

# **Методи екологічного моніторингу в зонах конфлікту**

Екологічний моніторинг у зонах конфлікту є критично важливим для оцінки впливу військових дій на навколишнє середовище. Воєнні дії можуть призводити до руйнування природних екосистем, забруднення води, ґрунту та повітря, а також впливати на біорізноманіття. Для ефективного аналізу екологічних наслідків у таких зонах використовуються різні методи моніторингу, які можна розділити на традиційні та сучасні технологічні підходи.



## **Основні підходи до екологічного моніторингу у зонах конфлікту**

- ◆ **Дистанційний моніторинг** – супутникові та дроніві спостереження.
- ◆ **Лабораторний аналіз** – дослідження води, ґрунту, повітря на наявність токсичних речовин.
- ◆ **ГІС та моделювання** – просторовий аналіз забруднення та прогноз наслідків.
- ◆ **Біоіндикаторний моніторинг** – оцінка впливу забруднення через живі організми.
- ◆ **Аналіз даних соцмереж та краудсорсинг** – отримання інформації від місцевих жителів і волонтерів.

# Традиційні методи екологічного моніторингу

## Польові дослідження та відбір проб

*Ці методи передбачають безпосередній виїзд спеціалістів у зону конфлікту для збору зразків води, ґрунту та повітря.*

*Основні підходи:*

- ✓ Визначення концентрації токсичних речовин у воді та ґрунті (важкі метали, нафтопродукти, хімічні сполуки).
- ✓ Аналіз якості повітря (концентрація дрібнодисперсного пилу, оксидів азоту, сірки, вуглецю).
- ✓ Дослідження змін у рослинності та біорізноманітті.



### **Переваги:**

- ✓ Висока точність даних
- ✓ Можливість детального аналізу конкретної території

### **Недоліки:**

- ✗ Висока небезпека для дослідників у зонах конфлікту
- ✗ Висока вартість та тривалість досліджень

# Лабораторний аналіз забруднення внаслідок військових дій

**Лабораторний аналіз** є важливим етапом оцінки екологічних наслідків військових дій. Він дозволяє визначити концентрацію шкідливих речовин у воді, ґрунті, повітрі та біологічних матеріалах. Військові конфлікти можуть спричиняти значне забруднення довкілля внаслідок застосування вибухових речовин, нафтопродуктів, важких металів, хімічної та біологічної зброї.



# Аналіз забруднення повітря

Військові дії (вибухи, пожежі, використання боєприпасів) призводять до виділення токсичних газів, твердих частинок та радіоактивних речовин.

## Методи аналізу:

- **Газова хроматографія (ГХ-МС)** – для виявлення органічних забруднювачів (леткі органічні сполуки, продукти горіння).
- **Спектроскопія з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-MS)** – для визначення концентрації важких металів (свинцю, кадмію, ртуті).
- **Оптична спектроскопія** – для вимірювання вмісту діоксидів сірки ( $\text{SO}_2$ ), оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ), озону ( $\text{O}_3$ ).
- **Гравіметричний метод** – визначення масової концентрації дрібнодисперсного пилу ( $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ ).



## Типові забруднювачі:

- ✓ **Оксиди азоту (NO<sub>x</sub>), діоксид сірки (SO<sub>2</sub>)** – наслідки вибухів і згоряння палива.
- ✓ **Важкі метали (Pb, Cd, Hg, Cr)** – компоненти боєприпасів, бронетехніки.
- ✓ **Діоксини, фурани, ПАУ (поліциклічні ароматичні вуглеводні)** – продукти горіння пластмас, пального.
- ✓ **Радіоактивні частинки** – при пошкодженні ядерних об'єктів.





# Аналіз забруднення води

Військові дії можуть спричиняти забруднення водою викидами хімікатів, нафтопродуктів, важких металів, вибухових речовин.

## Методи аналізу:

- **Атомно-абсорбційна спектроскопія (AAS)** – для визначення концентрації важких металів у воді.
- **Іонна хроматографія (ІС)** – для аналізу іонів нітратів, фосфатів, хлоридів.
- **Спектрофотометричний аналіз** – для визначення пестицидів, хімічних отруйних речовин.
- **Біологічний тест (біоіндикатори)** – оцінка токсичності води за реакцією водних організмів.





## Типові забруднювачі:

- ✓ **Нафтопродукти** – розливи пального, руйнування інфраструктури.
- ✓ **Важкі метали (Pb, Hg, Cd, As)** – потрапляють із боєприпасів, промислових об'єктів.
- ✓ **Пестициди, хімікати** – застосування для військових цілей або забруднення складів.
- ✓ **Бактеріальне забруднення** – руйнування каналізації, нестача очищення стічних вод.



## Аналіз забруднення ґрунту

Ґрунт накопичує токсичні речовини після військових дій, що призводить до довготривалих наслідків для екосистем.

### Методи аналізу:

- **ICP-MS (індуктивно-зв'язана плазмова мас-спектрометрія)** – для аналізу важких металів.
- **Хроматографія (ГХ-МС, ВЕРХ)** – для виявлення органічних забруднювачів.
- **Радіоспектроскопія** – визначення рівня радіоактивного забруднення.
- **Флуориметрія** – аналіз присутності вуглеводнів (нафтопродуктів).



## Типові забруднювачі:

- ✓ **Важкі метали (U, Pb, Cr, Hg, Cd, As)** – унаслідок використання боєприпасів, бомб.
- ✓ **Вибухові речовини (TNT, RDX, HMX)** – залишки боєприпасів у ґрунті.
- ✓ **Нафтопродукти** – через витіки з транспорту та складів.
- ✓ **Радіонукліди** – у разі атак на ядерні об'єкти або застосування зброї зі збідненим ураном.



## Біоіндикатори та біомоніторинг

Методика використовує певні живі організми як індикатори рівня забруднення:

- Ліхени (лишайники) для аналізу забруднення повітря важкими металами та SO<sub>2</sub>.
- Водні організми (ракоподібні, риби) для оцінки рівня токсичності водних екосистем.
- Зміни в популяціях тварин та рослин як індикатор деградації екосистем.

### Переваги:

- ✓ Виявлення довготривалих змін у навколишньому середовищі
- ✓ Відносно недорогий метод

### Недоліки:

- ✗ Залежність від біологічних змін, які можуть бути спричинені не лише конфліктом
- ✗ Потребує додаткових лабораторних досліджень



# Біомоніторинг і аналіз забруднень в організмах

Військові дії можуть впливати на стан біоти, що дозволяє використовувати організми як індикатори забруднення.

## Методи аналізу:

- **Біотестування** – оцінка токсичності середовища за реакцією живих організмів.
- **Аналіз біомаркерів** – визначення рівня забруднення в тканинах риб, тварин, людей.
- **Спектрофлуориметрія** – виявлення забруднень у рослинах і тваринах.

## ◆ Типові забруднювачі:

- ✓ **Важкі метали (Hg, Pb, Cd)** – накопичуються в тканинах тварин і риб.
- ✓ **Пестициди, токсичні органічні сполуки** – знаходяться в біологічних зразках.
- ✓ **Мутагенні агенти** – радіаційне або хімічне ураження біоти.





# Сучасні технологічні методи моніторингу

ДЗЗ включає використання супутникових знімків та безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для оцінки екологічних змін у зонах конфлікту.

## Основні інструменти:

- **Супутникові системи** (NASA, ESA, Sentinel, Landsat) – аналіз змін у лісових масивах, забруднення водойм, викидів у повітря.
- **БПЛА (дрони)** – деталізований моніторинг зон руйнувань, нафтових розливів, ерозії ґрунтів.



# Супутниковий моніторинг

Супутникове дистанційне зондування забезпечує глобальний та довготривалий контроль за екологічними змінами, спричиненими конфліктами.

## Основні супутникові системи

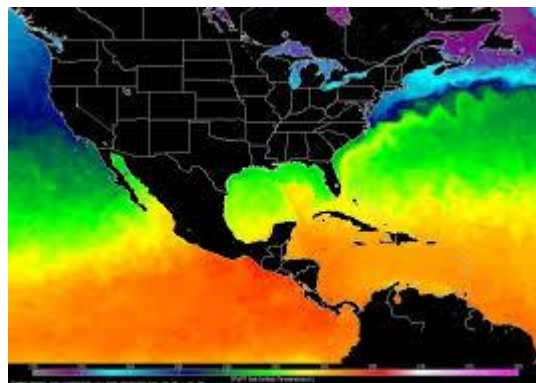
- ✓ **NASA Landsat** – багатоспектральне зображення для аналізу змін у земному покриві.
- ✓ **ESA Sentinel (Copernicus)** – висока роздільна здатність, моніторинг забруднення води, повітря, ґрунту.
- ✓ **MODIS (NASA)** – моніторинг пожеж, атмосферного забруднення, змін у ландшафті.
- ✓ **Maxar (WorldView, GeoEye)** – комерційні супутники з високою деталізацією (до 30 см/піксель).





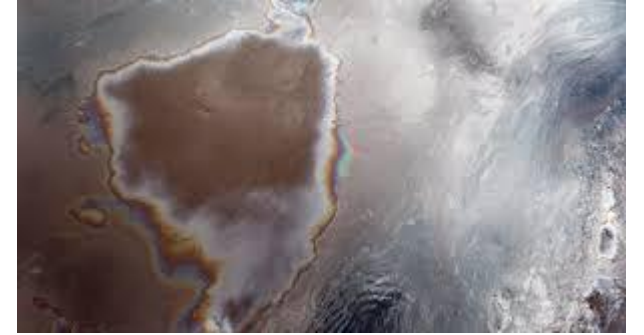
## Методи супутникового моніторингу

- ◆ **Оптичне зондування** – отримання знімків у різних спектральних діапазонах для визначення змін у рослинності, забрудненні води.
- ◆ **Теплове зондування** – виявлення зон підвищених температур (пожежі, витoki небезпечних речовин).
- ◆ **Радарне зондування (SAR, Sentinel-1)** – працює навіть через хмари і вночі, дозволяє виявляти зміни рельєфу, затоплення.
- ◆ **Моніторинг газів у атмосфері (Sentinel-5P, OCO-2)** – аналіз концентрацій CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> після вибухів або пожеж.



## Приклади використання

✦ Виявлення нафтових розливів (наприклад, витіки з пошкоджених трубопроводів).



✦ Аналіз знищення лісів внаслідок бомбардувань.

✦ Виявлення радіоактивного забруднення (наприклад, після атак на ядерні об'єкти).



✦ Контроль якості повітря під час пожеж або хімічних аварій.

## **Переваги супутникового моніторингу**

- ✓ Велике охоплення території, можливість аналізу глобальних змін.
- ✓ Безпека дослідників – відсутність потреби у фізичній присутності.
- ✓ Висока частота знімків (від щоденного до раз на кілька днів).

## **Недоліки**

- ✗ Висока вартість комерційних знімків (деталізовані дані коштують дорого).
- ✗ Оптичні сенсори не працюють у хмарну погоду.
- ✗ Не завжди можливо отримати знімки в реальному часі.



# Моніторинг за допомогою дронів (БПЛА)

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) – це мобільний засіб оперативного збору екологічних даних у зонах конфлікту.

## Типи дронів для екологічного моніторингу

- ❖ **Мультикоптери (DJI Phantom, Mavic, Matrice)** – хороші для детального огляду малих територій.
- ❖ **Фіксованого крила (SenseFly eBee, Parrot Disco)** – для довготривалих польотів над великими територіями.
- ❖ **Гібридні (WingtraOne, Quantum Systems Trinity)** – поєднують переваги мультикоптерів і літаків.



## Основні датчики на дронах

- **Оптичні камери** – детальне зображення територій.
- **Мультиспектральні сенсори** – аналіз стану рослинності, водних ресурсів.
- **Тепловізори** – виявлення пожеж, витоків газів, змін температури.
- **Газоаналізатори** – вимірювання рівня токсичних речовин у повітрі.
- **Лідарні сканери** – 3D-картографування рельєфу та виявлення змін.





## Використання дронів у зонах конфлікту

- ✦ **Оцінка руйнувань та наслідків вибухів** – створення 3D-карт пошкоджених територій.
- ✦ **Виявлення забруднення води та ґрунту** – аналіз розливів нафти, важких металів.
- ✦ **Моніторинг пожеж** – контроль поширення вогню після артобстрілів.
- ✦ **Контроль сільськогосподарських земель** – аналіз деградації ґрунтів після бойових дій.



## Переваги дронів

- ✓ Висока деталізація зображень (до 5 см/піксель).
- ✓ Можливість оперативного збору даних у будь-який момент.
- ✓ Гнучкість у виборі маршруту та сенсорів.
- ✓ Безпека – можливість працювати в небезпечних зонах.

## Недоліки

- ✗ Обмежений час польоту (від 20 хвилин до кількох годин).
- ✗ Потреба у підготовці операторів дронів.
- ✗ Ризик збиття або перехоплення дронів ворожими силами.





## Порівняння супутникового та дронowego моніторингу

<b>Критерій</b>	<b>Супутниковий моніторинг</b>	<b>Моніторинг дронами</b>
Деталізація	Середня (0,3 – 30 м/піксель)	Висока (до 5 см/піксель)
Охоплення	Глобальне, великі площі	Локальне, невеликі зони
Частота оновлення	Декілька разів на день/тиждень	В реальному часі
Вартість	Висока (комерційні знімки дорогі)	Відносно низька
Гнучкість	Обмежена (фіксовані орбіти)	Висока (можливість польоту за потребою)
Небезпека для оператора	Відсутня	Мінімальна

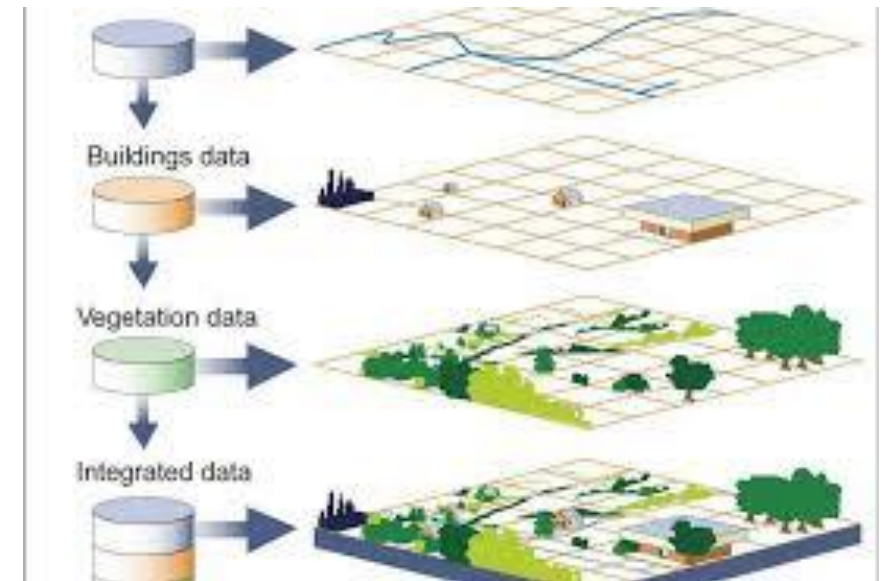
Моніторинг екологічних наслідків у зонах конфлікту за допомогою супутників і дронів дозволяє отримати цінні дані для оцінки шкоди довкіллю. Супутники забезпечують глобальний огляд великих територій, тоді як дрони дозволяють отримати високоточні зображення та аналіз конкретних екологічних загроз у локальному масштабі. Поєднання обох методів дає можливість ефективного контролю та розробки стратегій екологічної реабілітації у постраждалих регіонах.

# Геоінформаційні системи (ГІС)

Геоінформаційні системи (ГІС) є потужним інструментом для аналізу впливу військових дій на довкілля. Вони дозволяють обробляти великі обсяги просторових даних, інтегрувати інформацію з різних джерел (супутники, дрони, польові дослідження) та створювати візуалізації для прийняття рішень.

ГІС використовується для:

- ✦ Моніторингу екологічного забруднення
- ✦ Аналізу змін ландшафту
- ✦ Виявлення зон підвищеної екологічної небезпеки
- ✦ Прогнозування наслідків бойових дій
- ✦ Оцінки ризиків для населення



# Джерела даних для ГІС у зонах військових дій

## ◆ Супутникові знімки

- NASA (Landsat), ESA (Sentinel), Maxar (WorldView) – моніторинг змін у довкіллі
- Радарні дані (Sentinel-1) – оцінка змін рельєфу, затоплень, пошкоджень інфраструктури

## ◆ Безпілотні літальні апарати (БПЛА, дрони)

- Високоточний моніторинг екологічних пошкоджень
- Лідарне сканування територій

## ◆ Польові дослідження та мобільні сенсори

- Вимірювання рівня забруднення води, ґрунту, повітря
- Геохімічний аналіз токсичних речовин

## ◆ Дані від громадян (краудсорсинг)

- Фотографії, відео, повідомлення про забруднення
- Свідчення про військові злочини, екологічні катастрофи

# Використання ГІС у дослідженні впливу військових дій

## Оцінка забруднення довкілля

### ◆ Моніторинг нафтових розливів та хімічних забруднень

- Карти розливів нафти після ударів по нафтопереробних заводах

- Аналіз поширення токсичних речовин у річках

### ◆ Визначення зон забруднення ґрунту та води

- Зонування територій за рівнем важких металів, пестицидів, вибухових речовин

- Аналіз ризику забруднення підземних вод

### ◆ Контроль якості повітря

- Карти концентрації PM2.5, PM10 після пожеж і вибухів

- Аналіз поширення токсичних газів (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO)



## Аналіз змін у ландшафті та екосистемах

### ◆ Деформація рельєфу

- Виявлення кратерів від вибухів за допомогою супутникових даних
- Оцінка ерозії ґрунтів після воєнних дій

### ◆ Втрати лісових масивів

- Визначення зон вирубки та вигорання лісів
- Моніторинг біорізноманіття у постраждалих районах

### ◆ Динаміка змін водних ресурсів

- Моніторинг пересихання водойм через військові операції
- Аналіз рівня забруднення водних об'єктів



# Прогнозування та управління ризиками

## ◆ Моделювання поширення забруднень

- Розробка прогнозів поширення токсичних речовин у разі вибухів або розливів
- Оцінка впливу військових дій на якість води та повітря

## ◆ Визначення небезпечних зон для населення

- Карти радіаційного забруднення після атак на ядерні об'єкти
- Аналіз рівня ризику хімічного забруднення

## ◆ Розробка стратегії відновлення довкілля

- Пріоритезація заходів з ліквідації забруднення
- Визначення територій, які потребують рекультивації

## ГІС-системи та програмне забезпечення

Для аналізу військових дій та їх екологічних наслідків використовують такі ГІС-програми:

✦ **ArcGIS (ESRI)** – потужна платформа для картографічного аналізу, просторового моделювання

✦ **QGIS (Quantum GIS)** – безкоштовний інструмент для обробки екологічних даних

✦ **Google Earth Engine** – супутниковий аналіз великих територій

✦ **GRASS GIS** – для просторового аналізу екологічних наслідків

✦ **SNAP (Sentinel Application Platform)** – аналіз даних супутників Sentinel



# Аналіз даних соціальних мереж і краудсорсинг

В умовах бойових дій корисними можуть бути дані, отримані від місцевих жителів, волонтерів та екологічних активістів.

## Методи збору інформації:

- Фотографії та відео з місця подій.
- Репортажі про забруднення від місцевих жителів.
- Використання мобільних додатків для збору екологічних даних (наприклад, AirVisual для моніторингу якості повітря).

## Переваги:

- ✓ Оперативність отримання даних
- ✓ Велике охоплення території

## Недоліки:

- ✗ Висока ймовірність фейкових або неточних даних
- ✗ Відсутність стандартизації у зборі інформації



# Джерела даних у соціальних мережах та краудсорсингових платформах

**Соціальні мережі є ключовими каналами для збору інформації під час військових дій. Основні платформи:**

- ◆ **Twitter (X)** – оперативні повідомлення, фотографії та відео з місць подій.
- ◆ **Telegram** – канали з військовими новинами, фотофіксація руйнувань.
- ◆ **Facebook** – пости від місцевих жителів, групи допомоги.
- ◆ **Instagram, TikTok** – відеоматеріали руйнувань та екологічних катастроф.
- ◆ **YouTube** – розслідування, відеофіксація наслідків атак.

**Крім соцмереж, активно використовуються краудсорсингові платформи, де люди можуть залишати інформацію про наслідки бойових дій.**

- ◆ **MapHub, OpenStreetMap** – інтерактивні карти руйнувань та забруднень.
- ◆ **Ushahidi** – платформа для краудсорсингового збору даних у зонах конфлікту.
- ◆ **Citizen Science проєкти** – використання добровольців для збору екологічної інформації.

# Методи збору та аналізу даних

## Автоматизований аналіз великих даних (Big Data)

Соціальні мережі генерують величезну кількість інформації, тому для її обробки використовуються методи машинного навчання та штучного інтелекту:

### ◆ Обробка природної мови (NLP, Natural Language Processing)

- Аналіз текстових повідомлень для виявлення ключових тем (наприклад, "хімічне забруднення", "пожежа", "розлив нафти").
- Виявлення панічних настроїв або дезінформації.

### ◆ Комп'ютерний зір (Computer Vision)

- Аналіз фото- та відеоматеріалів для автоматичного розпізнавання руйнувань, пожеж, забруднення.
- Використання алгоритмів для ідентифікації типів зброї, що застосовувалася.

### ◆ Геопросторовий аналіз (GIS-аналітика)

- Прив'язка даних із соцмереж до геолокації.
- Створення інтерактивних карт наслідків бойових дій (наприклад, пошкоджені заводи, нафтові сховища).



# Краудсорсинг для оцінки екологічних наслідків війни

Краудсорсинг (збір інформації від великої кількості добровольців) дозволяє швидко отримувати дані про реальний стан довкілля у зонах конфлікту.

## ◆ Приклади використання краудсорсингу

- **Моніторинг забруднення води** – місцеві жителі надсилають фото та описи змін у річках, колодязях.
- **Виявлення зон екологічного лиха** – пости в соцмережах допомагають ідентифікувати місця нафтових розливів, витоків хімікатів.
- **Аналіз пожеж та руйнувань** – волонтери надають дані про масштабні пожежі після ракетних ударів.

## ◆ Інструменти для краудсорсингу

- **MapHub** – інтерактивні карти, що дозволяють фіксувати екологічні катастрофи.
- **Zooniverse** – наукові проєкти для аналізу супутникових знімків із залученням добровольців.
- **EpiCollect5** – мобільний додаток для збору даних про забруднення.



# Використання даних соцмереж для екологічного моніторингу

## Аналіз наслідків військових дій

Дані із соцмереж та краудсорсингових платформ можуть бути використані для створення інтерактивних карт екологічних ризиків.

### ◆ **Виявлення джерел забруднення**

- ✓ Підриви об'єктів критичної інфраструктури (нафтобаз, хімічних заводів).
- ✓ Витоки небезпечних речовин у водойми після атак на дамби.
- ✓ Радіоактивне забруднення після пошкодження ядерних об'єктів.

### ◆ **Створення інтерактивних карт**

- ✓ Поєднання супутникових знімків із даними соцмереж для виявлення забруднених зон.
- ✓ Відстеження поширення токсичних речовин за допомогою громадських повідомлень.



# Використання соцмереж для раннього попередження

Соціальні мережі можуть стати джерелом оперативної інформації про екологічні небезпеки.

✓ **Виявлення перших повідомлень про аварії** – Twitter та Telegram часто фіксують події раніше за офіційні ЗМІ.

✓ **Попередження про хімічні загрози** – аналіз текстів дозволяє знайти згадки про "газовий запах", "дим" або "отруєння".

✓ **Моніторинг громадської думки** – виявлення паніки або поширення дезінформації.



# Виклики та ризики використання даних соцмереж

## Достовірність інформації

- ✘ **Фейки та дезінформація** – соціальні мережі можуть містити неправдиві дані.
- ✓ **Рішення:** Перевірка джерел через OSINT-методи (Open Source Intelligence).

## Етичні питання

- ✘ **Ризик викриття місць перебування цивільних** – у воєнний час відкрита геолокація може бути небезпечною.
- ✓ **Рішення:** Використання анонімізованих даних.

## Технічні обмеження

- ✘ **Аналіз великих обсягів даних** потребує ресурсів.
- ✓ **Рішення:** Використання машинного навчання та штучного інтелекту.



# Моніторинг забруднення після вибуху на Каховській ГЕС (Україна, 2023)

6 червня 2023 року внаслідок підриву дамби Каховської ГЕС сталася масштабна екологічна катастрофа. Це спричинило затоплення великих територій, загибель екосистем, хімічне забруднення води та можливе радіаційне забруднення через розмивання могильників небезпечних відходів.



## Супутниковий моніторинг

### ✈ Дані:

- ✓ Супутники **Sentinel-1, Sentinel-2 (ESA)** – виявлення масштабів затоплення
- ✓ **NASA MODIS** – аналіз змін у рослинному покриві
- ✓ **Maxar Technologies** – деталізовані знімки руйнувань

### ▣ Висновки:

- Площа затоплення сягнула 600 кв. км.
- Спостерігалось забруднення води важкими металами, нафтопродуктами.
- Руйнування екосистеми Дніпровського заповідника.



## Моніторинг за допомогою дронів

### ☞ Дані:

- ✓ Зйомка дронами волонтерських організацій для оцінки наслідків руйнувань.
- ✓ Використання тепловізорів для виявлення витоків нафти та хімікатів.

### ▮ Висновки:

- Зафіксовані плями нафтопродуктів площею понад 150 кв. км.
- Виявлені місця масової загибелі риби та тварин.



## Лабораторний аналіз води та ґрунту

### □ Дані:

- ✓ Проби води з Дніпра, які показали перевищення норм забруднення.
- ✓ Аналіз важких металів, пестицидів, хімічних сполук.

### ▮ Результати:

- Перевищення рівня аміаку, фосфатів, нітратів.
- Забруднення питної води через потрапляння каналізаційних стоків.



## ГІС-аналіз наслідків

### 🌐 Інструменти:

✓ ArcGIS – створення інтерактивних карт затоплення

✓ Google Earth – візуалізація змін у ландшафті

### 📊 Результати:

- Визначено 10 районів з найвищими екологічними ризиками.
- Оцінено можливість розповсюдження забруднення вниз за течією Дніпра.





## Краудсорсинг та соціальні мережі

➔📱 Дані:

- ✓ Telegram, Twitter – відео очевидців розливу нафти та загибелі тварин.
- ✓ Звіти екологічних організацій про якість води.

**■** Результати:

- Підтверджені нові зони забруднення, які не були зафіксовані супутниками.
- Дані використані для координації гуманітарної допомоги.



- ✓ Підрив дамби Каховської ГЕС спричинив масштабне екологічне лихо.
- ✓ Використання супутників, дронів, лабораторних аналізів, ГІС і соцмереж допомогло оцінити наслідки катастрофи.
- ✓ Моніторингові дані використані для прогнозування довгострокового впливу та розробки заходів з очищення довкілля.



**Цей приклад демонструє, що поєднання різних методів екологічного моніторингу є критично важливим для швидкої оцінки екологічних катастроф у зонах конфлікту.**