науковою літературою.

Працівники природоохоронних територій забезпечують безперервність, якої не мають короткі експедиції. Повторні спостереження допомагають відрізнити одиничний викид від регулярного відкладення, правильно читати кілометрову прив'язку й пов'язувати забруднення з чутливими оселищами та видами. У поточній платформі польову верифікацію в НПП «Тузлівські лимани» науково очолює Ivan Rusev, а результати інтегруються із супутниковою та картографічною роботою команди.

4.3 Геоприв'язане медіасховище та картографічна реалізація

Фотографії, супутникові фрагменти, відео й завантажувані документи є частиною доказового запису. Користувач входить через картований об'єкт, переглядає медіа, бачить зазначене джерело й розуміє, чому матеріал пов'язаний із цим місцем. Це надійніше за окрему галерею, у якій файли втрачають просторовий та аналітичний контекст.

Медіа приєднуються до наявного об'єкта, коли документують ту саму просторову подію. Окрема медіаточка створюється лише за самостійного географічного значення матеріалу. Відеомаршрут доцільно подавати лінією тільки за наявності змістовної GPS-інформації. Інтерв'ю прив'язують до доказового об'єкта, а не до місця запису розмови.

У місцях перекриття датованих полігонів менший або ранніший об'єкт має залишатися видимим і доступним для натискання. Більший полігон може втрачати заливку в зоні перекриття, а дві допоміжні межі відображають штучний картографічний зріз і фактичну зовнішню межу. Допоміжні геометрії неінтерактивні й не є новими доказами. Повна інтерпретована площа зберігається в картці та вихідній геометрії.

Публічний інтерфейс використовує інтерактивний каталог Browser → Layers, активну легенду, англійські назви об'єктів і двомовні доказові картки. Реальні об'єкти показують назву при наведенні й відкривають картку при натисканні. Технічні помічники залишаються прихованими або неінтерактивними. Імовірні аналітичні лінії перенесення мають обережний візуальний стиль, щоб не створювати враження безпосередньо зафіксованої траєкторії.

Кожна публічна редакція має зберігати вихідну карту, технічний маніфест, QA-звіт і контрольні суми. Змістовні зміни геометрії, інтерпретації, медіа, атрибуції або лабораторних посилань створюють нову версію. Версійність дозволяє встановити, що було відомо, інтерпретовано й опубліковано в певний момент.

4.4 Довготривалі та циклічні наслідки забруднення

Доказовий ланцюг не завершується зникненням поверхневої плями. Частина забруднювальних речовин може розсіюватися, зв'язуватися із завислими частинками, осідати й накопичуватися у донних відкладах, а згодом ремобілізуватися внаслідок хвильового впливу, штормів, течій, днопоглиблення, біотурбації або інших порушень. Повторне надходження у водну товщу створює вторинні цикли впливу та може продовжувати експозицію біоти після завершення первинної події (Gulin et al., 2019).

Чорне море є напівзамкненим басейном із великомасштабною циклонічною системою течій, що загалом обертається проти годинникової стрілки вздовж континентального схилу. Така циркуляція, разом із прибережними течіями й мезомасштабними вихорами, створює можливість перенесення домішок між східними та північно-західними районами, зокрема в напрямку Одеського узбережжя і дельти Дунаю (Osadchiv and Korshenko, 2017). Водобмін через Керченську протоку при цьому є різко мінливим і значною мірою керується вітром (Zavialov et al., 2020).

Тому аналітичні лінії перенесення на платформі не подаються як універсальні або безпосередньо виміряні траєкторії. Для кожної події окремо оцінюються хронологія, вітер, хвилю, супутникова морфологія, регіональна циркуляція, польові знахідки й, за наявності, чисельне моделювання. Особлива увага до повторного осідання, винесення й ремобілізації потрібна саме тому, що воєнне забруднення може мати тривалий, циклічний і транскордонний характер.

5. Робочі приклади

5.1 Катастрофа танкерів «Волгонефть» і мазутне забруднення

Модуль «Волгонефть» демонструє найскладніший методологічний доказовий ланцюг у поточній платформі. Він поєднує приблизне місце аварії, корпус судна на березі, інтерпретовані положення підводних уламків, оптичні підтвердження або буї, реконструйовані лінії дрейфу, імовірний шлях далекого перенесення, польові виявлення, зразки та лабораторний контекст. Модуль організовано як одну причинну подію, а не як окремі шари супутникових, польових і медійних матеріалів.

Приблизну точку аварії «Волгонефть-212» прямо класифіковано як аналітичну оцінку. Її реконструйовано за найранішими інтерпретованими положеннями уламків, характером розділення під час шторму та подальшим переміщенням. Її не можна трактувати як координату, отриману інструментальним обстеженням місця аварії.

Основну частину корпусу «Волгонефть-239» на березі без носової секції представлено і як аварійний об'єкт, і як потенційне тривале або залишкове джерело мазуту. Картка документує положення та пов'язані зображення поверхневого забруднення, але не заявляє вимірянний залишок палива чи швидкість витоку.

Платформа містить датовані положення уламків 212/1 і 212/2, визначені за SAR між 18 грудня 2024 року та 12 січня 2025 року. Ці точки є інтерпретаціями стійких аномалій і пов'язаної морфології плям; вони не є результатами підводної зйомки. Об'єкти розглядаються як потенційні залишкові джерела, оскільки підводні фрагменти корпусу можуть утримувати й періодично вивільняти мазут.

На знімках Sentinel-2 від 7 січня 2025 року поблизу SAR-положень простежувалися видимі поверхневі об'єкти. Вони могли бути буями або маркерами й використовуються як незалежна перевірка просторової узгодженості. Просторової роздільної здатності недостатньо для визначення точної форми, глибини чи стану підводних уламків.

Датовані точки було з'єднано для відображення сумарного картованого переміщення. Реконструйований шлях уламка 212/1 до 12 січня 2025 року становив 6,85 км, а 212/2 — 1,43 км. Відмінність між рухливішим 212/1 і відносно стабільним 212/2 підтримала реконструкцію джерела. Лінії з'єднують дискретні спостереження й не є безперервними GPS-треками; фактичні маршрути між датами могли відрізнятися від прямих відрізків.

Платформа містить аналітичну лінію завдовжки понад 650 км, що пов'язує район джерела в Керченській протоці з пізнішими знахідками серії М у районі Тузлівських лиманів. Вона спирається на регіональну циркуляцію, хронологію та просторову відповідність. Стиль і опис навмисно підкреслюють імовірність. Це не безпосередньо спостережена траєкторія, не результат чисельного трекінгу частинок і не хімічний фінгерпринт. Сильніша атрибуція потребує гідродинамічного моделювання, референтних матеріалів джерела та порівняльного хімічного аналізу.

М-1–М-5 документують вивітрені темні, в'язкі або компактні нафтоподібні залишки, знайдені на Алібейському пересипі в НПП «Тузлівські лимани» 24 червня 2025 року. Точки зберігають GPS-положення, фотографії, опис текстури, запаху, зв'язку з піском і

відбору зразків. Їхній розподіл на південній, центральній, північно-центральної і північній ділянках демонструє множинні знахідки, а не один ізольований об'єкт.

Польова морфологія узгоджується з вивітраним мазутом. Атрибуція до аварії «Волгонефті» залишається робочою гіпотезою джерела без порівняльного хімічного фінгерпринтингу. Це принципове розмежування: регіональна хронологія й циркуляція можуть робити джерело правдоподібним, не перетворюючи його на хімічно доведене.

М-6 і М-7 представляють дві сусідні ділянки протяжного обстеження Жебріянської коси 15 липня 2025 року. Щільні темно-коричневі вивітрени агрегати були змішані з піском, а в окремих випадках — із викинутою рослинністю. Дві точки документують забруднення на сумарній протяжності понад 500 м; значна частина матеріалу лежала за 25–30 м від урізу води в умовах штормового винесення.

Аналітичні дані, пов'язані з цим обстеженням, отримано в межах роботи «Екологія-Право-Людина» й надано проєкту Оленою Кравченко. Ruslan Havryliuk координує документування, інтеграцію та інтерпретацію лабораторних результатів. У пов'язаному аналітичному документі для задокументованого набору зразків наведено вміст нафтопродуктів від 3 000 до 85 000 мг/кг і визначено низку ПАВ. Конкретне значення можна приписувати М-6 або М-7 лише тоді, коли реєстр прямо пов'язує точку та ідентифікатор зразка.

М-8 і М-9, відібрані на Жебріянській косі 17 липня 2026 року, показують, наскільки різними можуть бути фізичні властивості вивітрених нафтопродуктів. М-8 — великий округлий, насичений піском агрегат, який зберігав пластичність і адгезивність, але мав слабкий нафтовий запах, що узгоджується зі значною втратою легких фракцій. М-9 — компактний трикутний і крихкий матеріал, що руйнувався по природних тріщинах і попередньо інтерпретується як асфальтеновий продукт глибокого вивітрювання. Для визначення складу й перевірки польового висновку потрібен хімічний та токсикологічний аналіз.

Випадок «Волгонефті» демонструє, як повторні SAR-знімки, оптичні перевірки, морфологічна логіка, польові записи й аналітичні дані інтегруються за обмеженого доступу до району джерела. Він також показує необхідність одночасно зберігати кілька рівнів невизначеності: супутникової ідентифікації, положення підводного джерела, траєкторії перенесення та походження віддалених польових знахідок.

5.2 VO-1 — розлив рослинної олії з порту Південний

VO-1 містить три послідовні інтерпретації Sentinel-1 від 21, 22 і 23 грудня 2025 року після атаки на порт Південний 20 грудня. VO-1A фіксує початковий морський шлейф, VO-1B — розширення й фрагментацію, VO-1C — максимальну площу, картовану в доступній послідовності.

Полігони відображають поверхневі аномалії, інтерпретовані як рослинна олія. Кольорова послідовність розрізняє дати й етапи, а не концентрацію, токсичність чи екологічну небезпеку. Серія створює впорядкований у часі просторовий запис виходу, розширення та перерозподілу. Вона не визначає обсяг розливу й не означає, що забруднення закінчилося на останній супутниковій межі.

VO-1 показує, що мультисенсорний підхід і стандарт доказової картки не обмежуються нафтопродуктами. Рослинна олія також може пригнічувати поверхневу шорсткість, утворювати видимі скупчення, поширюватися на великих прибережних площах, а згодом полімеризуватися або бути похованою. Інтерпретація потребує метеорологічного контексту й незалежних спостережень, оскільки радіолокаційне затемнення не є специфічним для певної речовини.

У робочому наборі не було пізнішого знімка, придатного для послідовного продовження тієї самої серії полігонів. Подальші польові повідомлення вказували на перенесення вздовж узбережжя та екологічні наслідки за межами останнього картованого контуру. Ці пізніші спостереження є контекстними доказами й не мають включатися до геометрії VO-1C без незалежного оконтурення.

5.3 VO-2 — розлив рослинної олії з порту Чорноморськ

VO-2A документує жовтуваті поверхневі потьйоки в Сухому лимані 26 квітня 2026 року, інтерпретовані за Sentinel-2 як соняшникова олія, що рухалася через портові води до відкритого моря. Цей об'єкт виконує роль «Джерело та первинний викид».

Подальшу послідовність картовано переважно за Sentinel-1:

- VO-2B, 27 квітня: компактна видовжена прибережна аномалія приблизно 9,17 км на південь від порту;
- VO-2C, 28 квітня: поширення між Чорноморськом та Одесою, приблизно 35,73 км завдовжки;
- VO-2D, 29 квітня: широка фрагментована пляма площею близько 694,23 км² в Одеській затоці;
- VO-2E, 30 квітня: максимальна супутниково картована площа близько 899,50 км² і максимальна протяжність приблизно 49,56 км;
- VO-2F, 3 травня: прибережний компонент площею близько 227,8 км² і периметром 136,34 км, що простягався на південь за Дністровський лиман до Сергіївки;
- VO-2G, 4 травня: південний прибережний компонент між Сергіївкою та Курортним, безпосередньо на північ від НПП «Тузлівські лимани».

Ці значення описують картовані геометрії, а не масу або концентрацію забруднювача. Послідовність показує перехід від портового виходу до масштабної події в затоці, а потім — до коридору перенесення вздовж узбережжя.

FP-1 документує польове підтвердження забруднення соняшниковою олією заповідного пересипу на 23–24-му кілометрах у період 7–17 травня 2026 року. Візуально оцінена уражена площа в межах Парку перевищувала 10 га. Після сильних східних і південних вітрів відбувалося повторне винесення, а чистий пісок місцями перекривав раніше забруднені шари. Задokumentовано вкритих олією моллюсків, рака-самітника *Diogenes pugilator* і макроводорості.

Польовий полігон представляє задokumentовану ділянку, а не контур концентрації. Поховання чистим піском є важливим, оскільки пляж може виглядати візуально чистішим, зберігаючи олію під поверхнею.

FP-2 документує рослинну олію, розподілену по піщаному псамофільному біотопу на 26-му кілометрі. Полігон витягнуто вздовж берега й інтерпретовано як ділянку приблизно 300–400 м за місцем спостереження та видимим просторовим рисунком, а не за безпосередньо виміряним замкненим трансектом. Прямим доказом є сфотографоване забруднення; твердження про проникнення в пори та огортання піщинок є екологічною інтерпретацією властивостей субстрату.

FP-3 документує видиму поверхневу плівку й емульсію олії у мілководній прибережній зоні на 33-му кілометрі. На фотографіях зафіксовано медуз *Aurelia aurita* і *Rhizostoma pulmo* у контакті із забрудненою водою. Польові докази підтверджують присутність забруднювача і на поверхні, і у вигляді диспергованого або емульгованого матеріалу. Твердження про газообмін, прозорість і фізіологічні ефекти залишаються інтерпретаціями без прямих вимірювань.

VO-2 є найповнішим поточним прикладом усього ланцюга: портове джерело, оптичне виявлення, послідовні SAR-етапи, перенесення на південь, польове підтвердження в межах природоохоронної території, вплив на оселища та контакт із біотою. Супутникові дані встановлюють хронологію й регіональну геометрію, польові — природу речовини та уражені середовища. Жодне джерело окремо не дає повної інтерпретації.

6. Розширення, контроль якості та управління

6.1 Додавання нових подій

Підставою для нового запису може бути супутникова аномалія, польове повідомлення, офіційне сповіщення, медіадоказ, аварія судна, удар по інфраструктурі або біологічне спостереження. Попередній запис зберігає час, місце, можливе джерело, оригінальне посилання чи файл, автора повідомлення та статус перевірки. Не слід чекати повної визначеності, щоб зберегти сигнал, але неперевірений матеріал не можна публікувати як підтверджений об'єкт.

Редакційна група встановлює, чи належить сигнал до наявної події, чи утворює новий причинний модуль. Об'єкти не слід об'єднувати лише тому, що вони отримані одним методом або відбулися в одному місяці. Межа події є причинною: спільне джерело, вихід і ланцюг розвитку.

Етап	Обов'язкова дія	Результат
Приймання	зберегти оригінальний файл, URL, час і автора повідомлення	внутрішній запис інциденту
Тріаж	перевірити час, місце, дублювання, очевидні суперечності й ризики безпеки	перевірений, відхилений або відкладений сигнал
Дистанційний аналіз	отримати придатні знімки й екологічний контекст	кандидатна геометрія та інтерпретація
Польова/лабораторна робота	GPS, фото, зразки, біологічні спостереження за	об'єкти прямих доказів

Етап	Обов'язкова дія	Результат
Перегляд доказів	можливості розділити спостереження, інтерпретацію й реконструкцію; перевірити походження	картка, готова до публікації
Картографічна інтеграція	призначити шар події, код, стиль і правила перекриття	картований об'єкт
Редакційний QA	перевірити мови, назви, джерела, права, координати й невизначеність	кандидат на випуск
Версійний випуск	архівувати карту, маніфест, QA і контрольну суму	публічне оновлення

Архітектура резервує сімейства кодів і ролі для майбутніх джерел, шляхів перенесення, польових зразків, наслідків, аналітичних реконструкцій і просторово виправданих медіа. Резерв не означає створення порожніх публічних об'єктів. Нові сектори Чорного моря можуть додаватися в міру розвитку партнерств і доказової спроможності.

Публікація може створювати ризики. Точні координати чутливих видів, діючих польових груп, стратегічної інфраструктури або ще не зібраних доказів іноді потребують відтермінування, узагальнення чи обмеженого доступу. Персональні дані мають бути мінімізовані. Медіа із загиблими або травмованими організмами використовуються лише за доказової необхідності й з належним контекстом.

Громадяни, науковці, працівники природоохоронних територій і журналісти можуть передавати фотографії та повідомлення про мазут, нафту, рослинну олію, загибель або ураження дельфінів, птахів та іншої біоти на zeleniy.list1@gmail.com. Мінімальний пакет має містити оригінальні фотографії, дату, місце або координати й короткий опис обставин. Безпека людини має пріоритет: не слід наближатися до мін, боєприпасів, невідомих речовин або небезпечних об'єктів заради документування.

6.2 Якість, невизначеність та управління

Кожен випуск має перевіряти кількість шарів і об'єктів, валідність геометрії, стабільні ідентифікатори, допустимі діапазони координат, медіапосилання, доступність джерел, двомовну структуру й видимість менших об'єктів у зонах перекриття. Автоматизовані перевірки необхідні, але недостатні. Після імпорту публічну карту слід відкрити й візуально перевірити, оскільки різні версії сервера можуть по-різному відображати маркери, легенди та картки.

Науковий перегляд перевіряє, чи підтримує доказ твердження в картці. Основні питання:

- чи не подається темна SAR-аномалія як доказ, а не як кандидатна ознака;
- чи не названо аналітичний шлях безпосередньо спостереженням рухом;
- чи не приписано регіональний лабораторний результат точці без зіставлення зразка;
- чи не трактується відсутність оптичної ознаки як відсутність забруднення;
- чи достатньо польової фотографії для таксономічного або хімічного твердження;

- чи описано картовані площі як інтерпретовані, а не точні;
- чи видимі альтернативні пояснення й невизначеність.

Назви, дати, одиниці, транслітерація, авторство та назви установ мають бути стандартизовані. Англійські публічні назви повинні залишатися стислими. Картки не мають містити продубльованих заголовків, робочих нотаток від першої особи, непідтвердженої категоричності або змішаних двомовних додатків. Наукова термінологія має бути узгодженою між подіями зі збереженням відмінностей між забруднювачами.

Платформа розрізняє авторство, інституційне джерело, постачальника даних і донора. Ці ролі не є взаємозамінними. Особа, яка передала лабораторний звіт, не обов'язково є аналітиком; організація, що фінансує роботу, не відповідає за висновки; Corepnicus є джерелом первинних Sentinel-даних, тоді як похідні фрагменти та інтерпретації мають авторство проекту.

Помилки виправляються прозоро. Корекція може стосуватися тексту, атрибуції, координат, медіа або геометрії. Змістовні виправлення створюють нову версію й записуються в маніфесті. Попередні випуски зберігаються в архіві, якщо це юридично й етично можливо.

7. Застосування, обмеження й сталість

7.1 Наукове, природоохоронне, суспільне та адміністративне застосування

Платформа підтримує формування гіпотез, порівняння подій, планування польових обстежень, ретроспективну реконструкцію та комунікацію між дисциплінами. Її найсильніший внесок — збереження зв'язків: джерело — пляма, пляма — перенесення, перенесення — польова знахідка, знахідка — зразок, зразок — аналіз, спостереження — екологічна інтерпретація.

Адміністрації природоохоронних територій можуть використовувати платформу для визначення ділянок повторного винесення, чутливих оселищ, кілометрових прив'язок і строків польових перевірок. Повторні записи можуть підтримувати рішення щодо очищення, подальшого відбору проб і взаємодії з органами влади та громадами.

Геоприв'язане медіасховище дозволяє журналістам і громадськості отримувати зображення разом із датою, координатами, джерелом та обмеженнями. Це зменшує ризик поширення сильних фотографій без місця й контексту. Повторне використання має зберігати атрибуцію та умови сторонніх матеріалів.

Платформа може впорядковувати матеріали, потенційно важливі для звернень, експертних оцінок і розслідувань. Координати й аналітичні реконструкції допомагають органам визначати, де запитувати додаткові дані або проводити обстеження. Однак публічна платформа сама по собі не встановлює допустимість, автентичність або юридичний причинний зв'язок. Процесуальне використання потребує оригінальних файлів, метаданих, записів свідків або відбирачів, ланцюга зберігання, лабораторної акредитації, експертної методики й дотримання відповідних процедурних норм.

7.2 Обмеження, доступ і сталість

Основними обмеженнями є неповне географічне охоплення, нерегулярність супутникових зніманих, вплив погоди й стану моря, обмежений польовий доступ, невизначені обсяги речовини, різна простежуваність зразків, можливі сигнатури-двійники та відсутність безперервного гідродинамічного моделювання для окремих аналітичних шляхів. Публічну доступність також погіршують зникнення посилань і особливості відображення на різних серверах. Ці проблеми зменшуються завдяки чіткій мові карток, мультиджерельній перевірці, версійності й прямим інституційним посиланням.

Платформа створена для постійного доповнення, а не одноразової публікації. Сталість потребує визначених адміністраторів, процедури перегляду, архівних випусків, інституційних дзеркал і плану роботи з непрацюючими посиланнями. Нові докази мають покращувати запис без непомітного переписування попереднього стану знань.

Оригінальну картографію, описи та матеріали, права на які належать проєкту, опубліковано за Creative Commons Attribution 4.0, якщо в окремому об'єкті не зазначено інше. Сторонні фотографії, статті, супутникові дані й документи зберігають власні умови. Рекомендована атрибуція має називати платформу, Vladyslav Balinsky, Ruslan Havryliuk, Ivan Rusev, ГО «Зелений лист», НПП «Тузлівські лимани» та містити посилання на оригінальну платформу із зазначенням змін.

Платформу розроблено та реалізується за фінансової підтримки Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) — Німецького федерального екологічного фонду, номер проєкту 30025/100. Підтримка DBU забезпечує розроблення методології, дистанційний і польовий моніторинг, архітектуру доказової системи, інтеграцію лабораторних і медійних матеріалів та публічне представлення. Автори й партнерські організації висловлюють вдячність за підтримку. Відповідальність за науковий зміст, інтерпретації та висновки несуть автори й організації-учасники.

8. Висновки

Платформа екологічних доказів не є статичною картою трьох інцидентів. Це повторно застосовувана наукова й документальна основа, що пов'язує дистанційне зондування, польову науку, лабораторну інформацію, біологічні докази, картографію та збереження медіа через стандартизовані геопросторові об'єкти.

Поточні робочі приклади демонструють взаємодоповнювальні можливості. «Волгонефть» апробує зворотне трасування, імовірну локалізацію підводних джерел, переміщення уламків і віддалену польову верифікацію. VO-1 апробує швидке картування великого поверхневого промислового розливу не нафтової природи. VO-2 демонструє повний ланцюг від портового виходу та перенесення в масштабі затоки до польового й біологічного підтвердження в межах природоохоронної території.

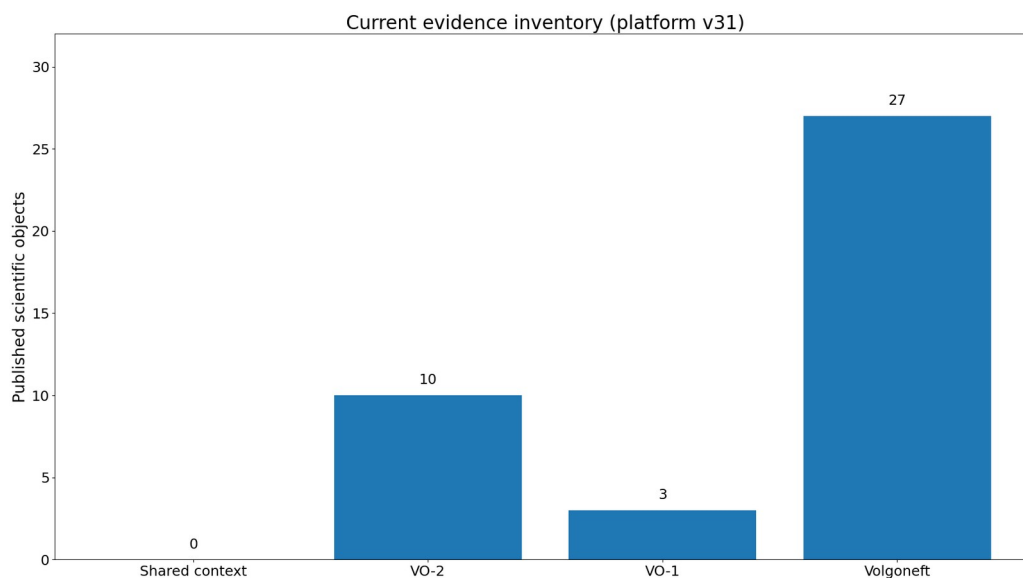
Методологічний принцип полягає в інтеграції без змішування статусів. Sentinel-1, Sentinel-2, польові спостереження, лабораторні результати й медійні джерела поєднуються, але кожне зберігає власний доказовий рівень і обмеження. Пряме

спостереження не замінюється візуальною впевненістю, а аналітична реконструкція не подається як виміряна траєкторія.

Платформа може бути розширена на нові випадки загибелі суден, удари по портах, промислові викиди, забруднені вантажі, події із седиментами, загибель дельфінів, птахів та іншої біоти, а також інші екологічні наслідки за умови збереження правил походження, невизначеності, авторства та версійного перегляду. Довготривала оцінка має враховувати не лише первинний викид, а й повторне осідання, ремобілізацію та циклічне повернення забруднювачів у водну товщу.

Додаток А. Поточний реєстр опублікованих доказових об'єктів

Наведений реєстр описує платформу станом на версію 31. Технічні допоміжні геометрії та зразки легенди не включено. Реєстр є знімком випуску, а не обмеженням майбутнього наповнення.



Поточний реєстр за модулями подій

Подія	Опублікований об'єкт	Геометрія	Роль доказу	Основна доказова основа
VO-2	FP-1 – Field-Confirmed Vegetable Oil Contamination of the Protected Sandy Barrier (23–24 km)	Polygon	Польові докази; впливи на біоту й оселища	польове спостереження й фотографія; інтерпретовани й польовий полігон
VO-2	FP-3 – Field-Confirmed Vegetable Oil Film and Emulsion in Coastal Waters	Polygon	Польові докази; впливи на біоту й оселища	польове спостереження й фотографія; інтерпретовани й польовий полігон

Подія	Опублікований об'єкт	Геометрія	Роль доказу	Основна доказова основа
	(33 km)			
VO-2	VO-2A – Initial Vegetable Oil Release within Sukhyi Lyman (26 April 2026)	Polygon	Джерело та первинний викид	оптична інтерпретація Sentinel-2
VO-2	VO-2B – Initial Coastal Vegetable Oil Slick (27 April 2026)	Polygon	Розвиток і перенесення	інтерпретація Sentinel-1 SAR
VO-2	VO-2C – Northward Expansion toward Odesa (28 April 2026)	MultiPolygon	Розвиток і перенесення	інтерпретація Sentinel-1 SAR
VO-2	VO-2D – Large-Scale Odesa Bay Vegetable Oil Slick (29 April 2026)	MultiPolygon	Розвиток і перенесення	інтерпретація Sentinel-1 SAR
VO-2	VO-2E – Maximum Satellite-Mapped Surface Extent (30 April 2026)	MultiPolygon	Розвиток і перенесення	інтерпретація Sentinel-1 SAR
VO-2	VO-2F – Southward Coastal Transport toward Tuzly Lagoons (3 May 2026)	Polygon	Розвиток і перенесення	інтерпретація Sentinel-1 SAR
VO-2	VO-2G – Southern Coastal Component near Tuzly Lagoons (4 May 2026)	Polygon	Розвиток і перенесення	інтерпретація Sentinel-1 SAR
VO-2	FP-2 – Field-Confirmed Vegetable Oil Contamination of Psammophilic Habitat (26 km)	Polygon	Польові докази; впливи на біоту й оселища	польове спостереження й фотографія; інтерпретовані й польовий полігон
VO-1	VO-1A – Initial Offshore Vegetable Oil	Polygon	Розвиток і перенесення	інтерпретація Sentinel-1 SAR

Подія	Опублікований об'єкт	Геометрія	Роль доказу	Основна доказова основа
VO-1	Slick (21 December 2025) VO-1C – Maximum Satellite-Mapped Vegetable Oil Slick (23 December 2025)	MultiPolygon	Розвиток і перенесення	інтерпретація Sentinel-1 SAR
VO-1	VO-1B – Expanded Offshore Vegetable Oil Slick (22 December 2025)	MultiPolygon	Розвиток і перенесення	інтерпретація Sentinel-1 SAR
Volgoneft	M-4 – Compact Weathered Heavy Fuel Oil Lump on the Northern Alibey Sandbar	Point	Польові докази та відбір зразків	GPS, польова фотофіксація, запис зразка; лабораторний контекст за наявності зв'язку
Volgoneft	M-1 – Weathered Heavy Fuel Oil Residues on the Southern Alibey Sandbar	Point	Польові докази та відбір зразків	GPS, польова фотофіксація, запис зразка; лабораторний контекст за наявності зв'язку
Volgoneft	M-3 – Weathered Heavy Fuel Oil Residues on the North-Central Alibey Sandbar	Point	Польові докази та відбір зразків	GPS, польова фотофіксація, запис зразка; лабораторний контекст за наявності зв'язку
Volgoneft	M-5 – Weathered Heavy Fuel Oil Residue near the Northern Park Boundary	Point	Польові докази та відбір зразків	GPS, польова фотофіксація, запис зразка; лабораторний контекст за наявності зв'язку
Volgoneft	M-6 – Weathered Heavy Fuel Oil Deposits on	Point	Польові докази та відбір зразків	GPS, польова фотофіксація, запис зразка;

Подія	Опублікований об'єкт	Геометрія	Роль доказу	Основна доказова основа
	Zhebriyanska Spit, Survey Section 1			лабораторний контекст за наявності зв'язку
Volgoneft	M-7 – Weathered Heavy Fuel Oil Deposits on Zhebriyanska Spit, Survey Section 2	Point	Польові докази та відбір зразків	GPS, польова фотофіксація, запис зразка; лабораторний контекст за наявності зв'язку
Volgoneft	M-2 – Weathered Heavy Fuel Oil Residues on the Central Alibey Sandbar	Point	Польові докази та відбір зразків	GPS, польова фотофіксація, запис зразка; лабораторний контекст за наявності зв'язку
Volgoneft	M-8 – Large Weathered Heavy Fuel Oil Aggregate on Zhebriyanska Spit	Point	Польові докази та відбір зразків	GPS, польова фотофіксація, запис зразка; лабораторний контекст за наявності зв'язку
Volgoneft	M-9 – Brittle Asphaltene-Rich Petroleum Residue on Zhebriyanska Spit	Point	Польові докази та відбір зразків	GPS, польова фотофіксація, запис зразка; лабораторний контекст за наявності зв'язку
Volgoneft	VG-AR-1 – Probable Kerch Strait–Tuzly Lagoons Transport Pathway	LineString	Аналітична реконструкція	регіональна циркуляція, хронологія та просторова відповідність
Volgoneft	Volgoneft-239 – Stranded Hull without Bow Section (12 January 2025)	Point	Джерело та первинний викид	картоване положення корпусу, супутникова та фотографічна документація
Volgoneft	Volgoneft-212	Point	Розвиток і	оптична

Подія	Опублікований об'єкт	Геометрія	Роль доказу	Основна доказова основа
	Fragment 212/1 – Visual/Buoy Confirmation (7 January 2025)		перенесення	просторова перевірка Sentinel-2
Volgoneft	Volgoneft-212 Fragment 212/1 – SAR-Derived Position (18 December 2024)	Point	Розвиток і перенесення; потенційне залишкове джерело	інтерпретація Sentinel-1 SAR
Volgoneft	Volgoneft-212 Fragment 212/1 – SAR-Derived Position (19 December 2024)	Point	Розвиток і перенесення; потенційне залишкове джерело	інтерпретація Sentinel-1 SAR
Volgoneft	Volgoneft-212 Fragment 212/1 – SAR-Derived Position (23 December 2024)	Point	Розвиток і перенесення; потенційне залишкове джерело	інтерпретація Sentinel-1 SAR
Volgoneft	Volgoneft-212 Fragment 212/1 – SAR-Derived Position (31 December 2024)	Point	Розвиток і перенесення; потенційне залишкове джерело	інтерпретація Sentinel-1 SAR
Volgoneft	Volgoneft-212 Fragment 212/1 – SAR-Derived Position (12 January 2025)	Point	Розвиток і перенесення; потенційне залишкове джерело	інтерпретація Sentinel-1 SAR
Volgoneft	Volgoneft-212 Fragment 212/2 – Visual/Buoy Confirmation (7 January 2025)	Point	Розвиток і перенесення	оптична просторова перевірка Sentinel-2
Volgoneft	Volgoneft-212 Fragment 212/2 – SAR-Derived Position (18 December 2024)	Point	Розвиток і перенесення; потенційне залишкове джерело	інтерпретація Sentinel-1 SAR
Volgoneft	Volgoneft-212 Fragment 212/2 – SAR-Derived Position (19 December 2024)	Point	Розвиток і перенесення; потенційне залишкове джерело	інтерпретація Sentinel-1 SAR
Volgoneft	Volgoneft-212	Point	Розвиток і	інтерпретація

Подія	Опублікований об'єкт	Геометрія	Роль доказу	Основна доказова основа
	Fragment 212/2 – SAR-Derived Position (23 December 2024)		перенесення; потенційне залишкове джерело	Sentinel-1 SAR
Volgoneft	Volgoneft-212 Fragment 212/2 – SAR-Derived Position (31 December 2024)	Point	Розвиток і перенесення; потенційне залишкове джерело	інтерпретація Sentinel-1 SAR
Volgoneft	Volgoneft-212 Fragment 212/2 – SAR-Derived Position (11 January 2025)	Point	Розвиток і перенесення; потенційне залишкове джерело	інтерпретація Sentinel-1 SAR
Volgoneft	Volgoneft-212 Fragment 212/2 – SAR-Derived Position (12 January 2025)	Point	Розвиток і перенесення; потенційне залишкове джерело	інтерпретація Sentinel-1 SAR
Volgoneft	Volgoneft-212 – Approximate Accident Location	Point	Джерело та первинний викид	аналітична реконструкція за положеннями уламків і послідовністю дрейфу
Volgoneft	Volgoneft-212 Fragment 212/1 – Reconstructed Drift Path through 12 January 2025	LineString	Розвиток і перенесення	лінія між датованими положеннями, визначеними за супутниковими даними
Volgoneft	Volgoneft-212 Fragment 212/2 – Reconstructed Drift Path through 12 January 2025	LineString	Розвиток і перенесення	лінія між датованими положеннями, визначеними за супутниковими даними

Додаток В. Мінімальна схема метаданих нового доказового об'єкта

Поле	Вимога
Ідентифікатор події	Стабільний ідентифікатор, що пов'язує об'єкт з одним причинним модулем.
Ідентифікатор об'єкта	Унікальний код, що зберігається в усіх

Поле	Вимога
Публічна назва	версіях. Стисла англійська назва; українська назва у картці.
Роль доказу	Одна або кілька з п'яти внутрішніх ролей.
Геометрія	Точка, лінія або полігон із системою координат і точністю, відповідною доказам.
Дати	Дати події, знімка, польового спостереження, проби, аналізу та публікації.
Метод	Сенсор, візуалізація, польовий протокол, лабораторний або аналітичний метод.
Прямі докази	Що саме безпосередньо спостерігали або вимірювали.
Інтерпретація	Наукове значення, надане прямим доказам.
Невизначеність	Альтернативні пояснення, просторові й часові межі, мова впевненості.
Медіа	Зображення, відео, супутникові фрагменти й документи з підписами.
Простежуваність зразка	ID зразка, відбирач, передача, лабораторія та зв'язок зі звітом.
Авторство й походження	Окремо автор, фотограф, установа, постачальник даних і донор.
Права	Ліцензія або умови використання сторонніх матеріалів.
Історія версій	Запис створення, перегляду та змістовних змін.

Додаток С. Матриця внеску та відповідальності

Діяльність	Vladyslav Balinsky	Ruslan Havryliuk	Ivan Rusev	Партнерські установи
Концепція й архітектура доказів	Провідна роль	Співкерівництво / перегляд	Перегляд польової науки	Інституційні консультації
Методологія та оброблення ДЗЗ	Провідна роль	Наукова координація	Контекстний перегляд	Copernicus; контекст НЕЦУ/SUNDANSE
Наукове картування й система карток	Провідна роль	Рецензування	Валідація польових даних	Публікаційна платформа «Зелений лист»
Польова верифікація	Участь / документування	Координація та інтеграція	Наукове керівництво	Науково-дослідний відділ НПП
Зразки й	Польова участь	Провідна	Польовий	ЕПЛ для М-6/М-7;

Діяльність	Vladyslav Balinsky	Ruslan Havryliuk	Ivan Rusev	Партнерські установи
лабораторна інтеграція		координація та інтерпретація	контекст	Олена Кравченко як постачальниця даних
Біологічна й оселищна інтерпретація	Спільний аналіз	Екологічна інтеграція	Провідна роль	НПП «Тузлівські лимани»
Написання й редакційний контроль	Провідна підготовка	Науковий перегляд	Біологічний/польовий перегляд	Організації-учасники
Фінансування	Реалізація	Керівництво проектом	Науковий внесок	DBU, проєкт 30025/100

Додаток D. Наукова апробація та підтверджувальні матеріали

Наведений сертифікат підтверджує участь Vladyslav Balinsky у XXV Міжнародній науковій конференції «Екологія. Людина. Суспільство» та містить назву доповіді, дату й місце проведення. Основним бібліографічним джерелом методології залишається опублікована праця з DOI, наведена у списку літератури.



Рисунок D1. Сертифікат участі Vladyslav Balinsky з доповіддю «Integrated methodology for tracing oil slicks using Sentinel-1 and Sentinel-2 data: backward modelling, meteorological correction, and visualization analysis» на XXV Міжнародній науковій конференції «Екологія. Людина. Суспільство», Київ, 12 червня 2025 року.

Список літератури та інституційних джерел

1. Balinsky V., Havryliuk R., Hulevets V., Timofti M. 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”. 2025. P. 88–96. <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2025.332100>
2. Balinsky V. M., Havryliuk R. B., Hulevets V. V. Methodology for backward tracing of oil slicks to underwater spill sources. Proceedings of the First International Scientific and Practical Conference “Biological, Chemical, and Environmental Threats during War”. 2025. P. 115–119. Перелік публікацій HEIЦУ/SUNDANSE: <https://necu.org.ua/proyekty/sundanse/>
3. Copernicus Data Space Ecosystem. Документація місії Sentinel-1. <https://documentation.dataspace.copernicus.eu/Data/SentinelMissions/Sentinel1.html>
4. Copernicus Sentinel Online. Документація місії та продуктів Sentinel-2. <https://sentinels.copernicus.eu/documents/d/sentinel/s2-pdgs-cs-di-psd-v15-0>
5. ГО «Зелений лист». Встановлення джерел витoku мазуту в Чорному морі сучасними методами моніторингу. <https://zeleniy-list.od.ua/vstanovlennya-dzherel-vytoku-mazutu/>
6. ГО «Зелений лист». Супутниковий моніторинг Чорного моря: нові докази нафтового забруднення. <https://zeleniy-list.od.ua/suputnikovyi-monitoryng-chornogo-morya-naftove-zabrudnennya-novorosiysk-anapa/>
7. ГО «Зелений лист». Третій розлив за два роки: чим загрожує нова олійна катастрофа в Одеській затоці. <https://zeleniy-list.od.ua/tretij-rozlyv-za-dva-roky-chym-zagrozhuye-nova-olijna-katastrofa-v-odeskij-zatoczi/>
8. Національний екологічний центр України. SUNDANSE — інноваційна концепція управління седиментами для стійкої системи Дунай — Чорне море. <https://necu.org.ua/proyekty/sundanse/>
9. Deutsche Bundesstiftung Umwelt. German Federal Environmental Foundation та фінансування проєктів. <https://www.dbu.de/en/about-us/german-federal-environmental-foundation/> ; <https://www.dbu.de/en/promotion/project-funding/>
10. Міжнародна благодійна організація «Екологія-Право-Людина». <https://epl.org.ua/>
11. Платформа екологічних доказів, версія 31. Внутрішні картки наукових об’єктів, технічний маніфест і QA-звіт, липень 2026 року.

Osadchiv A., Korshenko E. Small river plumes off the northeastern coast of the Black Sea under average climatic and flooding discharge conditions. *Ocean Science*, 2017, 13, 465-482.

<https://doi.org/10.5194/os-13-465-2017>

Zavialov I., Osadchiv A., Sedakov R., Barnier B., Molines J.-M., Belokopytov V. Water exchange between the Sea of Azov and the Black Sea through the Kerch Strait. *Ocean Science*, 2020, 16, 15-30.

<https://doi.org/10.5194/os-16-15-2020>

Gulin S. B., Proskurnin V. Yu., Sidorov I. G. Recent multi-tracer dating of the Black Sea sediments: Recovery of the late post-Chernobyl trends of radioactive contamination. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2019, 203, 154-162. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.03.016>

Рекомендоване цитування

Balinsky V., Havryliuk R., Rusev I. Платформа екологічних доказів: інтерактивна карта забруднення та шкоди для Чорного моря: науково-методологічна основа геопросторового документування, мультисенсорної верифікації, польових доказів і медіархівування. Версія 4.0. ГО «Зелений лист», 2026.

Заява про фінансування та відповідальність

Роботу розроблено та реалізується за фінансової підтримки Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), проєкт 30025/100. Автори й партнерські організації висловлюють вдячність за підтримку. Відповідальність за науковий зміст, інтерпретації та висновки несуть автори й організації-учасники.