



**Екологічний моніторинг в басейні Чорного моря з
використанням продуктів програми Копернікус -
PONTOS
Публічний звіт проекту**



Листопад 2022

Спільні кордони. Спільні рішення.

ЗМІСТ

Вступ	3
Статистика	4
Чорне море: Спільні територіальні виклики	5
Пілотний район PONTOS у Вірменії: озеро Севан	6
Пілотний район PONTOS в Греції: дельта річки Нестос та її берегова зона	10
Пілотний район PONTOS у Грузії: узбережжя та Колхідська низина	13
Пілотний район PONTOS в Україні: прибережна полоса та дельта Дністра	17
Платформа PONTOS	21
Сервіси платформи: Pontos Open Data Cube	22
Сервіси платформи: Pontos Web Application	23
Сервіси платформи: Pontos WebGIS	24
Програма Копернікус	25

ВСТУП

Екологічний моніторинг в басейні Чорного моря з використанням продуктів програми Копернікус - PONTOS - це 30-місячний проект, фінансований Спільною операційною програмою (СОП) транскордонного співробітництва (ТКС) “Басейн Чорного моря 2014-2020” Європейського інструменту сусідства (ЄІС). В проекті беруть участь шість партнерів з чотирьох країн - Вірменії, Грузії, Греції та України.

Партнери PONTOS: 1) Центр охорони природи ім. Акопяна Американського університету Вірменії (AUA - головний партнер, Вірменія), 2) Інспекція охорони довкілля і видобувної промисловості Республіки Вірменії (EPMB, Вірменія), 3) Зелена альтернатива (GRAL, Грузія), 4) Грецький Центр досліджень і технології (CERTH, Греція), 5) Університет Демокрита у Фракії (DUTH, Греція) та 6) Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова (ОНУ, Україна). З загального бюджету проекту, що становить 999 967 євро, 92% були надані СОП ТКС “Басейн Чорного моря 2014-2020” ЄІС, а решта забезпечувалася спів-фінансуванням від партнерів проекту.

Фінансування від ЄС допомогло партнерам у проекті поглибити відносини між вірменською, грузинською, грецькою та українською командами проекту та побудувати міжнаціональну мережу з міцними можливостями моніторингу, використовуючи надійні та функціонально сумісні методи і інструменти. Крім того, партнерство PONTOS задіяло відповідні екологічні ініціативи, фінансовані ЄС та іншими донорами - як колишні, так і ті, що впроваджуються зараз - з метою досягнення синергії та оптимізації результатів. Головною рушійною силою у досягненні цілей проекту PONTOS стало широке використання даних та послуг програми Копернікус, зокрема тих, що відносяться до Послуг моніторингу Землі і морського довкілля (CMEMS).

PONTOS об'єднує природничі науки і польовий моніторинг, науки про дані, інформаційні технології, картографування та дистанційне зондування і багато інших дисциплін для створення онлайн-платформи, що на вимогу забезпечує дані та аналіз по країнах-партнерах. Це складний виклик, тому розробка і застосування рішень вимагає транскордонного та міждисциплінарного співробітництва.

В кожній з країн-партнерів є пілотний район для демонстрації ефективності та надійності цих онлайн-сервісів. Таким чином, платформу було створено спеціально щоб зустріти регіональні виклики рішеннями, які генеруються з використанням спільного інформаційного тезаурусу та методів вибору, а також ефективного застосування як вже виконаних європейських і національних науково-дослідних проектів, так і тих, що виконуються зараз.

Бенефіціарами проекту були спеціалісти, підприємства, громадські організації та органи влади, що активно займаються туризмом, сільським господарством, аквакультурою та іншою комерційною діяльністю в морських та річкових/ озерних прибережних районах. Серед інших новинок, PONTOS надає надійний спосіб вимірювання стоків, що надходять до Чорного моря, а також дає можливість за допомогою космічних та польових даних вести моніторинг таких ключових параметрів як температура поверхневих вод, солоність, біогенні речовини, потенційно токсичні елементи та наявність водоростей.

В центрі уваги було залучення громадян до діяльності, що дає їм змогу користуватися результатами проекту. Крім діяльності з розбудови спроможності, PONTOS пропонує засоби для розглядання у тандемі існуючих місцевих мереж моніторингу та продуктів і послуг Копернікус, поєднання їх онлайн сервісів з існуючою комп'ютерною та програмною інфраструктурою, ефективною співпраці і обміну ідеями та найкращими практиками по всьому регіону.

**Розбудова
можливості**

- Проведено 8 тренінгів з розбудови спроможності, відвідали близько 200 молодих вчених, пройшли в 4 країнах
- Навчено 18 тренерів
- Побудовано платформу Pontos
- Проведено 4 оцінки озера Севан
- Виконано 4 оцінки в дельті Дністра
- Виконано 5 оцінок в дельті річки Ріоні
- Виконано 5 оцінок в дельті річки Нестос

Заходи

- 4 семінари (“Мозкові штурми”) за участю 200 осіб
- 4 місцевих заходи для ознайомлення з проектом
- Участь у 4 міжнародних заходах
- Організовано хакатон
- Проведено 30 зустрічей команди проекту
- Організовано 7 прес-конференцій
- 1 медіа-тур для журналістів до вірменської пілотної території

Партнерство

- 4 країни в консорціумі
- 6 організацій-партнерів
- 13 меморандумів про взаєморозуміння підписано в чотирьох країнах
- Створено 4 місцевих кластери з водного менеджменту та запобігання забрудненню у всіх країнах-учасницях

Охоплення

- 170 000 представників громадськості охоплено через бюлетені проекту, веб-сайт та соціальні мережі
- випущено 6 бюлетенів
- підготовлено 6 віртуальних тренінг-модулів для широкої громадськості
- Створений та оновлюється веб-сайт pontos-eu.aqa.am
- Розповсюджено близько 5000 рекламних буклетів
- Підготовлено відео про проект

ЧОРНЕ МОРЕ: СПІЛЬНІ ТЕРИТОРІАЛЬНІ ВИКЛИКИ

Чорне море (ЧМ) вважається одним з найбільш вразливих регіональних морів через обмежений водообмін з відкритими океанами, а також впадіння в нього великих річок континентальної Європи, що мають великі водозбірні басейни. Відповідно до Стратегічного Плану Дій з захисту та відновлення ЧМ, високопріоритетними вважаються наступні проблеми:

- евтрофікація/ збагачення біогенними речовинами
- зміни, що відбуваються з живими морськими ресурсами
- хімічне забруднення (в тому числі нафтове)
- зміни, що відбуваються в біологічному різноманітті/ місцях мешкання, в тому числі інтродукція чужорідних видів.

Конвенція з захисту Чорного моря від забруднення розглядає заходи, спрямовані на вирішення цих проблем, що включають посилення співпраці між залученими країнами. Спільні зусилля, спрямовані на збереження екосистем та захист морських і прибережних живих ресурсів, повинні посилюватись рік від року для забезпечення сталого збільшення добробуту, здоров'я та безпеки прибережних держав.

PONTOS розвиває екологічний моніторинг на транскордонному та регіональному рівнях за допомогою стратегій, що залишаються достатньо детальними для застосування на місцевому рівні. PONTOS фокусується на змінах у земельному покриві та землекористуванні в результаті геогенних та антропогенних процесів на значних частинах ключових водозборів і прибережних полос навкруги Чорного моря та значних внутрішніх водойм.



У проекті використовується інтелектуальний синтез підтверджених даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та результатів числових моделей для отримання кількісних оцінок фізико-хімічних змінних, що описують екологічні умови в Чорноморському регіоні. Такі важливі проблеми як водний слід сільського господарства, потоки біогенних речовин, процеси евтрофікації, зони берегової ерозії/ відкладення, зміни у землекористуванні та заліснення/ знищення лісів оцінені PONTOS на репрезентативних пілотних ділянках у всіх країнах-партнерах. Під час і після реалізації проекту низка національних агентств, регіональних органів влади, муніципалітетів, бюро та органів, що керують природоохоронними територіями, приватні стейкхолдери та широка громадськість отримують користь від результатів, розробленої платформи та баз даних. Було встановлено прямий зв'язок з уже існуючими механізмами моніторингу, забезпечуючи сталість результатів шляхом взаємодії та включення механізмів генерування знань PONTOS з урядовими

ПІЛОТНИЙ РАЙОН PONTOS У ВІРМЕНІЇ: ОЗЕРО СЕВАН

Пілотний район Вірменії включає озеро Севан - найбільше джерело прісної води для Вірменії - та його водозбір. Регіональна екосистема зазнає різних невідкладних проблем, від забруднення до браконьєрського вилову риби. Зростання міської забудови та зміни землекористування в результаті коливання рівню води також стали важливими викликами.

Фото 1: Озеро Севан, пілотний район проекту у Вірменії. Фото Севанського національного парку



СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИЙ ВОДНИЙ БАЛАНС, ПРОДУКТИВНІСТЬ ВОДИ ТА ІНДЕКСИ ВОДНОГО СТРЕСУ

- Для детального аналізу було вибрано чотири пілотні ділянки.
- Дані про пілотний район збиралися з різних джерел, включаючи супутникові знімки, існуючі низки даних та метод опитування.
- Індекси NDVI/ NDMI розраховувалися для пілотних ділянок для вегетаційних сезонів 2017-2022 на основі даних Sentinel-2.
- Для визначення найбільш ефективних сценаріїв зрошення для вибраних культур застосовувалися критерії часу та глибини (мм).
- Ці параметри зрошування можуть бути застосовані фермерами по всьому району досліджень для оптимізації сільськогосподарського водокористування та збільшення врожаїв.
- На основі розрахованих цільових значень зрошення для найбільш популярних культур в басейні озера Севан було розраховано загальну потребу в зрошувальній воді для басейну.



Фото 2: Вирощування капусти у Варденіку



Фото 3: Пшеничне поле у Норатусі

Використовуючи модель AquaCrop і зібрані дані в поєднанні з прикладними та гіпотетичними сценаріями зрошення, ми визначили оптимальні стратегії зрошення для найбільш популярних типів культур в басейні озера Севан. Застосування цих стратегій має призвести до зменшення водоспоживання та водного стресу, а також підвищення продуктивності сільськогосподарства. Однак ці методи все ще потребують випробування на місцях і коригування на основі фактичних результатів.

Тим не менш, існує ще одна проблема, пов'язана з поганим станом зрошувальної інфраструктури, середніми втратами води 50% та відсутністю вимірювань використаної води. Незважаючи на те, що завдяки застосуванню пестицидів сільськогосподарське виробництво підвищилося, ця практика ще більше сприяє екологічним проблемам озера Севан. Таким чином, майбутня діяльність з розвитку басейну повинна бути зосереджена на вирішенні проблем ефективності використання води, а методи зрошення мають базуватися на знаннях, враховуючи при цьому тенденції зміни клімату.

Дані Copernicus мають вирішальне значення для моніторингу змін у сільськогосподарських угіддях та для допомоги у розробці відповідей на кліматичні та антропогенні виклики. Щоб безперервно й автоматично генерувати екологічні індекси та виявляти відповідні зміни в басейні озера Севан, ми задіяли пакет програмування Sen2r. Відповідні індекси для моніторингу сільськогосподарських угідь включають NDVI, MSAVI2, NDWI та NDWI2. Такі інструменти, як Sen2r і платформа PONTOS, допоможуть автоматизувати збір даних і моніторинг, що заощадить час як аналітиків, так і осіб, які приймають рішення.

ОЦІНКА ЗМІН ПОКРИВУ ПРИБЕРЕДНО-ВОДНОЇ І ПЛАВУЧОЇ РОСЛИННОСТІ В ПІЛОТНОМУ РАЙОНІ ВІРМЕНІЇ

Для оцінки просторово-часових змін водної рослинності озера Севан ми поєднували супутникові знімки з польовими даними. В основному використовувались зображення середньої роздільної здатності, на основі яких розраховувались індекси рослинності. Методологічно наші результати продемонстрували потенціал відтворюваного та безперервного використання супутникових знімків середньої роздільної здатності з Landsat та інших джерел, що знаходяться у вільному доступі, для моніторингу змін у навколишньому середовищі.



Фото 4: Водна рослинність біля заповіднику Нурашен



Фото 5: Суміш водної рослинності та дерев, що залишились у воді після підняття рівню біля устя річки Дзкнагет

Результати наших досліджень показують, що тривале зниження рівня води сприяє поширенню макрофітів. Також можна припустити, що зміни водної рослинності та рівня води пов'язані з антропогенними втручанням.

У цій роботі проводиться порівняння різних вегетаційних індексів (VI) у картографуванні водної рослинності (AV) і оцінюється здатність трьох індексів аналізувати водні екосистеми: нормалізований відносний індекс рослинності (NDVI), нормалізований відносний індекс водної рослинності (NDAVI) і нормалізований відносний індекс води (NDWI). Результати показують, що водна рослинність озера Севан в основному представлена надводною рослинністю, яка зазвичай росте в прибережній зоні, а не в глибоких лагунах. Домінуючими видами є *Butomus umbellatus* та *Potamogeton pectinatus*.

Одним із найважливіших висновків є те, що цвітіння водоростей може бути величезною перешкодою для виявлення водної рослинності на супутникових знімках. Це особливо важливо для автоматизованого збору даних і розрахунку індексів. Щоб запобігти цьому, рекомендуємо уникати використання зображень, знятих під час сезону цвітіння, який триває з середини літа до середини осені, або використовувати більш глибокі наукові підходи, такі як алгоритми, наприклад які використовують різні хвилі в короткохвильовому інфрачервоному діапазоні.

ЗМІНИ ЛІСОВОГО ПОКРИВУ ТА ЇХ НАСЛІДКИ ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ

Пілотний район Вірменії включав всю територію Севанського національного парку. Перша інвентаризація лісового господарства парку проводилась в 1962 р., а потім у 1972 і 1983 рр. Однак після цього інвентаризації були припинені, і лише в 2005 р. лісовий покрив було повторно оцінено під час коригування меж парку за допомогою ГІС. Оцінка 2005 р. показала, що ліс займає 13 250,3 га, що на 1 285,2 га більше, ніж площа, зареєстрована в 1983 р. Таке збільшення можна пояснити як насадженням штучних лісів, так і поширенням чагарників з високим потенціалом росту стовбура, таких як обліпіха та жовта акація – обидва види спостерігалися в Севанському національному парку під час виїздів на територію.

За допомогою супутникових знімків розраховано лісовий покрив та його втрату за період 2009 - 2020 рр. Аналіз виявив втрату 510,7 га лісового покриву за цей період. Щодо якості навколишнього середовища, ми не виявили зв'язку між цією втратою лісового покриву та якістю води в озері Севан.



Для подальшого вивчення буде потрібна актуальна та точна інвентаризація лісового господарства в Севанському національному парку. Крім того, моніторинг якості води має проводитись через рівні проміжки часу щоб забезпечити високу якість результатів досліджень та обґрунтовані прогнози.

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА КОНЦЕНТРАЦІЇ ХЛОРОФІЛУ ТА ДИНАМІКИ ЕВТРОФІКАЦІЇ В ПІЛОТНОМУ РАЙОНІ ВІРМЕНІЇ

Протягом всього періоду досліджень ми реєстрували просторові та часові зміни концентрацій хлорофілу “a” та загальної зваженої речовини (TSM) в оз. Севан. У просторовому плані було виявлено, що південно-східний регіон Великого Севану часто демонструє вищу біомасу водоростей. В плані часу, цвітіння водоростей реєструвалось з червня по серпень. Найбільша інтенсивність відмічалась в 2018 та 2019 рр. Той факт, що 2018 р. був найспекотнішим у Вірменії за останнє десятиліття, вказує на потенційну роль спеки в стимулюванні цвітіння водоростей. Значущих кореляцій між цвітінням водоростей і рівнями азоту (N) не виявлено. Проте, навесні та восени реєструвалися високі концентрації фосфат-іонів (PO_4^{3-}), що негативно корелює з рівнем водоростей і натякає на їх потенціальну спроможність обмежувати цвітіння.

Ці висновки показують, що двома найважливішими факторами цвітіння водоростей в оз. Севан є температура та фосфор. Враховуючи очікуване зростання температури через зміну клімату, частота та інтенсивність цвітіння водоростей збільшуватимуться якщо не буде вжито заходів. Хоча зростання температури є непередбачуваним і контролювати його неможливо, необхідно докласти зусиль для обмеження надходження фосфору з зовнішніх джерел щоб пом'якшити цвітіння в найближчому майбутньому. Можливі політичні заходи мають покращити управління стічними водами, добривами та аквакультурою навколо озера. Ще є рішення, засновані на можливостях природи - такі як створення штучних водно-болотних угідь та плавучих поясів водної рослинності, які здатні фільтрувати та поглинати біогенні та інші речовини стоків.

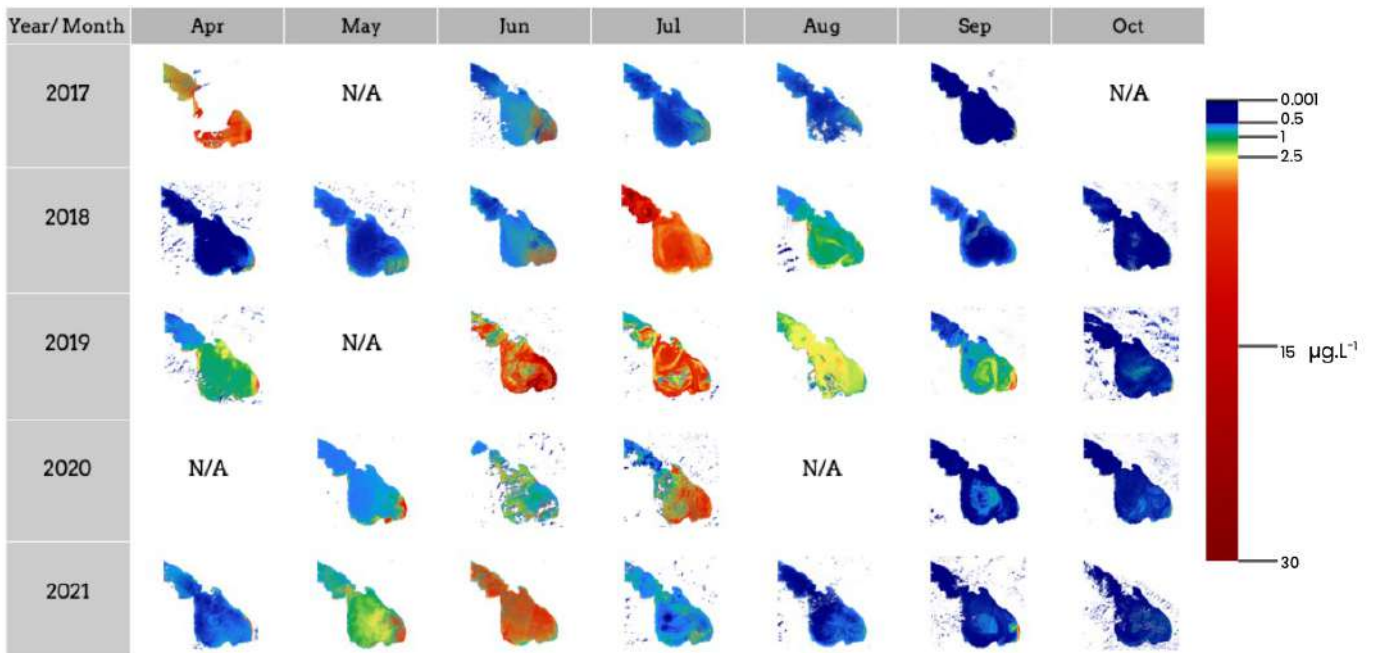


Рисунок 1: Часові коливання концентрацій хлорофілу “a” в озері Севан з 2017 по 2021 рр.

ПІЛОТНИЙ РАЙОН PONTOS В ГРЕЦІЇ: ДЕЛЬТА РІЧКИ НЕСТОС ТА ЇЇ БЕРЕГОВА ЗОНА

Пілотний район PONTOS в Греції включає дельту річки Нестос та комплекс лагун Вістонікос, що являють собою водно-болотні угіддя великого екологічного значення, охороняються за Рамсарською угодою і входять до мережі Natura 2000. Проект PONTOS приділяє основну увагу узбережжю пілотного району та шести прибережним лагунам комплексів річки Нестос та Вістонікос.

Лагуни носять назви Ератіно, Агіясма, Лафрі, Порто-Лагос, Ксіролімні та Птелея. Берегова лінія довгий час піддається значній ерозії, особливо після побудування дамби на річці Нестос. Лагуни зазнають впливу від сільського господарства, переважно надходять сполуки азоту і фосфору, що викликає часті випадки евтрофікації. Крім того, необхідно припинити засолення прибережних водоносних горизонтів та нераціональний менеджмент прісних вод, впровадивши сучасні технології точного зрошення. Усі вищезгадані питання досліджуються в рамках PONTOS з використанням супутникових продуктів, розроблених програмою Копернікус.

ОЦІНКА ДИНАМІКИ БЕРЕГОВОЇ ЛІНІЇ: ХІД РОБОТИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

- Закінчено виконання аналізу динаміки берегової лінії за період з 1985 по 2020 рр. Стандартна методика застосовувалася в чотири етапи:
 - створення списку даних з усіма доступними супутниками та космічними знімками,
 - вилучення історичної берегової лінії з відповідних супутникових знімків,
 - оцінка зміщення берегової лінії протягом досліджуваного періоду,
 - аналіз хвиль на відстані від берегу та в прибережній зоні (екстремальні хвильові явища, енергія набігаючої хвилі, дальній транспорт наносів уздовж берега тощо).
- Вся прибережна зона характеризується інтенсивною ерозією через побудування трьох гребель - як для гідроелектростанцій, так і для зрошення. Будівельні роботи розпочалися на початку 60-х і закінчилися наприкінці 1996 р. Греблі поступово порушили баланс між ерозією та відкладенням наносів, особливо в районі дельтової зони річки Нестос, де за оцінками скорочення надходження наносів через перекриття річки склало, порівняно з історичними даними, 84 %.



Рисунки 2 і 3: Вплив побудови гребель на прибережну зону естуаріїв річки Нестос

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА КОНЦЕНТРАЦІЙ ХЛОРОФІЛУ “А” ТА ДИНАМІКИ ЕВИРОФІКАЦІЇ: КОРОТКЕ ВИКЛАДЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

- Проведено картографування та оцінка концентрацій хлорофілу “а” в прибережних лагунах Північної Греції.
 - Ці прибережні лагуни мають культурне, екологічне та економічне значення, тож необхідно вести моніторинг для вирішення проблем якості води.
 - Основна увага приділялася просторово-часовій еволюції концентрацій хлорофілу “а” за період 2013-2021 рр.
 - Були отримані та оброблені супутникові знімки Landsat 8 за 2013-2015 рр. та Sentinel-2 за період 2015-2021 рр.
- Було підготовлено детальний опис змін концентрацій хлорофілу “а” в лагунах Вассова, Ератіно, Агіясма, Порто-Лагос, Ксіролімні та Птелея.



Рисунок 5: Лагуна Порто-Лагос



Рисунок 7: Лагуна Ксіроліміні

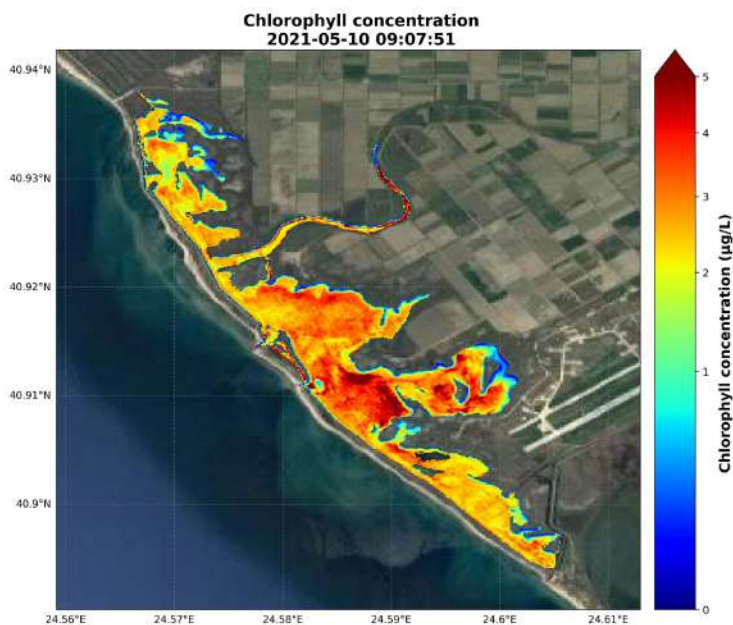


Рисунок 4: Просторовий розподіл концентрацій хлорофілу “а” в лагуні Ератіно

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИЙ ВОДНИЙ БАЛАНС, ПРОДУКТИВНІСТЬ ВОДИ ТА ІНДЕКСИ ВОДНОГО СТРЕСУ: ХІД ВИКОНАННЯ РОБІТ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

- Розраховано використання води сільськогосподарським сектором у пілотному районі.
 - Розраховані та запропоновані контрольні значення водопродуктивності для найбільш популярних та вимогливих до води культур.
 - Оцінено потенційний річний рівень водного стресу, який фермери спричиняють посівам.
- Досягнуть прогресу в розробці функціонального інструменту, що сприятиме раціональному використанню наявних водних ресурсів на рівнях від одного поля до цілого водозбірного басейну.

ВИСНОВКИ

Численні опитування фермерів у районі досліджень показали, що вони схильні до надмірного зрошення, прагнучі забезпечити максимально можливі врожаї. В результаті, фермери витрачають надмірну кількість доступних ресурсів поверхневих та підземних вод, тим самим зменшуючи кількість доступної води та збільшуючи засолення прибережної зони, що погіршує її стан. Результати проекту показали, що раціональніше використання наявних водних ресурсів сільськогосподарським сектором можливе, якщо інтегрувати інструменти точного зрошення у практику планування зрошення фермерами. Це зменшить водний слід посівів у районі на 10-30% залежно від культури, типу ґрунту тощо.



ПІЛОТНИЙ РАЙОН ПРОЕКТУ PONTOS У ГРУЗІЇ: УЗБЕРЕЖЖЯ ТА КОЛХІДСЬКА НИЗИНА

Пілотні райони Грузії - це узбережжя і Колхідська низина (Колхеті) в західній Грузії.

Узбережжя, що включає всю берегову лінію Грузії, стикається із загрозою сильної берегової ерозії, викликаній поєднанням підвищення рівню моря, тектонічного опускання суші, змін русла ріки і стоку.

Колхідська низина охоплює низов'я ріки Ріоні, включаючи її дельтову частину. Головні екосистеми Колхеті - це реліктові листяні ліси і водно-болотні угіддя (ВБУ), колхідські дощові ліси - найбільш вологі серед помірних листяних лісів, вони нараховують 1100 видів судинних рослин, зокрема деревинних та мохоподібних; там мешкає майже 500 видів хребетних і велика кількість безхребетних видів.

Серед екологічних проблем регіону - скорочення стоку ріки і наносів, що впливає на район дельти та її природні ареали внаслідок побудови декількох регулюючих дамб і водосховищ у Чорноморському басейні, що спричинило значну деградацію або втрату нерестовищ осетрових видів (включаючи Атлантичного осетра). Інші значні проблеми включають забруднення вод, деградацію ВБУ, а також втрату лісового покриву.

ДИНАМІКА БЕРЕГОВОЇ ЛІНІЇ: ХІД РОБІТ

- Були зібрані супутникові знімки (Sentinel і LandSat) та історичні дані за 1987-2021 рр.
- Виконано аналіз динаміки берегової лінії з використанням інструменту DSAS.
- Космічні зображення дуже високої роздільної здатності (VHR) використовувалися для характеристики змін берегової лінії у вибраних суб-районах (вздовж узбережжя Абхазії та в регіонах Аджарії, Гурії та Самегрело-Земо-Сванетії) з більшою точністю.



Рисунки 8 і 9: Приклади росту (ліворуч) та ерозії (праворуч) берегової лінії
Фото: Іраклій Мачарашвілі

ОЦІНКА ДИНАМІКИ БЕРЕГОВОЇ ЛІНІЇ: РЕЗУЛЬТАТИ

- У період 1987-2013 рр. для 54,28% берегової лінії Абхазії була притаманна ерозія, а решта 45,72% характеризувалась зміщенням берегової лінії в бік моря.
- У той же період в другій частині берегової лінії 22,21% демонстрували зміщення в бік суші, а 77,79% - в бік моря.
- За період 2015-2021 рр. 56,57% узбережжя Абхазії зазнавало ерозії, а решта 43,43% характеризувались накопиченням наносів. В той же період у другій частині узбережжя 29,34% берегової лінії зміщувалися в бік суші, а 70,65% в бік моря.

ОЦІНКА ПОКРИВУ ПРИБЕРЕЖНО-ПОВЕРХНЕВОЇ І ПЛАВУЧОЇ РОСЛИННОСТІ: ХІД РОБІТ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

- Мета дослідження полягала в розробці методики якісної оцінки оз. Партоцхалі та ареалів плаваючої рослинності, використовуючи дистанційне зондування та ГІС, і надання їм еталонного статусу.
- Для картографування ареалів плавучої рослинності використовувався аналіз часових рядів зі щомісячними зображеннями NDVI (2015-2021).
- Растрові зображення NDVI генерувалися з використанням червоного та інфрачервоного діапазонів Sentinel-2. Для оцінки концентрації хлорофілу "а" в воді застосовували дистанційне зондування.



Фото: Іраклій Мачарашвілі

- Згідно з дослідженням, озеро зберегло здоровий хімічний та екологічний стан. Ми вважаємо, що здорова екосистема оз. Партоцхалі дає можливість створити програму моніторингу відповідно до вимог Водної Рамкової Директиви (ВРД) ЄС.

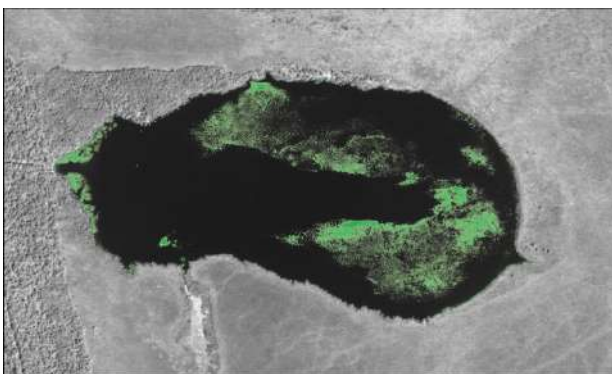


Рисунок 5: Фотокарта оз. Партоцхалі, вкритого килимом водяного горіху (панхроматичний знімок: WV02, 2016)

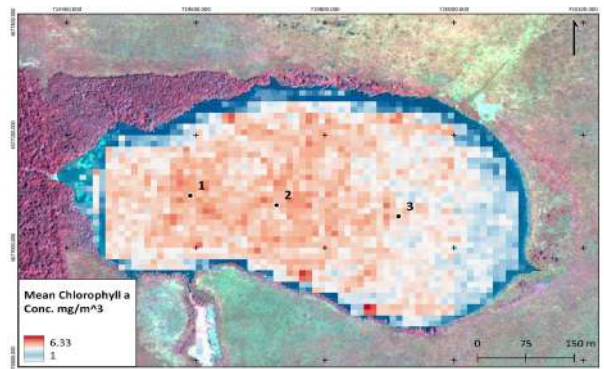


Рисунок 6: Оз. Партоцхалі, мультиспектральний знімок (22-08-2016) та модель концентрації хлорофілу (10 м)

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА КОНЦЕНТРАЦІЇ ХЛОРОФІЛУ “А” ТА ДИНАМІКИ ЕВТРОФІКАЦІЇ: ХІД РОБІТ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

- Комплексна оцінка динаміки концентрації хлорофілу та евтрофікації в грузинському пілотному районі, а саме в оз. Паліастомі та навкруги озера, була проведена за допомогою методів дистанційного зондування землі (ДЗЗ) та польових даних.
- Дослідження включало комплексну оцінку концентрації хлорофілу та динаміки евтрофікації з 2013 по 2021 рр.
- Цю частину дослідження було виконано шляхом обробки супутникових знімків дистанційного зондування Landsat 8 та Sentinel-2 у додатку SNAP.
- Крім того, у листопаді 2021, липні 2022 та вересні 2022 було проведено польові дослідження. Ми виміряли концентрацію хлорофілу, а також хімічні фактори, що впливають на неї, такі як: температура води, рН, загальна жорсткість, лужність і кислотність. Вимірювали каламутність і проводили якісні реакції для визначення наявності фосфатів та нітратів (біогенних речовин). У дослідженні також використовувалися дані датчиків, встановлених неурядовою організацією SABUKO (в рамках проекту «BSB Eco Monitoring», BSB-884) на озері Паліастомі. Проведено порівняння результатів ДЗЗ та польових досліджень.



Фото: Іраклій Мачарашвілі

- Дослідження показало, що оз. Паліастомі та територія навкруги озера зазнають евтрофікації. Спричиняють евтрофікацію як природні явища, так і антропогенні фактори (промислова діяльність, забруднення).
- Найвищі концентрації хлорофілу “а” в оз. Паліастомі реєструються в літні місяці. Перший пік спостерігається навесні (травень-червень), другий - влітку в районі серпня. Загалом озеро схильне до евтрофікації.
- В районі порту Поті підвищена концентрація хлорофілу “а” спостерігається не тільки в літні місяці, а й пізньої осені та взимку.

ЗМІНИ ЛІСОВОГО ПОКРИВУ ТА ЇХ НАСЛІДКИ ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ В ПІЛОТНОМУ РАЙОНІ ГРУЗІЇ

Основними причинами втрати лісового покриву та деградації лісів у Грузії є нераціональне використання лісів, неконтрольована та надмірна вирубка дерев, інфраструктурні проекти, видобуток корисних копалин, інтенсивний випас худоби, шкідники, хвороби та лісові пожежі. Втрата лісового покриву та деградація лісів негативно впливають на екосистемні послуги, завдають шкоди ґрунтам, водному балансу в лісі та поза лісом, зв'язуванню вуглецю та біорізноманіттю. В якості пілотного району були вибрані водно-болотні ліси Колхеті, що розташовані між річками Інгурі та Супса і простягаються до низовини Колхеті, включаючи керований заповідник Катсубурі. Національний парк Колхеті (заснований у 1999 р.) є важливою частиною пілотного району. Територія охороняється Рамсарською конвенцією (Рамсарське угіддя з 1996 р.) та Бернською конвенцією (входить до Смарагдової мережі з 2018 р.) У 2021 р. Комітет всесвітньої спадщини вніс Колхетські (Колхідські) ліси та ВБУ до Списку всесвітньої спадщини ЮНЕСКО.



Фото: Іраклій Мачарашвілі

На основі мультиспектральних супутникових знімків Sentinel-2 створено карти втрати та деградації лісів для території колхетських заболочених лісів. Результати показали, що зміни в основному пов'язані з діяльністю людини і є досить інтенсивними поза межами охоронюваної території.

Зміна площі лісів більше пов'язана з деградацією лісів, ніж з вирубкою, оскільки заготівля деревини місцевим населенням в основному здійснюється шляхом вибіркового рубок. На досліджуваній території спостерігається не тільки деградація, а й відновлення лісів. На нашу думку, це пов'язано зі зміною кліматичного та гідрологічного режиму, що призводить до збільшення біомаси дерев. Було випробувано різні методи визначення змін, однак, залежно від специфіки структури лісу та вирубок (площа вирубки), найкращим було спостереження за динамікою лісу за допомогою набору спектральних каналів і багатофакторного виявлення змін (MAD). Точність моделі визначалася шляхом порівняння із знімками Махаг дуже високої роздільної здатності, на яких зменшення або збільшення лісу було видно на рівні окремих дерев. Для підтвердження результатів здійснювалися польові виїзди.

Для лісів Колхетської низовини вперше створено модель змін, яка може бути використана лісогосподарськими органами та екологічними організаціями для моніторингу біорізноманіття.

ПІЛОТНИЙ РАЙОН PONTOS В УКРАЇНІ: ПРИБЕРЕЖНА ПОЛОСА ТА ДЕЛЬТА РІЧКИ ДНІСТЕР

Український пілотний район розташований в північно-західній частині Чорного моря і складається з двох спільних досліджуваних суб-районів: прибережної полоси та дельти річки Дністер.

Прибережна полоса включає найпопулярніші пляжі та рекреаційні зони півдня України від міста Одеси до дельти Дунаю. Значна територія дельтової частини Дністра належить Нижньодністровському національному природному парку; Дністер сполучається з Чорним морем через Дністровський лиман, який має велике екологічне та економічне значення для регіону.

Важливими проблемами пілотного району є берегова ерозія і забруднення біогенними речовинами, що впливають на якість питної та зрошувальної води і функціонування екосистеми; зарегульованість течії внаслідок впливу гідроенергетичного комплексу; надмірне розростання водної рослинності; природні пожежі і випалювання ВБУ.

В рамках проекту PONTOS Одеський національний університет імені І.І. Мечникова (ОНУ) активно залучав стейкхолдерів до співпраці, інформував їх про досягнення, розробки та набутий досвід, визначав їх вимоги та побажання. З цією метою у 2021-2022 рр. було проведено серію онлайн-заходів для місцевих стейкхолдерів, таких як Мозковий штурм для залучення потенційних зацікавлених сторін, Спільний відкритий семінар для інформування місцевої громади про хід проекту, Місцевий відкритий семінар для презентації того, що було зроблено в українському пілотному районі, та Місцевий захід для ознайомлення з платформою PONTOS та її інструментами, щоб покращити можливості використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Крім того, під час проекту було проведено два тренінги для молодих науковців та практиків, де учасники отримали практичний досвід у використанні даних та сервісів ДЗЗ. Всі цільові групи стейкхолдерів брали участь у заходах. Учасники неодноразово підкреслювали важливу роль проекту PONTOS, оскільки спільні проблеми, з якими стикаються країни Чорноморського басейну, терміново потребують спільних дій та тісної транскордонної співпраці.

ОЦІНКА ДИНАМІКИ БЕРЕГОВОЇ ЛІНІЇ: ХІД РОБІТ

- Було зібрано супутникові знімки (Sentinel та Landsat) та історичні дані за 1980-2021.
- Проведено аналіз руху берегової лінії за допомогою інструменту DSAS.
- Космічні зображення дуже високої роздільної здатності (VHR) використовувалися для точнішої характеристики змін берегової лінії вибраних суб-районів (с. Лебедівка та м. Чорноморськ).



Рисунок 10: Акумулятивно-ерозійний тип узбережжя (Тузловська піщана коса, 2019)



Рисунок 11: Абразивно-зсувний тип схилу (село Рибаківка, 2020)

ОЦІНКА ДИНАМІКИ БЕРЕГОВОЇ ЛІНІЇ: РЕЗУЛЬТАТИ

- Аналіз динаміки з використанням DSAS виявився корисним інструментом оцінки руху берегової лінії, а знімки високої роздільної здатності (VHR) рекомендуються для оцінки ефективності протизсувних та берегозахисних споруд.
- Максимальне зміщення берегової лінії в бік моря і накопичення наносів відмічалось в районах дельти Дунаю та піщаної коси біля лиману Сасик; також рух в бік моря реєструвався на ділянках узбережжя, що зазнають впливу абразії та зсувів і де є берегозахисні та протизсувні споруди (м. Чорноморськ, одеське узбережжя, села Крижанівка і Фонтанка).
- Зміщення берегової лінії в бік суходолу спостерігалось на решті ділянок (наприклад, ерозія коси, що відокремлює групу Тузлівських лиманів від моря, абразія та руйнація узбережжя на ділянці від с. Лебедівка до Будакського лиману).

ОЦІНКА ПОКРИВУ ВОДНО-БОЛОТНОЮ ТА ПЛАВУЧОЮ РОСЛИННІСТЮ: ХІД РОБІТ

- Були зібрані супутникові знімки (Sentinel і LandSat) та історичні польові дані про водну рослинність за 2009-2020 рр.
- Було проведено 4 експедиції на Дністровський лиман та оз. Біле, під час яких використовувалася БПЛА та відбирались зразки рослинності.
- За допомогою знімків з БПЛА та супутникових знімків високої роздільної здатності здійснювалось точне кількісне визначення покриття видами надводної та плавучої рослинності і її щільності, оцінювалися зміни як протягом року, так і міжріччя.

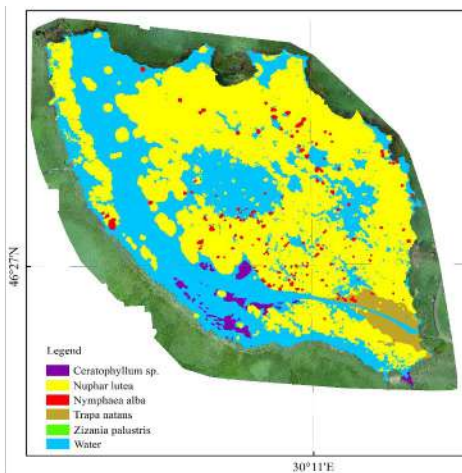


Рис. 7: Карта оз. Біле, побудована за знімками БПЛА (Липень 2021)

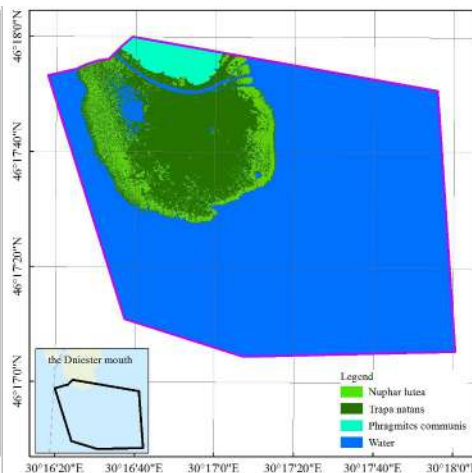


Рис. 8: Карта, побудована за знімками БПЛА (Липень 2021)

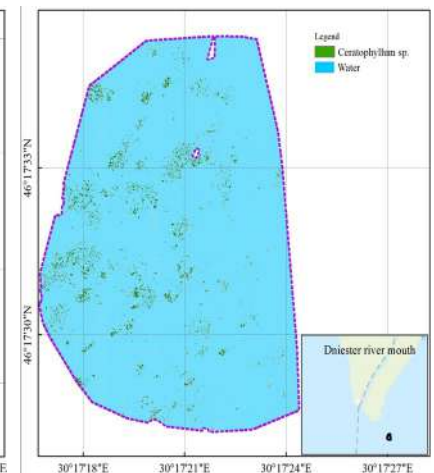


Рис. 9: Карта, побудована за знімками БПЛА (Липень 2021)

ОЦІНКА ПОКРИВУ ВОДНО-БОЛОТНОЮ ТА ПЛАВУЧОЮ РОСЛИННІСТЮ: РЕЗУЛЬТАТИ

- Покрів надводної рослинності був досить стабільним протягом часу в Дністровському лимані, тоді як дельтові озера були вразливішими (наприклад, площа оз. Біле з 1984 р. зменшилась на 16%).
- Гирлові ділянки зазнали сильного впливу від заростання плавучою рослинністю; з 2000 по 2019 рр. було виявлено поступове чітко виражене збільшення її покриття, в той час як з 2020 р. спостерігається зменшення заростання.
- Було виявлено, що знімки з БПЛА та супутникові знімки мають високу достовірність для розрізнення видів плавучої рослинності/ щільності їх покриття та створення детальної карти рослинності.
- Показано, що супутникові знімки VHR є актуальними для органів місцевої влади для моніторингу міжріччя та сезонних змін рослинного покриття на великих територіях.

ІНТЕГРОВАНА ОЦІНКА КОНЦЕНТРАЦІЙ ХЛОРОФІЛУ “А” ТА ДИНАМІКИ ЕВТРОФІКАЦІЇ: ХІД РОБІТ

- Були зібрані супутникові знімки (Sentinel і LandSat) та історичні дані за 2003-2020 рр.
- Проведено 6 експедицій на Дністровський лиман та оз. Біле з квітня по жовтень 2021 для виконання польових вимірювань та відбору зразків води.
- Емпіричний алгоритм розрахунку вмісту хлорофілу “а” розроблено на основі польових даних та характеристик смуг спектру відбиття, отриманих зі SNAP.

РЕЗУЛЬТАТИ

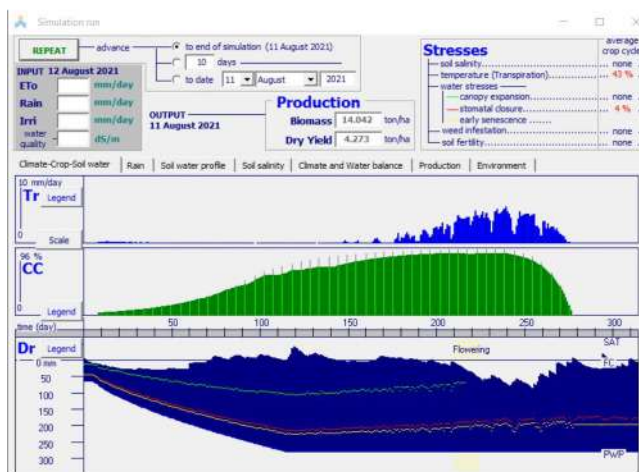
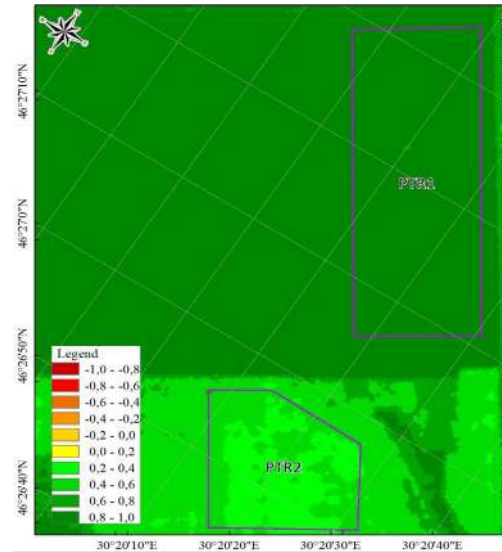
- Середні концентрації хлорофілу “а” в Дністровському лимані подвоїлись в 2011-2020 рр. порівняно з періодом 2003-2010 рр., в той час як біомаса фітопланктону зросла в 7-10 разів.
- Плавуча та занурена рослинність в досліджуваних водоймах співпадала з відображенням хлорофілу на супутникових знімках (тому настійливо рекомендується виключати з аналізу полігони з водною рослинністю).
- Зазвичай більш високі рівні евтрофікації реєструвалися в тепліші періоди року, а нижчі рівні - в холоднішу пору; середньомісячні концентрації хлорофілу були вищими за поріг евтрофікації (10 мг/л^{-1}) круглий рік за винятком лютого.



Рисунки 12-15: Польові вимірювання фізико-хімічних параметрів води в Дністровському лимані в експедиції влітку 2021 (зверху ліворуч), устя Дністра 26 липня 2021 (зверху праворуч), озеро Біле 23 липня 2021 (внизу ліворуч), Дністровський лиман 26 липня 2021 (внизу праворуч).

ОЦІНКА ВОДНОГО БАЛАНСУ ТА ІНДЕКСІВ ВОДНОГО СТРЕСУ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЕКОСИСТЕМАХ: ХІД РОБІТ

- Визначено типові культури (озимої пшениці та соняшнику) та обрано дослідні поля.
- Встановлено автоматичну метеостанцію та реєстратори вологості ґрунту; зібрано як історичні, так і поточні агрометеорологічні, управлінські, повітряні та супутникові дані.
- Для оцінки водного балансу за поточних умов поля та за альтернативних сценаріїв використовувалась модель AquaCrop.



Рисунки: картографування полів соняшнику за допомогою БПЛА в червні 2021 р. (вверху ліворуч), отриманий з БПЛА-знімку NDVI від 26 червня 2021 р. (вверху ліворуч), моделювання озимої пшениці за допомогою моделі AquaCrop (внизу ліворуч), автоматична метеостанція та реєстратори вологості і температури ґрунту, встановлені на полях озимої пшениці та соняшнику (внизу праворуч).

ОЦІНКА ВОДНОГО БАЛАНСУ ТА ІНДЕКСІВ ВОДНОГО СТРЕСУ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЕКОСИСТЕМАХ: РЕЗУЛЬТАТИ

- Доведено можливість використання моделі AquaCrop в Одеській області (південь України) для озимої пшениці та соняшнику за наявності польових та супутникових даних.
- AquaCrop показала високу вразливість озимої пшениці до температурного стресу (43%); на обидва культури вплинув невеличкий придиховий стрес (4%).
- Продуктивність використання води соняшником і озимою пшеницею була наступною: втрачався 1 м³ води за рахунок евакотранспірації для вирощування приблизно 0,66 та 1,00 кг врожаю відповідно.

ПЛАТФОРМА PONTOS

Платформа PONTOS пропонує спеціалістам з різних питань, в тому числі тим, хто не має технічних знань для написання програм або алгоритмів для обробки даних, прості у використанні безплатні онлайн-послуги зі зручним доступом.

Проект PONTOS робить інформацію з платформи Дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) Європейської програми Копернікус про екологічний стан Чорного моря більш доступною для науковців, органів влади, громадян та інших зацікавлених сторін через операційну платформу, називається Платформа PONTOS. Ця платформа об'єднує різні послуги та інструменти, призначені для користувачів.

Платформа PONTOS здійснює пошук супутникових, аерофото- і польових даних, знаходить та використовує існуючі карти з репозитарію програми Копернікус та інших, а також дозволяє кінцевим користувачам завантажувати свої дані.

Платформа пропонує наступні сервіси:

- PONTOS Data Cube: дозволяє легко будувати мапи на основі супутникових даних
- PONTOS Web Application: підтримка менеджменту повітряних (аерофото) та польових (*in-situ*) даних та додаткові супутникові модулі
- PONTOS WebGIS: комбінування інформації, що вже існує у вигляді мап

Важливим компонентом розширення використання продуктів і послуг Копернікус для моніторингу стану Чорного моря є надання можливості та збільшення участі, знань і навичок якомога більшої кількості місцевих та регіональних учасників, від науковців до державних службовців і простих громадян.

Платформа PONTOS вже виконала та включила спеціальні аналізи для пілотних районів проекту:

- PONTOS - AM (Вірменія): Озеро Севан та його басейн
- PONTOS - GE (Грузія): Дельта річки Ріоні та національний парк Колхеті
- PONTOS - GR (Греція): Річка Нестос та її дельта
- PONTOS - UA (Україна): Узбережжя від м. Одеси до дельти Дунаю та район дельти Дністра з прилеглим лиманом.

Важливою частиною проекту PONTOS є постійне вдосконалення та перевірка якості інструментів. Для цього у PONTOS Web Application та PONTOS Data Cube передбачено форму зворотного зв'язку, яка дозволяє користувачам надсилати постійні відгуки про якість програми. Користувачі можуть писати повідомлення про свій досвід або пропонувати вдосконалення. Усі введені користувачем дані зберігаються в базі даних у повній відповідності до Загального регламенту з захисту даних (GDPR), і суперкористувачі можуть переглянути їх у будь-який час.

СЕРВІСИ ПЛАТФОРМИ: PONTOS OPEN DATA CUBE

Open Data Cube (ODC) проекту PONTOS дає можливість кінцевим користувачам легко шукати, управляти, аналізувати і візуалізувати Analysis Ready Data (ARD) з супутників для кожного пілотного району. PONTOS Data Cube містить ARD Landsat 5, 7 та 8 з просторовою роздільною здатністю 30 м з 1984 р. до теперішнього часу та ARD Sentinel-2 з роздільною здатністю 10 м з 2015 р. до теперішнього часу.

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ODC

- Зменшення часу і спеціальних знань для доступу, пошуку і обробки супутникових даних.
- Ефективний аналіз часових рядів супутникових даних ДЗЗ.
- Послідовна архітектура даних, що дозволяє спільно використовувати інструменти та алгоритми.
- Програмні рішення з відкритих джерел, які просуваються за рахунок внесків спільноти.
- Постійна підтримка користувачів.
- Безплатні і відкриті супутникові дані ДЗЗ та алгоритми застосування.

ІНСТРУМЕНТИ, ДОСТУПНІ В PONTOS DATA CUBE

- Земля (урбанізація, спектральні аномалії, дробове покриття, спектральні індекси)
- Вода (визначення водної поверхні, якість води - загальна зважена речовина (TSM), зміни берегової лінії)
- Загальні (кастомна мозаїка, хмарність)

www.pontos-eu.aua.am

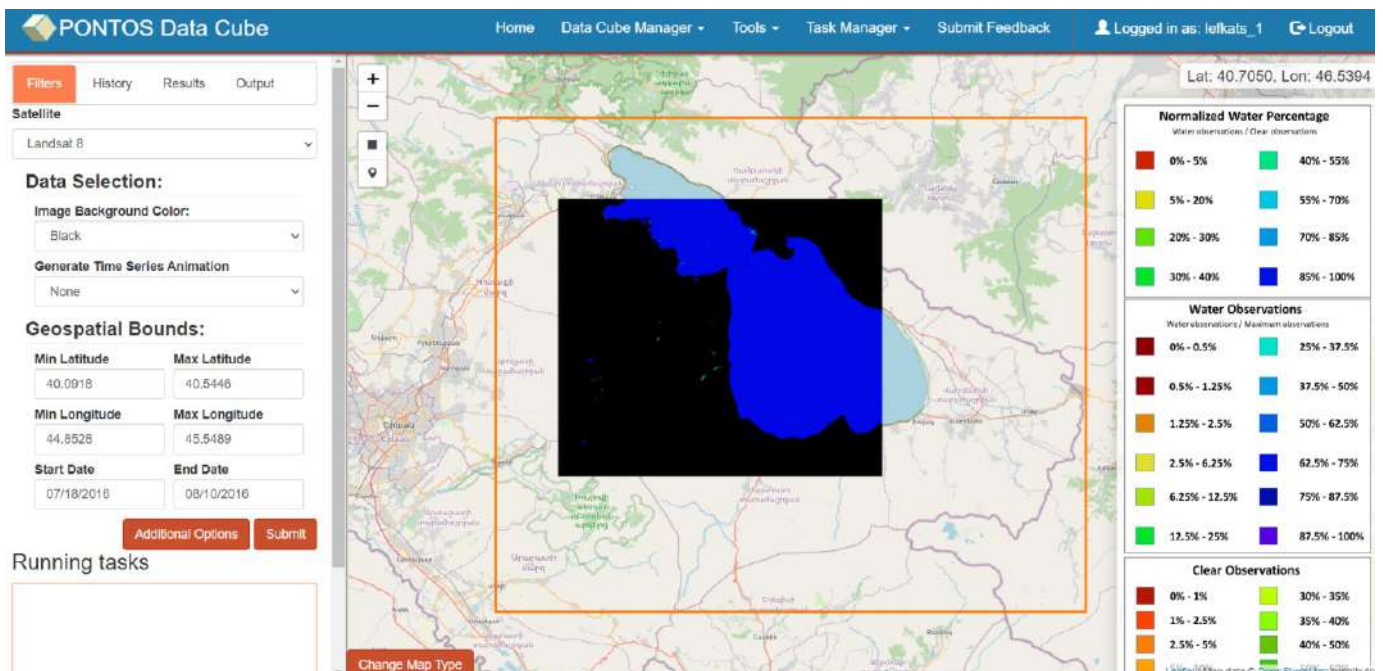


Рисунок 10: Інструмент “Визначення водної поверхні” у PONTOS Data Cube (на прикладі пілотного району Вірменії)

СЕРВІСИ ПЛАТФОРМИ: PONTOS WEB APPLICATION

Інструмент PONTOS Web Application інтегрований в платформу PONTOS. Він управляє та аналізує дані, отримані протягом проекту - повітряні (аерофото) та польові (*in-situ*). Web Application працює як доповнення до PONTOS Data Cube та PONTOS WebGIS. Сервіси Web Application доступні англійською, вірменською, грецькою, грузинською та українською мовами.

ІНСТРУМЕНТИ WEB APPLICATION

Менеджмент існуючих аерофото даних

- Розрахунок спектральних індексів
- Можливість візуалізації даних
- Завантаження результатів у форматах png або GeoTIFF

Завантаження даних від кінцевих користувачів

- Підтримка завантаження польових даних та даних аерофотозйомки
- Отримання описової статистики щодо баз даних
- Візуалізація аерофото даних
- Розрахунок спектральних індексів

Менеджмент існуючих польових (*in-situ*) даних

- Побудова діаграм
- Вибір описової статистики відносно рядів даних
- Завантаження результатів у форматі csv

Додаткові модулі, що використовують супутникові дані

- Водна маска (WaterMask)
- Гідроперіод
- Метрика фенології
- EODESM (напів-автоматичне картографування земного покриву)



Рисунок 12 : Візуалізація гідроперіоду в PONTOS Web Application (на прикладі пілотного району Грузії)

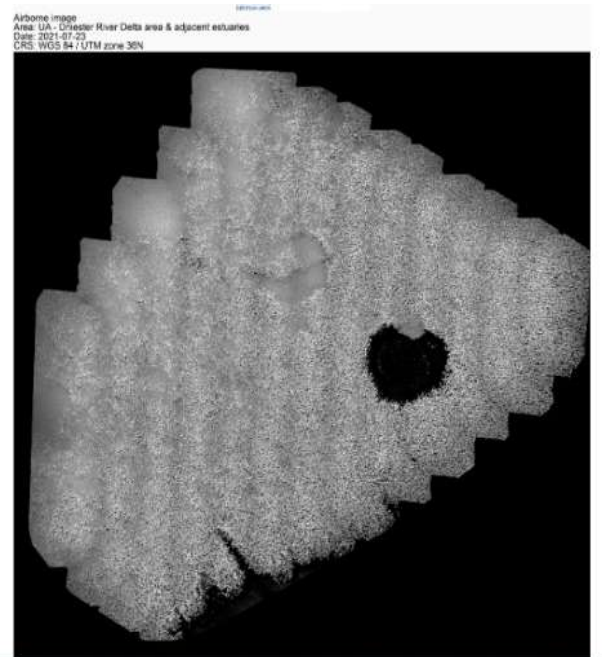


Рисунок 11: Візуалізація аерофото-знімку в PONTOS Web Application (на прикладі вибраної ділянки Дністровського лиману в пілотному районі України)

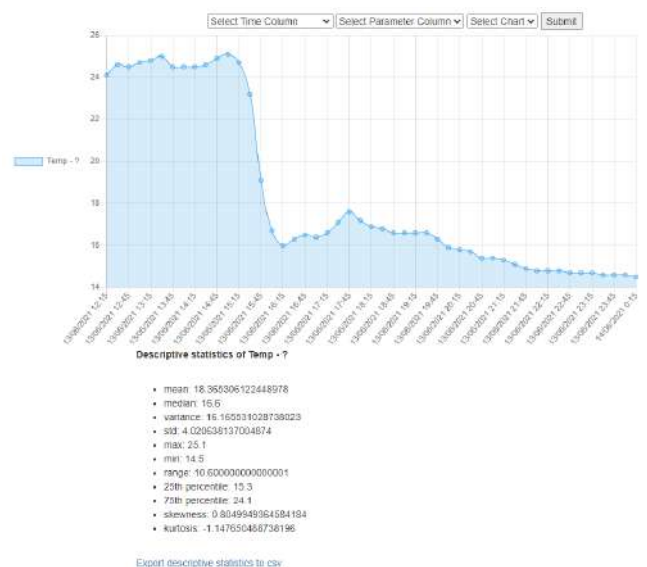


Рисунок 13: Аналіз польових даних в PONTOS Web Application (на прикладі пілотного району України)

СЕРВІСИ ПЛАТФОРМИ: PONTOS WebGIS

www.pontos-eu.aua.am

Метою створення WebGIS (Веб Геоінформаційної Системи) є подальше збільшення досвіду користувачів у тому, що стосується доступності даних для користувача, агрегації та візуалізації даних.

WebGIS допомагає приймати рішення, надає надійні низки даних науковцям та інженерам, залучає активних громадян та широку громадськість до вирішення проблем прибережної зони, сприяє поширенню інформації серед тих, хто займається менеджментом берегової зони, стейкхолдерів та широкого загалу.

Сервіс PONTOS WebGIS інтерактивно візуалізує просторові дані, зібрані проектом PONTOS і організовані у спільній просторовій інфраструктурі. Ця система поєднує принципи та інструменти Геоінформаційних Систем (GIS) і прагне гармонізувати великі та багатовимірні низки даних, зібрані протягом проекту.

WebGIS підтримує візуалізацію концентрацій хлорофілу, солоності та температури водойм, типів землекористування, даних з гідрології, погоди та рельєфу.

Користувачі сервісу PONTOS WebGIS можуть легко отримати доступ, вибрати та візуалізувати дані щодо чотирьох пілотних районів, отримані з:

- зовнішніх джерел даних, таких як Copernicus Hub для супутникових знімків Sentinel, Earth Explorer для інших супутникових даних, репозитаріїв CMEMS та EMODnet;
- зовнішніх даних з національних/ регіональних баз даних;
- даних, напрацьованих Консорціумом PONTOS в рамках проекту, для оцінки берегової ерозії, водного балансу та водокористування, евтрофікації, змін покриву водної рослинності та лісових масивів;
- геопросторові дані, завантажені кінцевими користувачами та стейкхолдерами у вибраних пілотних районах.



Рисунок 14: Режими базових карт, які доступні в PONTOS WebGIS: Транспорт, Транспорт на темному тлі, Акварель, Супутникова та Рельєф (на прикладі Грецького пілотного району)

ПРОГРАМА КОПЕРНІКУС

Копернікус - це програма Європейського Союзу (ЄС), що займається дистанційним зондуванням Землі (ДЗЗ), вивчає нашу планету та її екологічний стан на користь всім громадянам Європи. Програма пропонує інформаційні послуги, що спираються на супутникове ДЗЗ та польові (не-космічні) дані.

Програма Копернікус управляється Європейською Комісією та реалізується у партнерстві з державами-членами, Європейським космічним агентством (ESA), Європейською організацією з експлуатації метеорологічних супутників (EUMETSAT), Європейським центром середньострокових прогнозів погоди (ECMWF), агентствами ЄС та організацією Mercator Océan.

Цю програму було спеціально розроблено для задоволення вимог користувачів. Базуючись на супутникових та польових спостереженнях, сервіси Копернікус надають дані майже в реальному часі на глобальному рівні. Ці дані можуть також використовуватись для місцевих та регіональних потреб щоб допомогти нам краще зрозуміти нашу планету та раціонально використовувати довкілля, в якому ми живемо.

Копернікус обслуговується низкою виділених супутників (сімейства Sentinel) і допоміжними місіями (існуючі комерційні та публічні супутники). Супутники Sentinel спеціально розроблені для задоволення потреб сервісів Copernicus та їх користувачів. З моменту запуску Sentinel-1A у 2014 р. ЄС наглядає за будівництвом угруповання з 20 додаткових супутників, яке має бути завершено до 2030 р.

Копернікус також збирає інформацію з наземних систем, таких як наземні моніторингові станції, що передають дані, отримані за допомогою безлічі датчиків на землі, на морі чи в повітрі.

ШІСТЬ ТЕМАТИЧНИХ НАПРЯМКІВ ПОСЛУГ КОПЕРНІКУС



Фото: <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus/copernicus-detail>



ОТРИМАТИ БІЛЬШЕ ІНФОРМАЦІЇ можна за
адресою: pontos@aua.am
або на веб-сайті: pontos-eu.aua.am

Екологічний моніторинг в басейні Чорного моря з
використанням продуктів програми Копернікус - PONTOS

AUA ACOPIAN CENTER
for the ENVIRONMENT



CERTH
CENTRE FOR
RESEARCH & TECHNOLOGY
HELLAS



GREEN
ALTERNATIVE



Центр охорони природи ім. Акопяна Американського Університету Вірменії
Листопад 2022

Спільна операційна програма по басейну Чорного моря 2014-2020 співфінансується
Європейським Союзом (через Європейський інструмент сусідства) і країнами-учасницями:
Вірменією, Болгарією, Грузією, Грецією, Республікою Молдова, Румунією, Туреччиною і
Україною.

Ця публікація здійснена за фінансової допомоги Європейського Союзу. Її зміст є виключною
відповідальністю Центру Охорони Природи ім. Акопяна АУВ
і не обов'язково відображує точку зору Європейського Союзу.

www.blacksea-cbc.net