

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНОЇ ГЕОДЕЗІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
д. ф. – м. н., професор
_____ О.О. Железняк
« ____ » _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»
ЗА ОПП «ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

**Тема: «Використання супутникових даних для моніторингу водних ресурсів
Одеської області»**

Виконавець: студентка групи ГС-208М Байда Ірина Вікторівна

Керівник: к. т. н., доцент Ніколаєнко Олександр Євгенійович

Нормоконтролер: _____ к. ф. – м. н., доцент Великодський Ю. І.

КИЇВ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра аерокосмічної геодезії

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітньо-професійна програма «Геоінформаційні системи і технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д. ф. – м. н., професор

_____ О. О. Железняк

« ____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Байди Ірини Вікторівни

1. Тема дипломної роботи: «Використання супутникових даних для моніторингу водних ресурсів Одеської області»
2. Термін виконання роботи: з 25 жовтня по 31 січня.
3. Вихідні дані до роботи: супутникові дані, літературні та електронні джерела.
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ; Розділ 1. Можливості використання супутникових даних в моніторингу водних ресурсів; Розділ 2. Обробка супутникових даних для моніторингу водних ресурсів; Розділ 3. Аналіз стану водних ресурсів одеської області на основі супутникових даних; Висновки; Список використаних джерел.
5. Календарний план-графік.

№	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Узгодження змісту дипломної роботи	31.10.2019	Виконано
2	Огляд літератури та збір інформації за темою дипломної роботи	01-15.11.2019	Виконано
3	Написання першого розділу дипломної роботи	16-30.11.2019	Виконано
4	Аналіз процесу використання супутникових даних в моніторингу водних ресурсів	01-08.12.2019	Виконано
5	Написання другого розділу дипломної роботи	08-15.12.2020	Виконано
6	Систематизація отриманого матеріалу та написання третього розділу дипломної роботи	16-30.12.2020	Виконано
7	Підготовка розділу з охорони праці	01-11.01.2020	Виконано
8	Формування висновків, оформлення дипломної роботи та створення презентації	12-21.01.2020	Виконано
9	Виправлення помилок та зауважень	23-30.01.2020	Виконано
10	Захист дипломної роботи	05.02.2020	Виконано

6. Дата видачі завдання: «24» жовтня 2019р.

Керівник дипломної роботи _____ Ніколаєнко О.Є.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняла до виконання _____ Байда І.В.
(підпис студента) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Використання супутникових даних для моніторингу водних ресурсів Одеської області»: 97 с., 72 рис., 4 таблиці, 14 формул, 53 літературних джерела.

Об'єкт дослідження: водні ресурси Одеської області.

Предмет дослідження: стан водних ресурсів Одеської області.

Мета дипломної роботи: на основі космічних знімків провести моніторинг водних ресурсів Одеської області та створити серію тематичних карт.

Методи дослідження: картографічний метод, статистичний метод, методи аналізу та синтезу.

Результати магістерської роботи рекомендується використовувати в практичній діяльності фахівців-екологів для оцінки стану водних ресурсів в Одеській області.

СУПУТНИКОВІ ДАНІ, ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ, СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ, ВОДНІ РЕСУРСИ, ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН, ДИНАМІКА ЗМІН.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ В МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....	11
1.1. Сфери застосування супутникових даних	13
1.2. Використання супутникових даних в моніторингу водних ресурсів..	14
1.2.1. Моніторинг стану водозахисних і гідротехнічних споруд, водоохоронних зон та виявлення джерел забруднення.....	18
1.2.2. Інвентаризація водосховищ та інших водних об'єктів, моніторинг зміни їх кордонів.....	19
1.2.3. Моніторинг стану водної маси, в тому числі оцінка ступеня механічного, хімічного, біологічного та теплового забруднення водойм.....	20
1.2.4. Оперативний моніторинг результатів повеней і моделювання процесів затоплення території під час повеней.....	22
РОЗДІЛ 2. ОБРОБКА СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ	24
2.1. Використання програмного забезпечення ArcGis10 для обробки супутникових даних.....	30
2.2. Використання нормалізованих диференційних індексів в обробці супутникових знімків.....	33
2.2.1. Нормалізований диференційний індекс каламутності – NDTI (Normalized Difference Turbidity Index)	34
2.2.2. Нормалізований диференційний точковий індекс – NDPI (Normalized Difference Pond Index)	36
2.2.3. Нормалізований диференційний вегетаційний індекс – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	37

2.2.4. Нормалізований диференційний водний індекс – NDWI (Normalized Difference Water Index)	40
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ОСНОВІ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ.....	47
3.1. Загальна характеристика водних ресурсів Одеської області.....	47
3.2. Побудова зображень водних об'єктів Одеської області з використанням супутникових знімків.....	49
3.2.1. Стан водних об'єктів Одеської області за індексом каламутності NDTI та забруднення води.....	52
3.2.2. Зображення водойм Одеської області, отримані за значеннями індексу NDPI.....	59
3.2.3. Зображення водойм, побудовані відповідно до значень NDVI..	67
3.2.4. Стан водних ресурсів Одеської області зі водним індексом NDWI.....	73
ВИСНОВКИ.....	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	93

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

NDTI – Normalized Difference Turbidity Index

NDPI – Normalized Difference Pond Index

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

NDWI – Normalized Difference Water Index

TOA radiance – top of atmosphere radiance

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі

КЗ – космічний знімок

Кабмін – кабінет міністрів України

КА – космічний апарат

ВІ – вегетаційний індекс

ПС – програмне середовище

ВСТУП

Охорона довкілля та раціональне використання природних ресурсів невід'ємна частина процесу суспільного розвитку України та й всього світу в цілому. Адже природні ресурси є основою життєдіяльності населення та економіки держави, тому забезпечення їх збереження, відтворення та невиснажливого використання є однією з основних передумов сталого соціально-економічного розвитку держави.

Стан навколишнього природного середовища сьогодні є однією з найгостріших соціально-економічних проблем, що прямо чи опосередковано стосується кожної людини. Екологічна інформація у сучасному світі стала предметом особливої уваги органів влади, політичних кіл, громадських організацій, засобів масової інформації. Тому залишається важливим питання актуальності, а головне точної та правдивої інформації про стан навколишнього середовища.

Супутникове спостереження Землі на сьогоднішній день є одним з новітніх способів отримання даних про стан навколишнього середовища. Але, й тут на мою думку, не все так просто. Оскільки, супутники запускаються на навколосемні орбіти з різних країн світу і на обмежений термін, постає відповідно питання про подальшу долю супутників у разі їх несправної роботи. За останні кілька десятиліть було запущено безліч супутників, і на навколосемній орбіті вже обертається близько 19 000 об'єктів, що становить велику загрозу.

Але, з іншого боку, супутникові дані є найточнішими на сьогодні, і що дуже важливо, інформацію не можливо сфальсифікувати. Такі дані знаходяться у відкритому доступі, з різною розрізненністю та покривають всю територію Землі. Варто лише визначити який час та місце потрібне для огляду, і можна отримати інформацію про будь-яку місцевість.

Актуальність роботи. Вода є джерелом життя всього живого на Землі. Не дивно, що людина без води може прожити лише декілька днів. На жаль, людство не дійшло такого розвитку щоб контролювати ефективно використання та

поводження з водними ресурсами. Але, світ впевнено рухається до того, щоб світові водні ресурси зазнавали меншої шкоди від рук людини. Супутникові дані є одним з основних джерел отримання інформації про навколишнє середовище. До того ж, ці дані неможливо сфальсифікувати, що є дуже важливим. На мою думку, моніторинг стану водних ресурсів в Одеській області є актуальним та необхідним процесом: великою проблемою з точки зору погіршення якості води у водоймах області є скидання забруднених стічних вод у водні об'єкти, а масштаби підтоплення населених пунктів по всій області в останні десятиріччя набрали небезпечних оборотів. Використовуючи супутникові дані, можна провести моніторинг водних ресурсів Одеської області за окремими показниками. Тематика використання супутникових даних в моніторингу водних ресурсів знаходить відображення в роботах таких вчених світової науки як А.В. Абросимов, Б.А. Дворкин, J. Sheffield, E. F. Wood, M. Pan, H. Beck, G. Coccia, A. Serrat-Capdevila, K. Verbist.

Серед сучасних українських вчених проблеми використання даних ДЗЗ в моніторингу водних ресурсів розглядають В. І. Вишневський, С. А. Шевчук, Ф. Т. Шумаков, В. А. Толстохатко, Л. А. Антоненко, Л. В. Підгородецька, Л. М. Зуб,

О. Д. Федоровський, А. В. Соколовська, Д. К. Мозговий, Є. С. Анпілова, С. О. Довгий, Г. Я. Красовський, В. В. Радчук, О. В. Томченко, П. С. Іванов.

Мета роботи – на основі космічних знімків провести моніторинг водних ресурсів Одеської області та створити серію тематичних карт.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні **завдання**:

1. Провести аналітичний огляд наукової літератури стосовно досліджень з тематики роботи.
2. Створити зображення водних об'єктів Одеської області з використанням нормалізованих диференційних індексів.
3. Створити картографічні зображення для моніторингу водних ресурсів Одеської області з використанням програмного середовища ArcGis.
4. Створити зображення динаміки змін водних ресурсів Одеської області за останні 3 роки та провести аналіз даних моніторингу.

Об'єкт дослідження – водні ресурси Одеської області.

Предмет дослідження – стан водних ресурсів Одеської області.

Методи дослідження: базуються на застосуванні аерокосмічних методів, системного підходу, основних принципів теорії картографії, геоінформатики, моніторингу водних ресурсів.

Практична значимість роботи полягає в тому, що використання супутникових даних для моніторингу водних ресурсів Одеської області дозволяє оцінити їх рівень забруднення, зміну кордонів «суша-вода», здійснити прогнозування щодо можливих негативних наслідків у вигляді підтоплень чи засмічення.

Публікації. За матеріалами дипломної роботи опубліковано тези:

L.V. Plichko, V.I. Zatserkovnyi, O.E. Nikolaenko, I.V. Baida Use of geo-information technologies in tasks of water objects pollution monitoring // 18th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects // Taras Shevchenko National University of Kyiv - 15 May 2019. Індексуються у реферативній базі даних **Scopus**. DOI: 10.3997/2214-4609.201902121

Ніколаєнко О.Є. (науковий керівник), Байда І.В. Використання геоінформаційних систем в задачах моніторингу забруднення водойм // XVIII Міжнародна науково-практична конференція молодих учених "Політ. Сучасні проблеми науки" // Національний авіаційний університет – 3-6 квітня 2018.

Ніколаєнко О.Є. (науковий керівник), Байда І.В. Використання методу сплайнової інтерполяції для визначення якісного стану водойм // XIX Міжнародна науково-практична конференція молодих учених "Політ. Сучасні проблеми науки" // Національний авіаційний університет – 1-5 квітня 2019.

РОЗДІЛ 1

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ В МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

У даному розділі дипломної роботи розглянуто можливості використання супутникових даних. В яких сферах можна застосовувати супутникові знімки і які переваги мають дані ДЗЗ перед наземними методами досліджень. Окремо буде розглянуто використання супутникових знімків у моніторингу водних ресурсів. Оскільки, водні ресурси є важливим чинником існування всього живого на планеті, постає питання моніторингу та проведення різних досліджень, які визначають якість та стан води.

Тому ефективне управління водними ресурсами, проблеми раціонального водокористування та оцінки якості води є пріоритетними завданнями багатьох міжнародних проектів.

Особливістю більшості природних і штучних водних об'єктів (річки, озера, канали, водосховища) є їх фактична площа і протяжність, а також нерівномірне розміщення на всій території країни. Очевидно, що наявність інформації про їх точне місцезнаходження, взаємовплив і динаміку змін істотно впливає на якість прийнятих рішень в сфері управління водним господарством.

Дані дистанційного зондування надають важливу інформацію, яка допомагає контролювати різні програми, такі як злиття зображень, виявлення змін та класифікація покривів. Дистанційне зондування – ключовий прийом, який використовується для отримання інформації, пов'язаної із земними ресурсами та навколишнім середовищем. В умовах стабільно високого рівня техногенного навантаження на територію України, все більшого значення набуває розробка та впровадження автоматизованих геоінформаційних систем управління природокористуванням та охороною довкілля, головним завданням яких є підтримка системи моніторингу навколишнього природного середовища, своєчасна інвентаризація джерел забруднення та видача попереднього прогнозу

наслідків техногенного навантаження на довкілля, особливо в галузі водних ресурсів.

Можливості описаних вище технологій моніторингу стану водних об'єктів можна суттєво розширити застосуванням сучасних методів дистанційного зондування. За допомогою поєднання можливостей ГІС та технологій космічного моніторингу можна організувати безперервний процес актуалізації просторових даних за допомогою дешифрування космічних знімків, їх векторизацію, аналізу поточної ситуації в регіоні, прогнозування та пошуку прийнятних управлінських рішень.

Всі дистанційні методи спостережень за навколишнім середовищем можна поділити на активні і пасивні. В основі обох методів лежить взаємодія електромагнітних хвиль оптичного діапазону частот з матеріальними об'єктами і поширення цих хвиль у вакуумі, атмосфері і водному середовищі.

Особливістю пасивних методів є наявність в апаратурі лише приймача оптичного випромінювання. Джерелом випромінювання, що несе інформацію про об'єкт, служить в кінцевому рахунку Сонце. В активних методах апаратура включає не тільки приймач, але й джерело зонduючого випромінювання (сигналу), що посиляється з літального апарату на Землю [22].

На сучасному етапі розвитку техніки дистанційного зондування з космосу використовуються в основному пасивні методи, що вимагають малогабаритної апаратури з помірним споживанням енергії. Використання передавача в активних методах призводить до збільшення розмірів апарату, його маси і необхідної енергії. Однак інформативність активних методів є значно вищою. Носіями апаратури можуть бути різні наземні установки, аеростати, середньовисотні і висотні безпілотні і пілотовані літальні апарати, висотні науково-дослідні ракети, пілотовані космічні літальні апарати і орбітальні станції, штучні супутники Землі.

Пасивні методи. Найпростішим оптичним методом дослідження Землі з космосу є візуальне спостереження. До приладів, що працюють у видимому діапазоні електромагнітного спектра, відносяться різного типу фотографічні камери і телевізійні камери зі спеціальною передавальною електронно-

променевою трубкою. Крім того, для отримання зображення в декількох діапазонах довжин хвиль застосовується багатозональне фотографування. Перевагою цієї апаратури є надійність, хороша роздільна здатність на місцевості, велика інформативність. Недоліки — залежність від хмарності і сонячного освітлення.

1.1. Сфери застосування супутникових даних

Супутникова зйомка – це надійне джерело оперативної, об'єктивної і достовірної інформації, широко використовуваний для вирішення різних управлінських і господарських завдань. Завдяки багатьом достоїнств супутникова зйомка все частіше використовується при вирішенні багатьох прикладних задач. При цьому необхідно виконувати різноманітну обробку знімків, в тому числі:

- попередню обробку супутникових знімків (фільтрація перешкод, просторове і радіометричне поліпшення і т.п.);
- тематичну обробку супутникових знімків (спектральна класифікація, об'єктна класифікація і т.п.) [23].

Супутникові дані частіше за все використовують в сільському господарстві, картографії, геодезії, а також для моніторингу поверхні землі та світового океану.

У Національному центрі управління та випробувань космічних засобів дані ДЗЗ використовуються для вирішення наступних завдань:

- оперативного виявлення теплових аномалій (пожеж);
- прогнозування рівня пожежонебезпечності на території України;
- моніторингу температури підстилаючої поверхні;
- стану повітряної обстановки на території України;
- моніторингу стану снігозалягання та сніготанення;
- оцінки стану снігового покриву та сніготанення;
- прогнозування ймовірності танення снігу на території України;
- моніторингу висоти снігового покриву на території України;

– моніторингу льодового покриву Азовського моря та Керченської протоки. Також дані ДЗЗ використовуються для виконання завдань в інтересах безпеки та оборони держави.

Кінцева інформація обробки даних ДЗЗ надається споживачам за запитом [15].

1.2. Використання супутникових даних в моніторингу водних ресурсів

У постанові кабміну Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод [1] описано весь процес проведення досліджень стану водних ресурсів в Україні.

Гідрологічний збір даних вимагає розгортання фізичної інфраструктури, наприклад, дощових вимірювальних приладів, вимірювачів рівня води, а також використання дорогого обладнання, наприклад ехолотів (прилад для вимірювання глибини та виявлення об'єктів, які знаходяться у воді). У багатьох країнах світу зафіксовано зменшення розміщення фізичної інфраструктури для гідрологічних вимірювань. Країни, що розвиваються, особливо мають меншу кількість цієї інфраструктури, і там, де вона існує, вона погано підтримується. Супутникове дистанційне зондування може подолати цей проміжок, і його застосовували гідрологи протягом багатьох років, з найдавнішими застосуваннями у водоймах та картах повеней. З наявністю більшої кількості оптичних супутників із відносно низькими тимчасовими дозволами в усьому світі, супутникові дані зазвичай використовуються для картографування водних об'єктів, тестування моделей затоплення, моніторингу опадів та картографування масштабів повеней. Використання супутникових даних для оцінки гідрологічних параметрів продовжує зростати за рахунок використання кращих датчиків, покращення знань та використання супутникових даних та розширення тем досліджень. У праці [16] наведено огляд застосувань супутникового дистанційного зондування в моделюванні, картографуванні та оцінці параметрів поверхневих вод, а також обговорюються його обмеження щодо застосування поверхневих вод.

Збір гідрологічних даних все ще залишається складною задачею через недоступність вимірювальних приладів, недоступність місцевості та обмеженість простору / часу [19, 20]. Хорошою альтернативою для подолання цих труднощів є використання супутникового дистанційного зондування, яке може дати синоптичний вигляд цільових районів та виміряти зміни поверхні цілі, а тому надавати інформацію, необхідну для гідрологічних досліджень, управління річковим басейном, безпеки води / катастрофи. моніторинг / профілактика та управління водою тощо. Через науку про дистанційне зондування інформація про об'єкт може бути отриманий без прямого контакту з ним [21]. Ця здатність працює, вимірюючи електромагнітну енергію, відбиту або випромінювану від об'єктів на земній поверхні, таким чином, що різниця в коефіцієнті відбиття об'єктів дозволяє розпізнавати / виявляти та виділяти кожен тип / клас. Дані дистанційного відчуття мають два типи, залежно від основного джерела енергії. Пасивне дистанційне зондування залежить від природної енергії Сонця. Активне дистанційне зондування використовує керовані джерела енергії від приладів, що проміняють ділянки електромагнітного спектру. Зображення, отримані за допомогою інструментів, що вимірюють відбиття від Сонця, відомі як оптичні знімки. Таким чином, оптичні знімки із супутників отримують протягом дня, оскільки це залежить від відбиття сонячного світла від об'єктів на поверхні Землі за відсутності хмарного покриву. Залежно від специфікацій місії, супутники розміщуються на різних видах орбіт навколо Землі.

До орбіт належать низька орбіта Землі (LEO), середня орбіта Землі (MEO) та геосинхронні орбіти (GSO); варіаціями цих класів орбіт є полярна орбіта, геостаціонарна орбіта, орбіта Молнії та Сонцесинхронна орбіта. Більшість оптичних супутників, які використовуються для гідрологічних застосувань, знаходяться на навколотоземних орбітах і тому здатні надати детальні дані на високій землі (наприклад, рис. 1), хоча найкраща роздільна здатність Дані, як правило, не є у вільному доступі і є дорогими для отримання. Завдяки цій детальній роздільній здатності оптичні супутникові знімки використовуються для

картографування затоплення, картування дренажу, моніторингу стихійних лих, аналізу землекористування / наземного покриву тощо [17].

Активне дистанційне зондування може надавати дані як у вигляді зображень (наприклад, радарів), так і у вигляді вимірювань пульсу (наприклад, висотоміри та розсіювачі). Радар – це активне джерело даних дистанційного зондування, яке отримує дані за допомогою приладів, які випромінюють радіолокаційний сигнал до об'єкта, що цікавить, і вимірюють відбиту енергію від об'єкта. Радар може проникати в хмарний покрив і може бути придбаний у будь-який час, незалежно від наявності сонячного світла. Супутники SAR дозволяють вимірювати вологість ґрунту в голому районі, що робить його корисним для досліджень землекористування та покриття землі а також спостереження та моніторинг Землі [17].

SAR – це інструмент, що виглядає збоку, який посиляє сигнали, нахилені під кутом. Для водойм відбивна здатність хвиль SAR є вражаючою, що дає дуже низький рівень радіолокаційної віддачі та дуже темні зображення. Однак, коли є навколишня рослина, що розвивається, вітер, турбулентність тощо, може виникнути значна зворотна розсіювання, яке впливає на точність інформації, отриманої в результаті радіолокаційних вимірювань [18].

Супутникове дистанційне зондування застосовується в гідрології для України багато років. У таблиці 1 наведено деякі супутникові вильоти та датчики, які використовуються для гідрологічних досліджень та областей застосування.

Огляд Сміта [18] показує, що найдавніші гідрологічні застосунки були у картографуванні водних об'єктів та повеней; огляд включає чимало прикладів карт нагнітання, розроблених із супутникових знімків. [17] також склав документи, представлені на конференції щодо застосувань дистанційного зондування у багатьох аспектах гідрології. На Рис. 1.1. можна побачити супутникове зображення Одеської області у 5 каналі. Класифіковане зображення (Рис.1.2.) вод частини Одеської області, що показує п'ять класів функцій.

Таблиця 1.1

Деякі супутникові місії та датчики, які використовуються для гідрологічних досліджень.

Місія	Датчик (и)	Застосування (гідрологічне)
Aqua	AIRS, AMSR-E, AMSU-A, CERES, HiRDLS, HSB, MODIS	Поверхневі температури суші та океану (картографування повеней)
CryoSat	DORIS-NG, laser reflectors (ESA), SIRAL	Товщина льоду (застосовується також для приморського картографування та моніторингу внутрішніх вод)
Envisat	AATSR, ASAR, ASAR (image mode), ASAR (wave mode), DORIS-NG, MERIS, MIPAS	Фізична океанографія, лід і сніг (альтиметрія рівня океану / річки)
ERS1	AMI/SAR/image, AMI/SAR/wave	Земні ресурси, фізична океанографія (альтиметрія)
ERS2	AMI/scatterometer, ATSR AMI/SAR/image, AMI/SAR/wave, AMI/scatterometer, ATSR/M	Земні ресурси, фізична океанографія (альтиметрія)
Jason1	DORIS-NG, JMR, LRA, POSEIDON-2 (SSALT-2), TRSR	Фізична океанографія (альтиметрія рівня води в океані / річці)
Jason2	AMR, DORIS-NG, GPSP, JMR, LRA, POSEIDON-3	Фізична океанографія (альтиметрія)
Radarsat 1/2	C-band SAR, X-band SAR	Картування / моделювання повені
Sentinel 1	C-band SAR	Картування / моделювання повені
SRTM	C-band SAR, X-band SAR	Цифрові моделі висот, моделювання повеней
Terra	MODIS, MOPITT, MISR, ASTER, CERES	Фізичні процеси, поверхневі температури суші та океану (картографування поверхневих вод)
Topex/Poseidon	DORIS, LRA, POSEIDON-1 (SSALT-1), TMR, TOPEX	Фізична океанографія (альтиметрія)

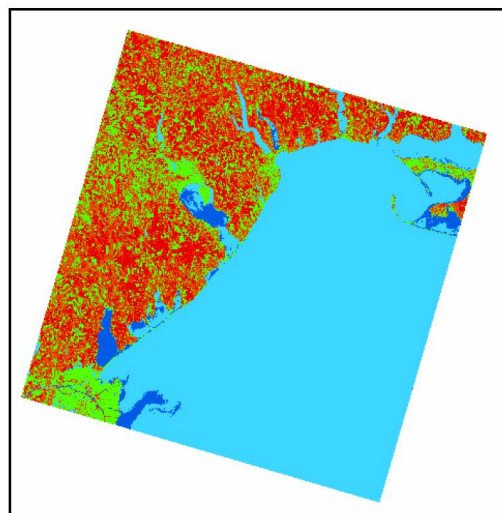
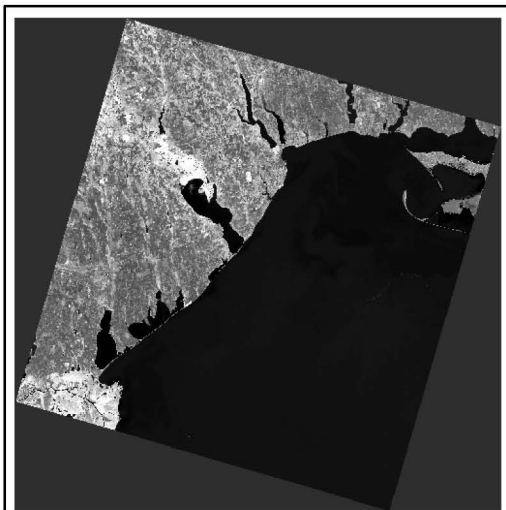


Рис. 1.1. Супутникове зображення Landsat 8, що показує річки Одеської області.

Рис. 1.2. Класифіковане зображення Одеських водойм, що показує п'ять класів.

1.2.1. Моніторинг стану водозахисних і гідротехнічних споруд, водоохоронних зон та виявлення джерел забруднення

Завдання, включені в дану категорію, об'єднує переважне використання для їх ефективного вирішення космічних знімків надвисокої роздільної здатності (не менш 1 м на місцевості). Дані ДЗЗ з космосу дозволяють оцінювати технічний стан споруд, проектувати нові об'єкти. Особливо перспективним є використання таких даних для протяжних об'єктів як при будівництві, так і при експлуатації, наприклад, водоохоронних дамб, гідротехнічних споруд у важкодоступних місцях.

Важливе значення має постійний оперативний моніторинг стану дамб та гребель з метою своєчасного виявлення процесів їх ерозійного розмиву, вітрового руйнування, утворення каверн в результаті розвитку карстових, термокарстових процесів, фізичного і хімічного вивітрювання.

Нарешті, по космічним знімкам надвисокої роздільної здатності можна найбільш впевнено виявити навіть незначні джерела забруднення у водоохоронних зонах і безпосередній близькості від них. Дані з КА WorldView 1, WorldView 2, GeoEye 1, QuickBird і IKONOS дозволяють, наприклад не тільки

виявити молочнотоварної ферми в зоні водозбору (це можна зробити і по знімках з розрізненістю в 5-15 м), а й представляють можливість оцінити інтенсивність її функціонування, виявити місця складування відходів і тальвеги, за якими фекальні води спрямовуються в водойму, причому встановити даний факт не ймовірно, а цілком реально. Це саме можна сказати і про інші об'єкти тваринництва, промислових і каналізаційних стоків, місцях несанкціонованого складування відходів усіх видів і інших локальних джерел забруднення. У сукупності з інформацією про майданних антропогенних впливах в рамках водозбірного басейну (розорювання, випас худоби, меліорація, рекреація, вирубка лісів та інше). Яку можна виявити на знімках з більш низькою розрізненістю (2,5-15 м), забезпечується отримання об'єктивної інтегрованої картини стану водозбору і водоохоронної зони, а також з'являється можливість здійснювати прогнози та планувати природоохоронні заходи [4].

1.2.2. Інвентаризація водосховищ та інших водних об'єктів, моніторинг зміни їх кордонів

Дешифрування космічних знімків з метою локалізації водних об'єктів забезпечує точне проведення кордонів розділу «вода – суша». Це досягається за рахунок використання деяких особливостей відображення водної поверхні на знімках. Ось кілька прикладів. У видимому діапазоні спектра вода має більш високий коефіцієнт поглинання, а значить, на денних знімках водні поверхні темніше, ніж суша. У ближньому інфрачервоному діапазоні відбивна здатність води нижче, ніж у видимому, тому індекс вегетації NDVI для води має негативні значення. Однак, слід, зауважити, що не все так просто. У водній масі багатьох озер і річок, що несуть великі обсяги акумулятивного матеріалу, присутня значна кількість зважених органічних і мінеральних часток, що призводить до різноманітності відображених яскравостей від акваторій різних водойм, а також всередині акваторії однієї водойми, до «розмивання» берегової лінії і, відповідно, до ускладнення процесу дешифрування.

Традиційно берегові лінії водойм визначалися одноразово в межений період при оновленні картографічної продукції. Космічна зйомка дозволяє не просто виконати разове встановлення кордону водойми, а й здійснювати регулярне визначення положення берегової лінії водосховищ та інших водних об'єктів, відслідковувати всі зміни конфігурації водного дзеркала з заданим ступенем періодичності.

Перспективними для цих цілей з точки зору «ціна – якість» є дані з КА ALOS (Японія) [2]. Картографічна камера PRISM, яка встановлена на супутнику, складається з трьох об'єктивів, спрямованих «вперед», «в надир» і «назад» і забезпечують отримання трьох окремих зображень з просторовою розрізненістю 2,5 м і шириною смуги зйомки до 35 км. Найбільш революційним параметром, що виділяє цю знімальну систему серед інших, є висока точність ортотрансформування знімків по орбітальним даним, без використання даних про наземних опорних точках. Використання тільки RPC-коефіцієнтів, описують елементи зовнішнього орієнтування камери і поставляються разом зі знімками, дозволяє отримувати ортотрансформування зображення земної поверхні з середньоквадратичної похибкою не гірше 10 м, що цілком задовольняє завданням створення та оновлення топографічних карт в масштабі до 1:25 000 [4].

1.2.3. Моніторинг стану водної маси, в тому числі оцінка ступеня механічного, хімічного, біологічного та теплового забруднення водойм

Важливим напрямком застосування даних ДЗЗ з космосу є моніторинг екологічного стану водних об'єктів. Технологія такого моніторингу включає попередню обробку космічних знімків (радіометричне калібрування, атмосферну корекцію) і їх автоматизоване дешифрування (спектральні класифікації, обчислення індексів, автоматичну векторизацію). Результати дешифрування оформляються в вигляді серій оперативних тематичних карт і стають інформаційною базою спеціалізованих геоінформаційних систем.

Екологічний стан водного об'єкта характеризується рядом ознак, які краще або гірше проявляють себе на космічних знімках. Тут найбільш перспективні мультиспектральні знімки, за якими добре виявляються і кількісно вимірюються обсяги механічних суспензій і біогенних елементів. Для більшості водосховищ актуальна проблема погіршення властивостей води в результаті евтрофікації – різкого підвищення біологічної продуктивності зелених водоростей (найчастіше антропогенно спровокованого), що приводить до негативних наслідків для всієї екосистеми водойми. Виявити наявність цього процесу і його стадії розвитку можна, вивчаючи зміни спектральних характеристик на серії мультиспектральних знімків. Вибіркові польові дослідження, проведені на акваторії, дозволяють безперешкодно перейти до чисельних показників обсягу зважених часток як в разі механічного, так і біологічного забруднення.

Досить часто виникає питання: чи можна за космічними знімками визначати хімічний склад водойми, оцінювати зміст тієї чи іншої речовини в воді? Безпосередньо, на основі сучасної апаратної і алгоритмічної бази даних ДЗЗ – не можна. Інша справа, коли мова йде про непрямі визначення, інтерполяції. Тут широке поле для експериментів: вищеописане біологічне забруднення водойм обумовлено накопиченням у водній масі з'єднань, так званих біогенних речовин (сполук фосфору і азоту), і саме це стає чинником різкого зниження вмісту кисню у воді, підвищення рН, випадання в осад карбонату кальцію, гідроксиду магнію. Природно, що зміст цих речовин має пряму або зворотну просторову кореляцію з обсягом біологічної суспензії і на основі вибіркового відбору проб на хімічний аналіз може бути оцінено і зафіксовано картографічними методами по всій акваторії водойми. Це саме можна сказати і про співвідношення концентрацій механічних суспензій, що потрапляють у водойму з промислового стоку з вмістом техногенних хімічних речовин, наприклад, мікроелементів. Знаючи концентрацію суспензії і типовий вміст у ній того чи іншого елемента (визначену шляхом відбору проб), можна побудувати карту розподілу конкретного елемента в приповерхневому шарі води.

На відміну від визначення рівня хімічного забруднення, завдання теплового моніторингу водойм теоретично представляється гранично простим. Фіксація випроміненої радіації в далекій інфрачервоній зоні спектра (8-13 мкм) дозволяє вільно переходити до числових значень температури (для більшості функціонуючих на орбіті знімальних систем похибка визначення температури не перевищує 1-1,5°C). Настільки райдужна картина швидко розсіюється при переході від теорії до практики: виявляється, на навколоземній орбіті функціонують лише чотири супутники, оснащені радіометрами, що дозволяють визначати температуру. З них тільки три – ASTER (КА Terra), ТМ і ТМ + (КА Landsat 5 і Landsat 7) – мають досить високу просторову розрізненість (90-120 і 60 м, відповідно). На жаль, стратегія зйомки Землі даними космічними апаратами не дозволяє вважати їх моніторинговими в прямому сенсі цього слова. Вони не здійснюють зйомку конкретних ділянок на вимогу замовника, а працюють за системою, заданої оператором. Таким чином, не можна гарантувати отримання знімків на конкретну дату, а досвід використання знімків з цих КА показує, що протягом року можна забезпечити лише 3-8 кратну періодичність зйомки будь-якого об'єкта, що цікавить внутрішніх вод суші (з урахуванням хмарності), що зазвичай для моніторингу може не вистачити. Четвертий КА – з радіометром MODIS – на противагу трьом перерахованим вище, дозволяє здійснювати практично щодня (крім хмарних днів) тепловий моніторинг, за рахунок великої ширини захвату і низького просторового дозволу зйомки (1 км на місцевості в тепловому діапазоні).

Але, низька роздільна здатність стає головним обмеженням при використанні цих знімків для моніторингу водних об'єктів, дозволяючи здійснювати спостереження тільки за великими водними об'єктами і виявляти найбільш суттєві, відповідно з масштабами, зміни.

1.2.4. Оперативний моніторинг результатів повеней і моделювання процесів затоплення території під час повеней

Ця область є одним з важливих напрямків застосування даних ДЗЗ, які заслуговують на окрему викладу. Коротко можна відзначити, що, безумовно, моніторинг повеней можна здійснювати з застосуванням оптикоелектронних систем. Однак, багатий досвід, накопичений в даній сфері, показує, що в районах повеней практично завжди присутня щільна хмарність. Тому для вирішення цих завдань краще використовувати дані з космічних апаратів, оснащених радіолокаційною апаратурою, для якої, як відомо, хмарність не є перешкодою. Космічний апарат (КА) TerraSAR X (просторова роздільна здатність 1м), RADARSAT 2 (3 м), COSMOSkyMed 1 3 (1м) як не можна краще підходять для цих цілей [5]. Вони обладнані сучасними радарми з синтезованою апертурою, що дозволяють виконувати зйомку земної поверхні з безпрецедентним для цих систем просторовим розрізненням [6]. Таким чином, радіолокаційні дані дозволяють повністю вирішити завдання моніторингу повеней, а частково і їх прогнозу. Вищевикладені приклади, безумовно, не вичерпують багаті можливості використання технологій ДЗЗ (дистанційне зондування Землі) в сфері вирішення різноманітних водогосподарських завдань. Вони ще раз підкреслюють безсумнівну перспективність використання даних ДЗЗ в такій надважливій сфері, як моніторинг та моделювання повеней та водних ресурсів.

РОЗДІЛ 2

ОБРОБКА СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

Дистанційне зондування – це невелике або великомасштабне отримання інформації про об'єкт чи явище шляхом використання пристроїв запису чи зондування в режимі реального часу, які є бездротовими, або не перебувають у фізичному контакті з об'єктом (наприклад, за допомогою літальних апаратів, космічних кораблів, супутників, буїв або кораблів). На практиці дистанційне зондування – це резервний збір через використання різноманітних пристроїв для збору інформації про певний об'єкт чи область. Так, платформи супутникового спостереження за землею або погоду, океанські та атмосферні спостереження за погодними платформами буїв, моніторинг умовно-дострокового звіту за допомогою ультразвукової системи ідентифікації, магнітно-резонансна томографія (МРТ), позитронна емісійна томографія (ПЕТ), рентгенівське випромінювання (рентгенівське випромінювання) та космічні зонди – все приклади дистанційного зондування. У сучасному використанні термін, як правило, відноситься до використання датчикових технологій, включаючи прилади, знайдені в літальних апаратах і космічних апаратах, а також ті, що застосовуються в електрофізіології, і відрізняється від інших галузей, що стосуються візуалізації, таких як медична візуалізація.

Існує два види дистанційного зондування. Пасивні датчики виявляють природне випромінювання, яке випромінюється або відбивається спостережуваним об'єктом або навколишньою територією. Відбите сонячне світло є найпоширенішим джерелом випромінювання, вимірюваним пасивними датчиками. Приклади пасивних дистанційних датчиків включають фотозйомку, інфрачервону передачу, приєднані до зарядки та радіометри. Активний збір, з іншого боку, випромінює енергію для того, щоб сканувати предмети та ділянки, після яких датчик виявляє та вимірює випромінювання, яке відбивається або розсіюється від цілі. RADAR – приклад активного дистанційного зондування, де

вимірюється затримка часу між викидом та поверненням, встановлюючи розташування, висоту, швидкість та напрямок об'єкта.

Дистанційне зондування дозволяє збирати дані про небезпечні або важкодоступні місця. Програми дистанційного зондування включають моніторинг вирубки лісів у таких районах, як Амазонський басейн, вплив зміни клімату на льодовики та арктичні та Антарктичні регіони та глибоке зондування прибережних та океанських глибин. Військовий збір під час холодної війни використовував резервний збір даних про небезпечні прикордонні райони. Дистанційне зондування також замінює дорогий і повільний збір даних на місцях, гарантуючи, що в процесі не порушуються ділянки або об'єкти [30].

Варто відзначити, що дані супутника Landsat Level-1 надходять до користувача вже з радіометричною та атмосферною корекціями [49]. Нижче представлена Таблиця 2.1., в ній відзначено які рівні обробки проходять супутникові дані Landsat Level-1, саме дані цього рівня використовувались в дипломній роботі.

Таблиця 2.1.

Рівні обробки даних Landsat Level-1

Рівень обробки	Опис
Точність місцевості (L1TP) корекції	Радіометрично калібровані та орторектифіковані за допомогою даних наземних контрольних точок (GCP) та цифрової моделі висоти (DEM) для виправлення зсуву рельєфу. GCP, використовувані для корекції L1TP, отримані з набору даних Global Land Survey 2000 (GLS2000). Джерела DEM Landsat обробки включають: Місія з топографії радіолокаційного шатта (SRTM) Національний набір даних про висоту (NED) Дані цифрової висоти Канади (CDED) Глобальний набір даних про висоту 30 дуг (GTOPO30) Проект картографування льодовикового покриву Гренландії (GIMP)
Систематична рельєфу (L1GT) корекція	Радіометрично калібрується із систематичними геометричними корекціями, застосованими з використанням ефемерних даних космічного корабля та даних DEM для корекції переміщення рельєфу. Примітка: L1GT – це найвищий рівень радіометричної калібрування та систематичної корекції, можливий для сцен

	Landsat 7 та Landsat 8, зібраних над Антарктидою. У продукті L1GT в якості джерела корекції висоти використовується версія проекту Radarsat Antarctic Mapping (RAMP) версії 2 високої роздільної здатності.
Геометрична систематична корекція (L1GS)	Радіометричне калібрування із застосуванням лише систематичних геометричних корекцій із використанням ефемерних даних космічного корабля.

Як джерело геоданих використовувалися дані USGS (Геологічної Служби Сполучених Штатів) [35], доступні для вільного скачування. Дані з цих ресурсів представлені в форматі GeoTIFF у вигляді безперервних наборів сцен для різних районів світу.

В даному контексті відома проблема застосування стандартних методів атмосферної корекції для нового супутника: справа в тому, що калібрування датчиків OLI Landsat 8 проводиться без урахування значень коефіцієнта сонячного позаатмосферного спектрального випромінювання або, як він вказується в інших джерелах, E_{sun} . Замість використання даного коефіцієнта в файл коригування `_MTL.txt` були додані деякі нові спектральні параметри: `REFLECTANCE_MULT_BAND` – посилення значення відображення і `REFLECTANCE_ADD_BAND` – зміщення значення відображення для кожного з спектральних датчиків. В результаті, за задумом авторів змін, розрахунок TOA reflectance для Landsat 8 повинен здійснюватися за формулою (1).

$$\rho\lambda' = M\rho Q_{cal} + A\rho \quad (1)$$

де:

$\rho\lambda'$ – значення верхньоатмосферного планетарного відображення радіації (TOA reflectance), без урахування корекції за кутом падіння і відбиття сонячних променів;

$M\rho$ – каналоспецифічний мультиплікативний розрахунковий фактор для (`REFLECTANCE_MULT_BAND_x`, де x - це номер каналу) - посилення значення відображення;

ρ_r - каналоспецифічний мультиплікативний розрахунковий фактор для (REFLECTANCE_ADD_BAND_x, де x - це номер каналу) – зміщення значення відображення;

Q_{cal} – значення яскравості пікселя «сірого» космоснімка (DN).

А корекція TOA reflectance з урахуванням кута падіння і відбиття сонячних променів обчислюється за формулою (2).

$$P_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\sin(\theta_{SE})} \quad (2)$$

де:

$\rho_{\lambda'}$ - значення верхнеатмосферного планетарного відображення радіації (TOA reflectance), с урахуванням корекції за кутом падіння і відбиття сонячних променів;

θ_{SE} - висота сонця над горизонтом. Доступна в файлі _MTL.txt в параметрі (SUN_ELEVATION);

θ_{SZ} - зенітне відстань; $\theta_{SZ} = 90^{\circ} - \theta_{SE}$.

Значення, що містяться в файлах каналів многозонального зображення, представляють собою безрозмірну величину. Вона пропорційна інтенсивності випромінювання, що досягає орбіти, на якій знаходиться супутник Landsat. Те, що ми отримуємо з файлу - дискретне калібровант значення пікселя Q, - номіновано в умовних відносних одиницях DN (Digital Numbers - числові значення).

Потрібно забрати з Q значення відбивної здатності (альbedo) ρ наземних об'єктів, видимих на Космоснімки. Для матеріалів Landsat до 7 включно, отриманих з архіву USGS, це робиться таким чином (3):

$$\rho = \frac{\pi R d^2}{E \sin \theta} \quad (3)$$

де R - інтенсивність випромінювання від об'єкта, який досяг орбіти Landsat;

d - відстань між Землею і Сонцем;

E - коефіцієнт світності для кожного каналу;

θ - висота стояння Сонця над горизонтом в момент зйомки.

Інтенсивність випромінювання об'єкта, що досягає орбіти R , обчислюється за формулою (4):

$$R = M_R Q + A_R \quad (4)$$

Калібрувальні коефіцієнти M_R і A_R можна знайти в файлі мета-даних з ім'ям «*_mtl.txt», який поставляється разом зі сценою в одному архівному файлі. Зі списку параметрів, наведених на рис. 2.1, повинні бути обрані RADIANCE_MULT (M_R) і RADIANCE_ADD (A_R), відповідні потрібного каналу.

```
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING    RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2402E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2700E-02    RADIANCE_MULT_BAND_3 =
1.1703E-02    RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.8685E-03
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.0390E-03    RADIANCE_MULT_BAND_6 =
1.5019E-03    RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.0620E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1168E-02    RADIANCE_MULT_BAND_9 =
2.3602E-03    RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04    RADIANCE_ADD_BAND_1 = -
62.01041    RADIANCE_ADD_BAND_2 = -63.49942    RADIANCE_ADD_BAND_3
= -58.51417    RADIANCE_ADD_BAND_4 = -49.34245
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -30.19512    RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.50925
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.53102    RADIANCE_ADD_BAND_8 = -55.84207
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -11.80094    RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000    REFLECTANCE_MULT_BAND_1 =
2.0000E-05    REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05
```

Рис. 2.1 Вміст файлу з метаданими сцени Landsat 8, необхідними для отримання інтенсивності випромінювання на сенсорі

Значення інтенсивності випромінювання на сенсорі R має розмірність Вт / м² / ср / мкм, тобто потужність випромінювання, що падає на одиницю площі земної поверхні крізь тілесний кут в 1 стерадіан, взятого відносно одиниці довжини хвилі випромінювання.

Відстань між Землею і Сонцем d може бути обчислено за наближеною формулою 5:

$$d = 1 - 0,01668 \cos\left(i \frac{2\pi}{365}\right) \quad (5)$$

де i - порядковий номер в році дня отримання зображення. Його можна визначити за датою реєстрації сцени, яка також знаходиться в файлі мета-даних (рис. 2.2):

```

TP"    COLLECTION_CATEGORY = "T1"
E = "GLS2000"    OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
"LANDSAT_8"    SENSOR_ID = "OLI_TIRS"    WRS_PATH =
= 28    NADIR_OFFNADIR = "NADIR"    TARGET_WRS_PATH
_WRS_ROW = 28    DATE_ACQUIRED = 2019-04-26
ME = "08:43:35.3893679Z"    CORNER_UL_LAT_PRODUCT =
NER_UL_LON_PRODUCT = 28.99465
RODUCT = 47.13567    CORNER_UR_LON_PRODUCT =
NER_LL_LAT_PRODUCT = 44.89495
RODUCT = 29.14866    CORNER_LR_LAT_PRODUCT =

```

Рис. 2.2. Метадані сцени: дата реєстрації (DATE_ACQUIRED)

І останній, необхідний для обчислення альбедо, параметр θ - висота стояння Сонця над горизонтом в момент зйомки - може бути взятий з файлу з метаданими сцени (рис. 2.3). Значення це в файлі наведено в градусах. Перед підстановкою в формулу його треба перевести в радіани (формула 6).

```

- 0.01    IMAGE_QUALITY_OLI - 0    IMAGE_QUALITY_TIRS - 0
TIRS_SSM_MODEL = "FINAL"    TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "ESTIMATED"
TIRS_STRAY_LIGHT_CORRECTION_SOURCE = "TIRS"    ROLL_ANGLE = -
0.001    SUN_AZIMUTH = 149.25901649    SUN_ELEVATION = 54.08535258
EARTH_SUN_DISTANCE = 1.0061764    SATURATION_BAND_1 = "N"

```

Рис. 2.3. Метадані сцени: висота Сонця (SUN_ELEVATION)

$$\rho = \frac{2 \cdot 10^{-5} Q_{-0,1}}{\sin \theta} \quad (6)$$

Дослідники використовують супутники для збирання інформації про поверхню Землі. Із супутників отримують інформацію про електромагнітне випромінювання, яке може включати в себе гамма-промені, ультрафіолетове випромінювання, видиме світло, інфрачервоне випромінювання і радіохвилі. Супутники забирають інформацію про випромінювання у відповідних каналах (band), основною характеристикою яких є довжина електромагнітної хвилі. В табл. 2.2 показано значення спектральних діапазонів, що використовуються в ДЗЗ [24].

Сучасні системи, які використовують у практиці аерокосмічної зйомки, працюють як в оптичному, так і в радіодіапазоні. Оптичний діапазон охоплює ультрафіолетове ($\lambda < 0,40$ мкм), видиме ($\lambda = 0,40 - 0,75$ мкм) та інфрачервоне випромінювання ($\lambda = 0,75 - 1000$ мкм). Інфрачервоний діапазон (ІЧ) поділяється на близький, середній і дальній сектори. Під час зйомки практичне значення має поглинання атмосферою енергії випромінювання. Існують вікна прозорості, в яких поглинання радіації незначне і власне вони є основними для космічної зйомки.

Спектральні діапазони, які використовують в ДЗЗ

Спектральний інтервал	Позначення	Довжина хвилі, X
Ультрафіолетовий (УФ)	U	<0,38мкм
Видимий	V	0,38... 0,76мкм
Ближній інфрачервоний(БІЧ)	N	0,76... 1,4мкм
Середній інфрачервоний (СІЧ)	I	1,4...7,5мкм
Дальній тепловий інфрачервоний (ДІЧ)	T	7,5 мкм... 1,0 мм
Мікрохвильовий (МХ)	M	1,0... 10 мм
Радіочастотний (РЧО)	X	2,9...3,3 см
	C	5,7...6,1 см
	S	8,0... 12 см
	L	21... 30 см
	P	60... 70 см

2.1. Використання програмного забезпечення ArcGis для обробки супутникових даних

Програмне середовище ArcGis є основним в роботі геоінформаційних систем. ПЗ включає в себе багато модулів, які дозволяють опрацьовувати великі масиви даних. ArcGis може читати різні формати даних, а саме TIFF, JPG, IMG та ін. В роботі використано супутникові знімки Landsat 8, взяті на офіційному сайті Геологічної служби США [35]. На Рис. 2.4. показано супутниковий знімок Одеської області, який відкритий у двох каналах (Red, Nir).

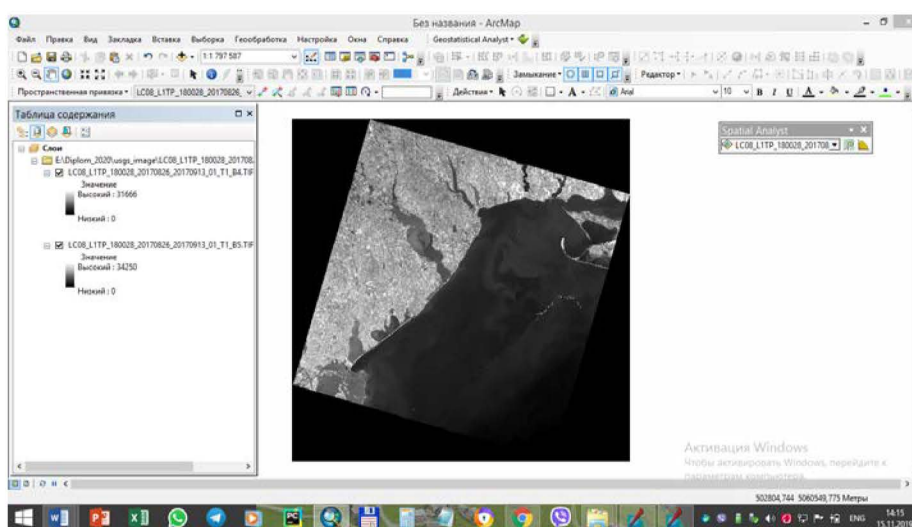


Рис.2.4. Відкриття кількох каналів супутникового знімку частини Одеської області в ПС ArcGis10.5

У ArcGis10.5 можна провести попередній аналіз зображення, як це показано на Рис. 2.5., а також зробити композицію з кількох каналів. На панелі Відображення (Display) містяться інструменти, що використовуються для покращення візуалізації даних. Вони включають повзунки контрасту, яскравості, гама та прозорості; опція для використання динамічної настройки діапазонів (DRA); інструменти Зашторити шар (Swipe Layer) та Мерехтливий шар (Flicker Layer) для порівняння двох шарів даних, які перекриваються.

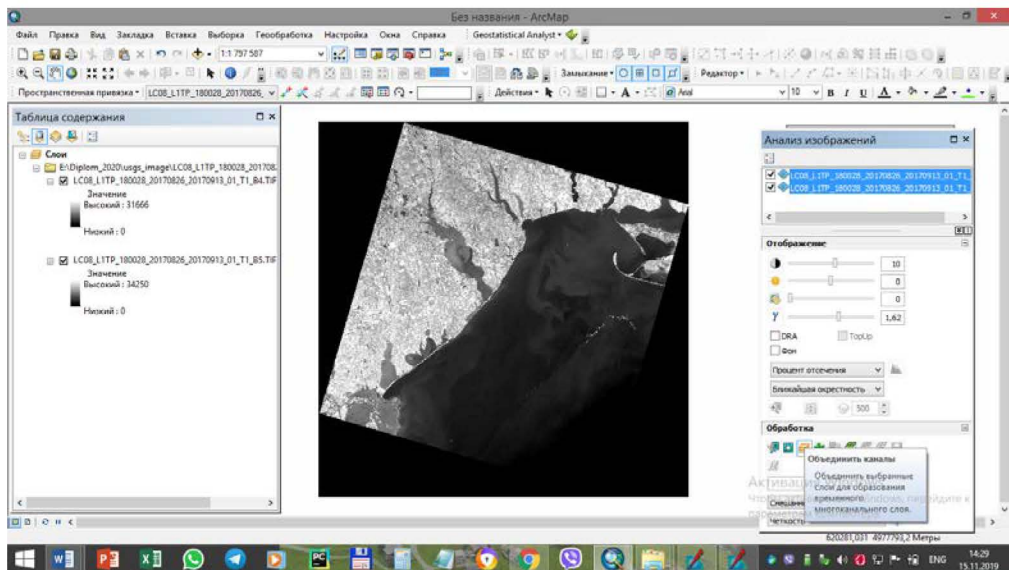


Рис.2.5. Аналіз каналів зображення частини Одеської області в ПК ArcGis10.5

За допомогою панелі Обробка (Processing) легко опрацьовувати дані, одним натиском мишки, отримуючи доступ до часто використовуваних методів обробки зображень. Ці методи включають вирізання, створення маски, орто-трансформацію, фільтри згортки та створення мозаїки.

Нові шари додаються в список шарів та таблицю вмісту при використанні інструментів панелі Обробка (Processing) на Рис.2.6. Це відбувається тому, що всі інструменти геообробки дають на виході новий тимчасовий растровий шар, який використовує функції для обробки даних. Функції дозволяють обробці застосовуватися швидко і «на льоту», а не створюючи ще один файл даних (на створення якого може піти час), де процес застосовується безперервно. Щоб зберегти шар, можна експортувати новий набір растрових даних або зберегти файл шару. Якщо закрити ArcMap, не зберігаючи, цей растровий шар буде втрачений.

Панель Вимірювання (Mensuration) містить інструменти для вимірювання точки, відстані, кута, висоти, периметра та площі на зображенні (наборі растрових даних або наборі даних мозаїки) з використанням інформації сенсора (або про перетворенні геоданих). Висоту можна виміряти по об'єкту, його тіні або за двома параметрами. Можна також використовувати ЦМР для вимірювання по поверхні замість проектованої поверхні. На Рис. 2.7. показано опції аналізу космознімку, які можна проводити в ArcMap.

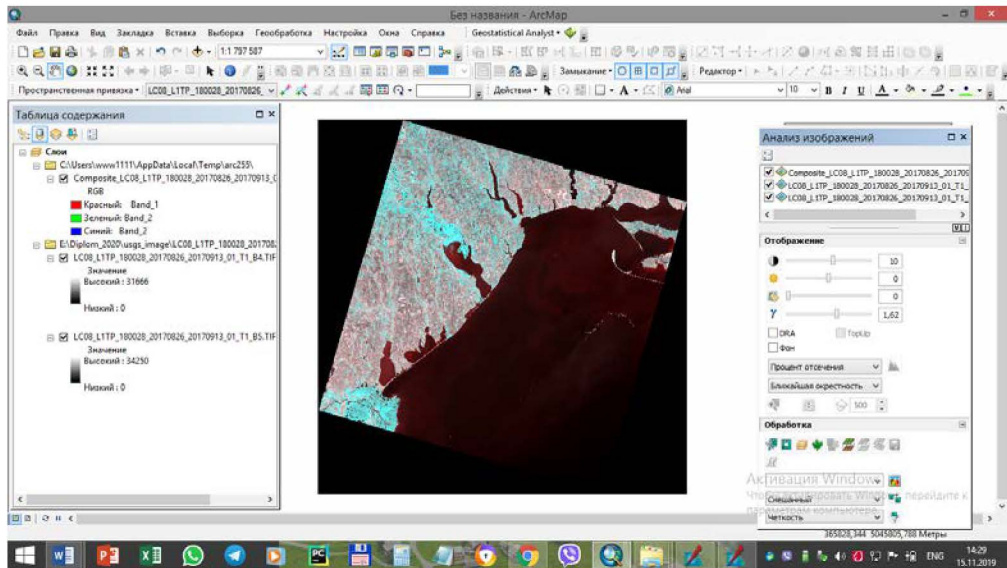


Рис.2.6. Композиція двох каналів зображення частини Одеської області в ПК ArcGis10.5

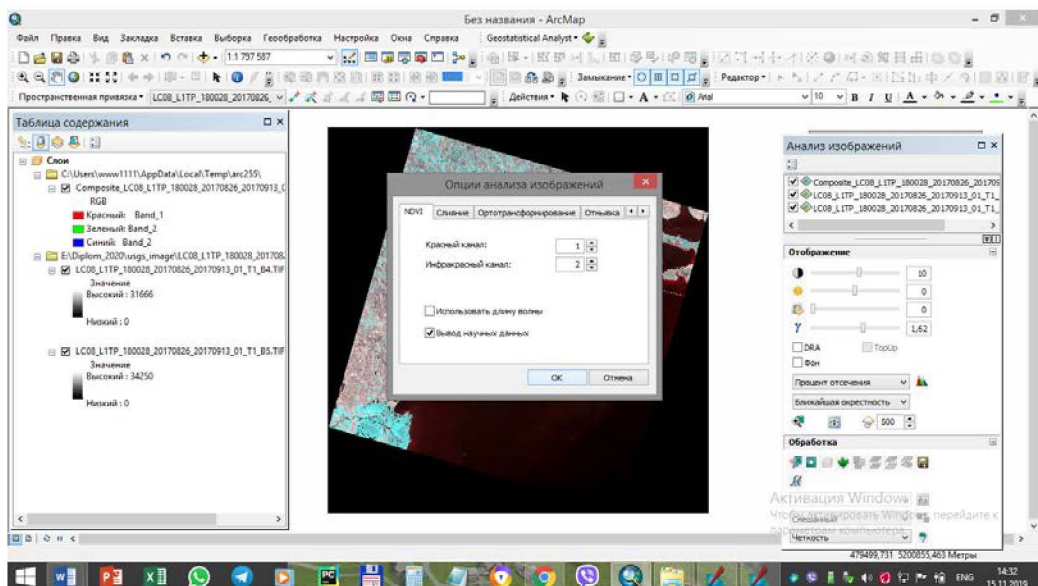


Рис.2.7. Опції аналізу зображення частини Одеської області в ПК ArcGis10.5

2.2. Використання нормалізованих диференційних індексів в обробці супутникових знімків

Вегетаційний індекс (VI) це показник, що розраховується в результаті операцій з різними спектральними діапазонами (каналами) ДДЗ, і має відношення до параметрів рослинності в даному пікселі знімка. Ефективність VI визначається особливостями відображення.

Основне припущення щодо використання VI полягає в тому, що деякі математичні операції з різними каналами ДЗЗ можуть дати корисну інформацію про рослинність. Це підтверджується безліччю емпіричних даних. Друге припущення – це ідея, що відкрита грунт на знімку буде формувати в спектральному просторі пряму лінію (так звана ґрунтова лінія). Майже всі поширені вегетаційні індекси використовують тільки співвідношення червоного – ближнього інфрачервоного каналів, припускаючи, що в ближній інфрачервоній області лежить лінія відкритого ґрунту. Мається на увазі, що ця лінія означає нульову кількість рослинності [28].

Використання цих індексів дає змогу краще візуалізувати просторові відмінності, що існують на поверхні водних об'єктів. Зазначимо, що у зв'язку з порівняно невисокою роздільною здатністю супутникових знімків увага дослідників переважно спрямована на з'ясування стану великих водойм, зокрема морів та їх прибережної смуги. Для цих умов встановлено певні кореляційні співвідношення між концентрацією фітопланктону і даними ДЗЗ. З'ясовано [32], що присутність фітопланктону у воді спричинює появу піку у спектрі випромінювання з довжиною хвиль близько 0.55 мкм. При цьому випромінювання синіх і червоних променів зменшується [3].

Нижче наведена *Таблиця 2.3* зі спектральними каналами штучного супутника Landsat 8.

Спектральні канали супутника Landsat 8

№ каналу	Спектральний канал	Довжина хвилі	Роздільна здатність (на один піксель)
Діапазони OLI			
1	Узбережжя та аерозолі (Coastal/Aerosol)	0,433-0,453 мкм	30 м
2	Синій (Blue)	0,450-0,515 мкм	30 м
3	Зелений (Green)	0,525-0,600 мкм	30 м
4	Червоний (Red)	0,630-0,680 мкм	30 м
5	Ближній ІЧ (Near Infrared, NIR)	0,845-0,885 мкм	30 м
6	Ближній ІЧ (Short Wavelength Infrared, SWIR 1)	1,560-1,660 мкм	30 м
7	Ближній ІЧ (Short Wavelength Infrared, SWIR 2)	2,100-2,300 мкм	30 м
8	Панхроматичний (Panchromatic, PAN)	0,500-0,680 мкм	15 м
9	Перисті хмари (Cirrus, SWIR)	1,360-1,390 мкм	30 м
Діапазони TIRS			
10	Дальній ІЧ (Long Wavelength Infrared, TIR1)	10,30 — 11,30 мкм	100 м
11	Дальній ІЧ (Long Wavelength Infrared, TIR2)	11,50 — 12,50 мкм	100 м

2.2.1. Нормалізований диференційний індекс каламутності – NDTI (Normalized Difference Turbidity Index)

$$NDTI = \frac{RED - GREEN}{RED + GREEN} \quad (7)$$

Рівні каламутності води можна оцінювати на основі Нормалізованого Індексу Різниці Каламутності (NDTI) з використанням значень спектральної відбивної здатності (формула 7). Оскільки рівень каламутності води збільшується через збільшення зважених часток у воді, коефіцієнт відображення червоної смуги більше, ніж у зеленої смуги [33]. Ця спектральна характеристика каламутної води може використовуватися для виявлення пікселів каламутної води і була зафіксована в нормалізованому індексі каламутності різниці, визначеному Ласаух J.P. та ін. [34].

Було виявлено, що при зміні рівнів каламутності різних водойм NDTI змінюється від -0,2 до 0,0 в разі чистої води і від 0,0 до 0,2 для помірно мутних водойм. У разі сильно мутних водойм значення NDTI перевищують +0,25. Проблема, пов'язана з індексом каламутності для класифікації каламутності води, полягає в тому, що чисті пікселі дрібної води також показують значення NDTI більше нуля. Це пов'язано з тим, що збільшення червоною відбивної здатності більше в порівнянні з зеленою через відбивної здатності зважених ґрунтів в митних водоймах. У разі дрібного і чистого водоймища відбите сяйво складається з відбивної здатності ґрунту на додаток до відбивної здатності товщі води. Відбивна здатність дна аналогічна відбивної здатності ґрунту. Отже, відбивна здатність мілководного водойми аналогічна відбивної здатності мутного водойми і забезпечує NDTI більше нуля і буде класифікуватися як помірно каламутна вода, якщо вона заснована тільки на значеннях NDTI. Щоб видалити ці шумові пікселі, було виконано уточнення значень NDTI. На Рис. 2.8. показано, як рахувати значення індексу в програмі. Мутність води в основному проявляється в даних після мусонів, так як ґрунт і щілину, що переносяться проточною водою, викликають каламутність в водоймах [45].

Коефіцієнт відображення в основному обмежений крайовими пікселями з 2 або 3 пікселями в разі прозорих водойм. Реалізація видалення шуму виконується таким чином, що, якщо піксель води знаходиться поблизу краю, і значення індексу каламутності 4-го пікселя всередині водойми менше нуля, тоді значення NDTI для пікселя встановлюється рівним нулю.

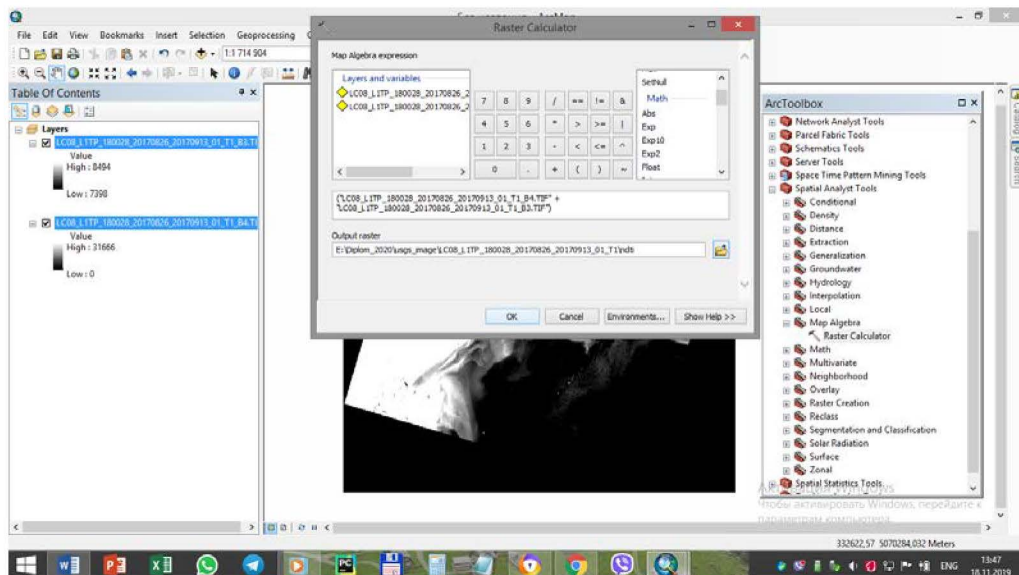


Рис.2.8. Обрахунок NDTI частини Одеської області в PC ArcGis10.5

2.2.2. Нормалізований диференційний точковий індекс – NDPI (Normalized Difference Pond Index)

$$NDPI = \frac{SWIR 1 - GREEN}{SWIR 1 + GREEN} \quad (8)$$

У літературі повідомляється [34], що нормалізований індекс ставок різниці (NDPI) при використанні спільно з NDVI забезпечує кращу дискримінацію водної та водно-болотної рослинності від звичайної рослинності порівняно з NDVI, який виявляє всі види рослинності. Для розуміння корисності / важливості NDPI та NDVI було проведено імітаційне дослідження за принципом лінійного змішування (формула 8). Для цього дослідження значення відбиття насичених вегетаційний піксель, глибоководний піксель і сухий піксель ґрунту витягувались за кілька пікселів і усереднювали для отримання репрезентативних значень відбиття. Значення коефіцієнта відбиття суміші були обчислені у випадку вегетації у воді та рослинності у сухому ґрунті. Дробовий внесок суміші коливався від нульових відсотків до 100-відсоткових значень з кроком у 10 відсотків. Результати аналізу чутливості показані на малюнку. Було виявлено, що значення NDPI лінійно збільшується від +0,35 до +0,45, у випадку ґрунтово-рослинної суміші, тоді як воно зменшує нелінійно з +0,35 до майже -0,4 як для чистої, так і для каламутної води -вегетаційна суміш. 2. Значення NDVI лінійно

зменшується від +0,7 до майже 0,15 для ґрунтово-рослинної суміші, і зменшується нелінійно з +0,7 до -0,06 для чистої водно-рослинної суміші. Що стосується каламутної водно-рослинної суміші, вона знижується до - 0,2. Аналіз чутливості показує, що за відповідних граничних значень рослинності на суходолі може бути усунена, залишаючи лише рослинність у заболочених районах та у воді. Це пов'язано з тим, що НДПІ, по суті негативне значення MNDWI, використовував для ідентифікації заболочених ділянок та води через високе поглинання радіаційної води SWIR.

2.2.3. Нормалізований диференційний вегетаційний індекс – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Живі зелені рослини поглинають сонячне випромінювання в спектральній області фотосинтетично активного випромінювання, яку вони використовують як джерело енергії в процесі фотосинтезу. Листкові клітини також еволюціонували для повторного випромінювання сонячного випромінювання в ближній інфрачервоній спектральній області (яка несе приблизно половину всієї сонячної енергії, що надходить), тому що енергія фотона при довжині хвиль довше приблизно 700 нанометрів занадто мала для синтезу органічних молекул. Сильне поглинання на цих довжинах хвиль призведе до лише перегріву рослини і, можливо, пошкодження тканин. Отже, живі зелені рослини виглядають відносно темними у ПАР та порівняно яскравими у ближньому інфрачервоному [40]. Навпаки, хмари та сніг мають тенденцію бути досить яскравими у червоному (як і інші видимі довжини хвиль) та досить темними у ближньому інфрачервоному. Пігмент у листках рослин, хлорофіл, сильно поглинає видиме світло (від 0,4 до 0,7 мкм) для використання у фотосинтезі. Структура клітин листя, з іншого боку, сильно відбиває ближнє інфрачервоне світло (від 0,7 до 1,1 мкм). Чим більше листя має рослина, тим більше на цих довжин світла впливає відповідно. Оскільки ранні прилади спостереження за Землею, такі як ERT НАСА та AVHRR NOAA, отримували дані у видимому та близькому до інфрачервоного зв'язку, було

природним чином використовувати сильні відмінності у відбитті рослин для визначення їх просторового розподілу в цих супутникових знімках (формула 9).

NDVI обчислюється з цих окремих вимірювань наступним чином:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (9)$$

де червоний та NIR означають вимірювання спектрального відбиття, придбані в червоній (видимій) та ближній інфрачервоній областях відповідно[41]. Ці спектральні коефіцієнти відбиття самі є співвідношеннями відбитого над вхідним випромінюванням у кожній спектральній смузі окремо, отже, вони приймають значення між 0,0 та 1,0. За задумом, сам NDVI коливається від -1,0 до +1,0. NDVI функціонально, але не лінійно, еквівалентний простому співвідношенню інфрачервоного/червоного (NIR/RED). Перевага NDVI над простим співвідношенням інфрачервоного / червоного кольорів, як правило, обмежується будь-якою можливою лінійністю його функціонального зв'язку з властивостями рослинності (наприклад, біомасою). Просте співвідношення (на відміну від NDVI) завжди є позитивним, що може мати практичні переваги, але воно також має математично нескінченний діапазон (від 0 до нескінченності), що може бути практичним недоліком порівняно з NDVI. Також у зв'язку з цим зауважте, що термін RED у чисельнику NDVI лише масштабує результат, створюючи тим самим негативні значення. NDVI є функціонально та лінійно еквівалентним відношенню $(NIR-RED) / (NIR + RED)$, яке коливається від 0 до 1 і, отже, ніколи не є негативним та не обмеженим у діапазоні [42]. Але найважливіше поняття в розумінні алгебраїчної формули NDVI полягає в тому, що, незважаючи на свою назву, це трансформація спектрального відношення (NIR / RED), і вона не має функціонального відношення до спектральної різниці (NIR- RED).

Загалом, якщо на ближній інфрачервоній довжині хвилі спостерігається набагато більше відбитого випромінювання, ніж на видимих довжинах хвиль, то рослинність у цьому пікселі, ймовірно, буде щільною і може містити певний тип лісу. Наступна робота показала, що NDVI безпосередньо пов'язаний з фотосинтетичною здатністю і, отже, поглинанням енергії рослинних навісів [43].

Хоча індекс дозволяє переходити від -1 до 1, навіть у більш густонаселених міських районах значення нормального NDVI є позитивним, хоча ближче до нуля. Негативні значення, швидше за все, порушуються в атмосфері та деяких конкретних матеріалах. На рис. 2.9-2.10. показано, як знаходити NDVI, використовуючи ПС Erdas Imagine.

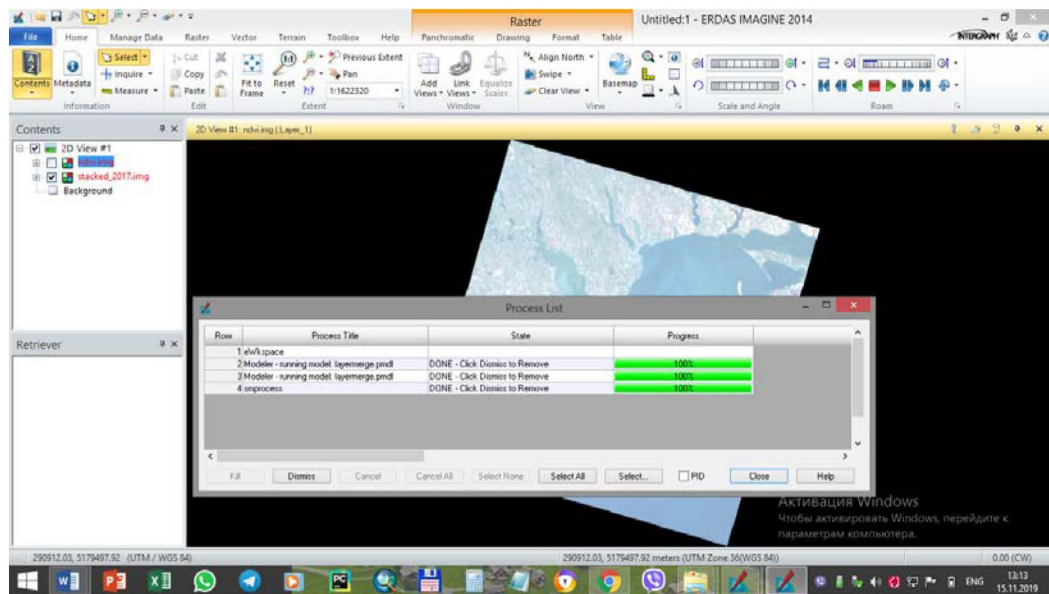


Рис.2.9. Супутникове зображення частини Одеської області в ПС Erdas Imagine

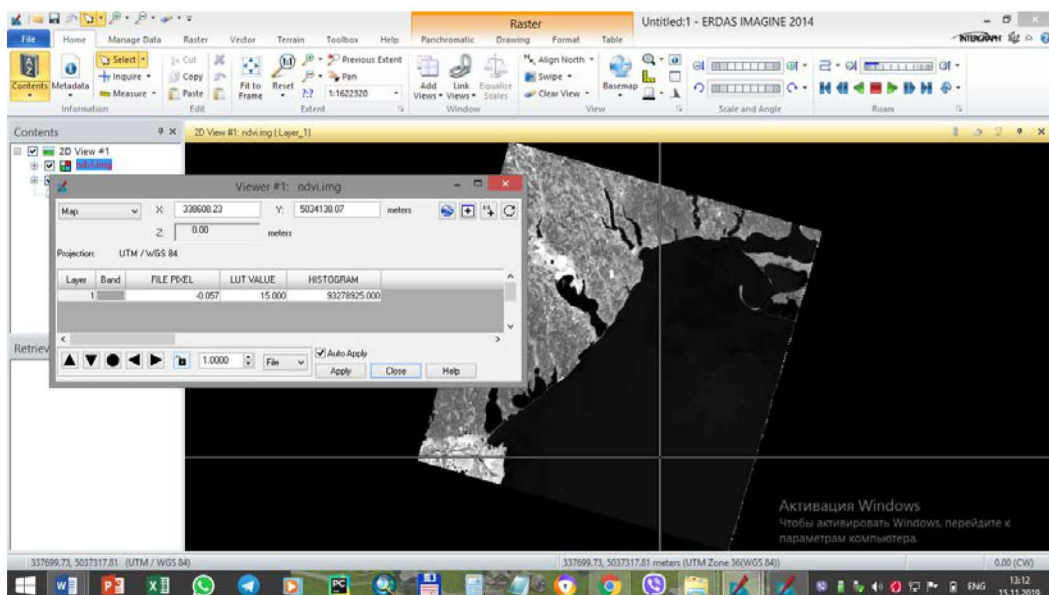


Рис.2.10. Зображення NDVI частини Одеської області в ПС Erdas Imagine

В ПС ArcGis10.5 для знаходження NDVI потрібно використовувати калькулятор растру (Raster Calculator), що показано на Рис.2.11. Отримати шлях до інструменту можна так: ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Map Algebra>Raster

Calculator. У новому вікні потрібно вводити формулу, вибравши відповідні канали, а потім зберегти новий файл. Новий файл автоматично підгружається до програми. Кінцевий результат має бути кольоровим, тому застосовується класифікація зображення, як на Рис.2.12.

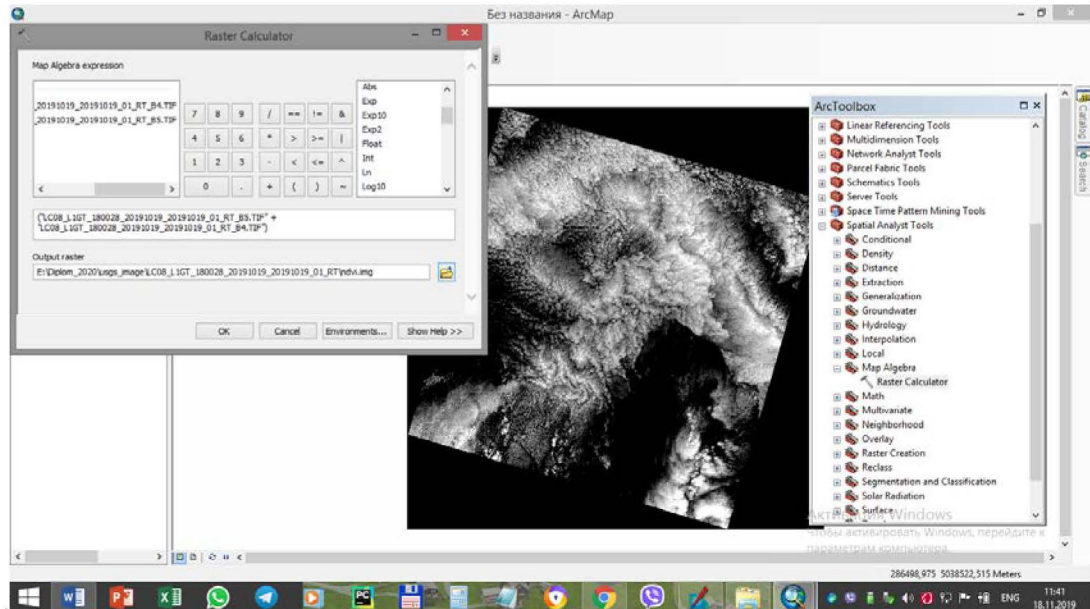


Рис.2.11. Обрахунок NDVI зображення частини Одеської області в ПК ArcGis10.5

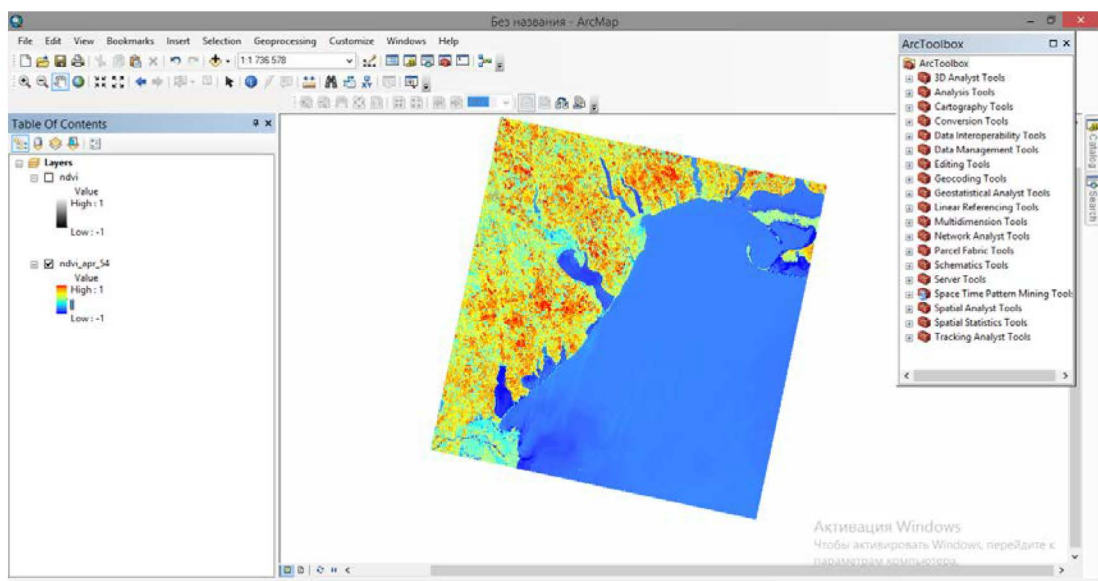


Рис.2.12. Використання функції класифікації в ArcGis10.5

2.2.4. Нормалізований диференційний водний індекс – NDWI (Normalized Difference Water Index)

Нормалізований індекс різниці води (NDWI) може посилатися на один із щонайменше двох показників, отриманих дистанційним зондуванням, що стосуються рідкої води.

Один використовується для моніторингу змін у воді листя, використовуючи ближню інфрачервону (NIR) та короткохвильову інфрачервону (SWIR) довжину хвиль, запропоновану Гао у 1996 році (формула 10): [36]

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (10)$$

Інший використовується для моніторингу змін, пов'язаних із вмістом води у водоймах, використовуючи зелену та NIR довжини хвиль (формула 11), визначені McFeeters (1996):

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (11)$$

У дистанційному зондуванні зображення в співвідношенні або спектральне нормування – це методи вдосконалення, в яких растровий піксель з однієї спектральної смуги ділиться на відповідне значення в іншій смузі. [37] Обидва індекси вище мають однакову функціональну форму; вибір використовуваних смуг - це те, що робить їх придатними для певної мети.

Якщо ви хочете відстежувати рослинність у постраждалих від посухи районах, то доцільно використовувати NIR та SWIR. Коефіцієнт відбиття SWIR відображає зміни як вмісту води в рослинній рослині, так і структури губчастої мезофіли в вегетаційних навісах. На відбиття NIR впливає внутрішня структура листя та вміст сухої речовини листя, але не вміст води. Поєднання NIR з SWIR усуває зміни, викликані внутрішньою структурою листя та вмістом сухої речовини листя, покращуючи точність отримання вмісту води в рослинній рослині. [38]

Якщо ви шукаєте рівень води або зміну рівня води (наприклад, затоплення), тоді доцільно використовувати зелені та спектри NIR спектральних смуг.

Інтерпретація

Візуальна або цифрова інтерпретація створеного вихідного зображення / растру схожа на NDVI:

Від -1 до 0 - світла поверхня без вмісту рослинності та води

+1 - представляють вміст води

Для другого варіанту NDWI також можна знайти інший поріг [39], який дозволяє уникнути створення помилкових тривог у містах:

$< 0,3$ – безводне середовище

$\geq 0,3$ – вода присутня

На Рис. 2.13 показано як рахувати значення NDWI у ArcGis10.5. Як було сказано вище, розраховане зображення автоматично відкривається в програмі.

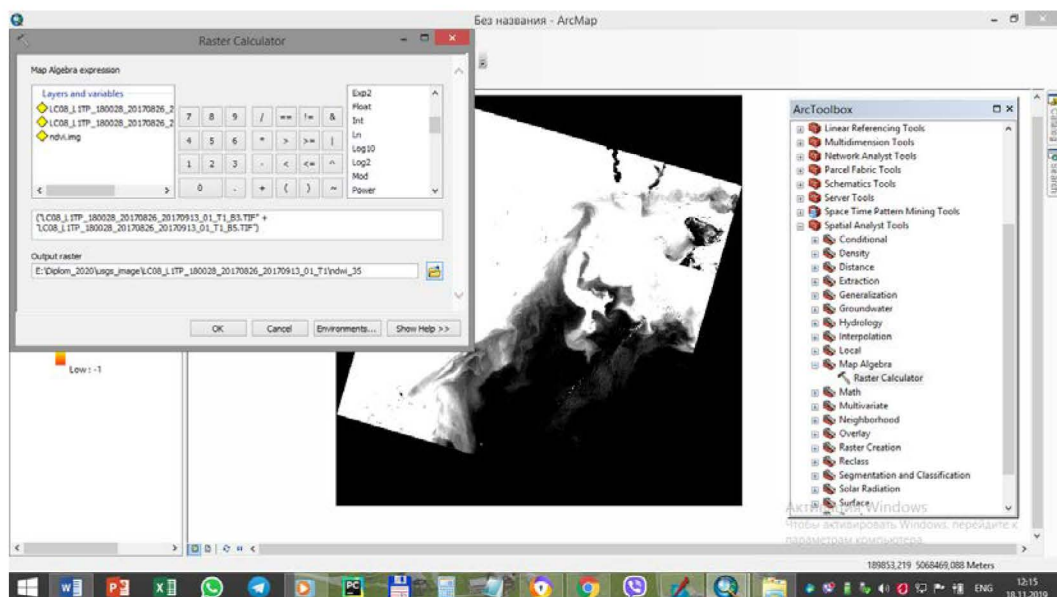


Рис.2.13. Використання функції Raster Calculator в PC ArcGis10.5

На Рис. 2.14 показано як розраховувати індекс в PC Erdas Imagine, варто зауважити, що перед роботою варто зробити складання шарів (layer stack). Щоб виконати обробку потрібно зайти: Raster>Unsupervised>Indices>Index Options>Index.

На Рис.2.15 показано використання інструменту Viewer, який дає можливість дізнатись більше інформації про окремий об'єкт або піксель.

Якщо в списку немає потрібного індексу, потрібно використовувати Нову модель (Model Builder), і в ній задавати потрібні параметри, використовуючи вже відомі формули. На Рис.2.16. показано використання New Model для побудови зображення NDWI частини Одеської області в ПС Erdas Imagine. На відміну від ArcGis, в Erdas потрібно самостійно відкривати новий файл. На Рис. 2.17 показано отриманий файл NDWI. Можна сказати, що в ArcMap розраховувати Normalised Index значно швидше, і, на мою думку, значно простіше.

На Рис. 2.18. можна побачити, наскільки нормалізований індекс змінює відображення об'єктів і дозволяє краще читати супутникові дані.

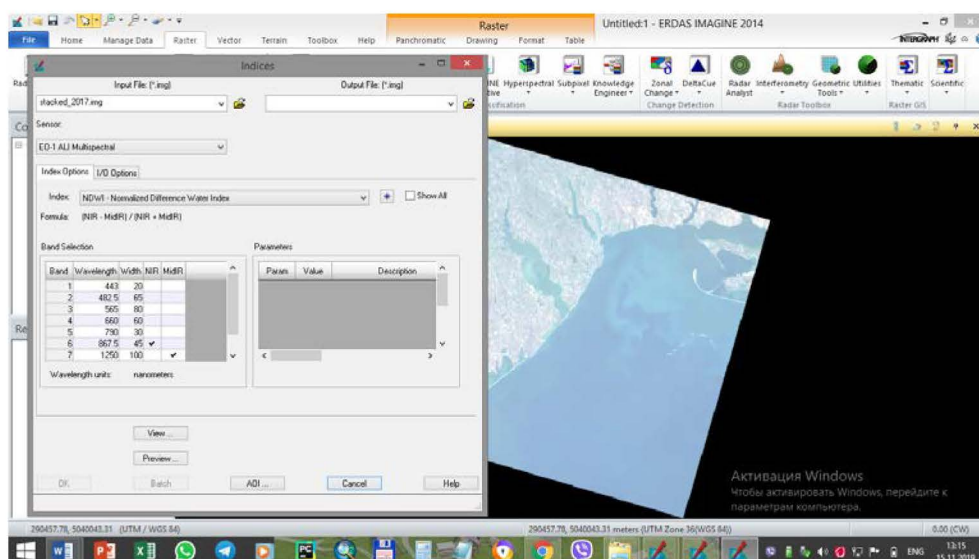


Рис.2.14. Обрахунок NDWI частини Одеської області в ПС Erdas Imagine

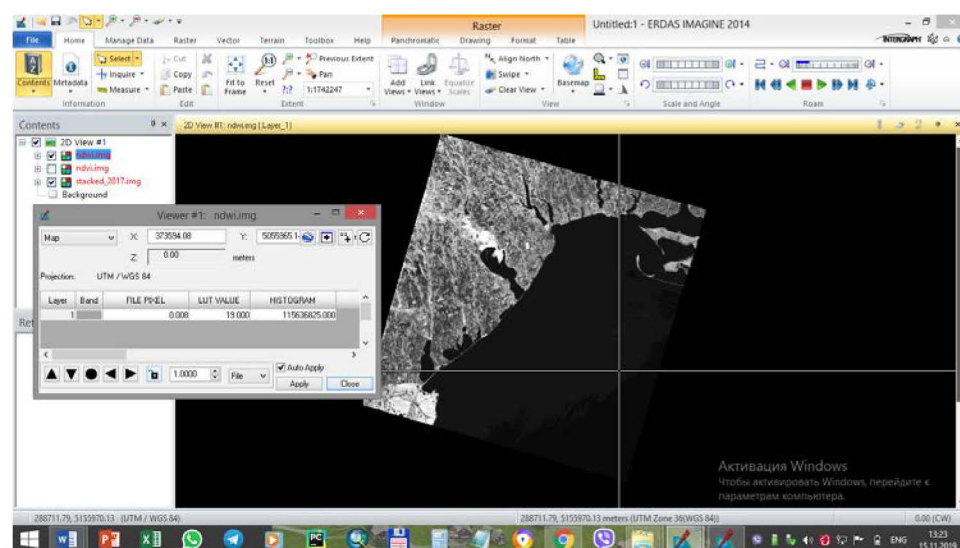


Рис.2.15. Використання Viewer для додаткової інформації знімка частини Одеської області в ПС Erdas Imagine

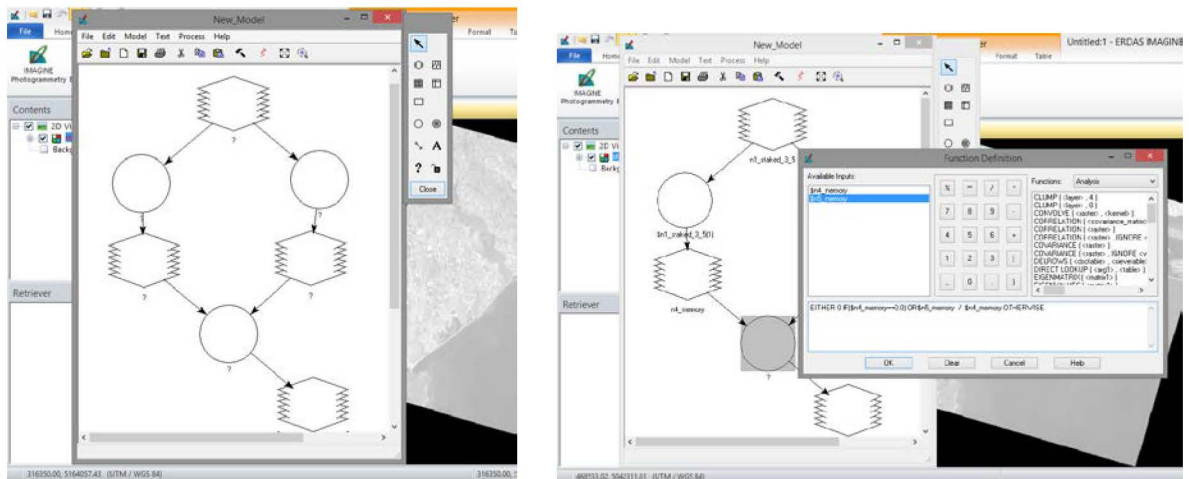


Рис.2.16. New Model для побудови NDWI частини Одеської області в PC Erdas Imagine

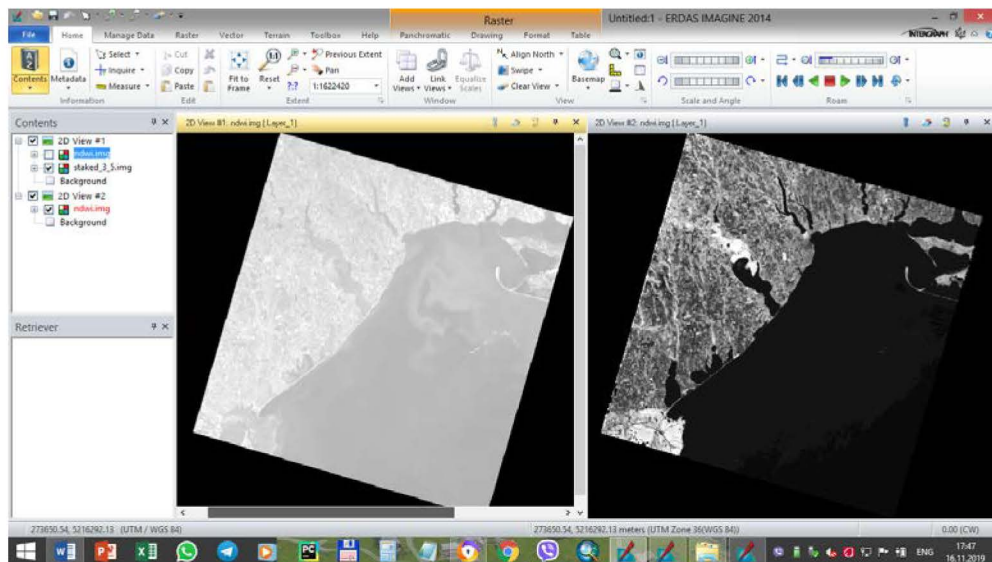


Рис.2.17. Порівняння одного каналу та NDWI частини Одеської області в PC Erdas Imagine

На Рис. 2.18 показано канали, які використовуються для визначення NDWI, можна бачити, що не всі водні об'єкти можна чітко проглянути. Саме тому, використовується нормалізований індекс.

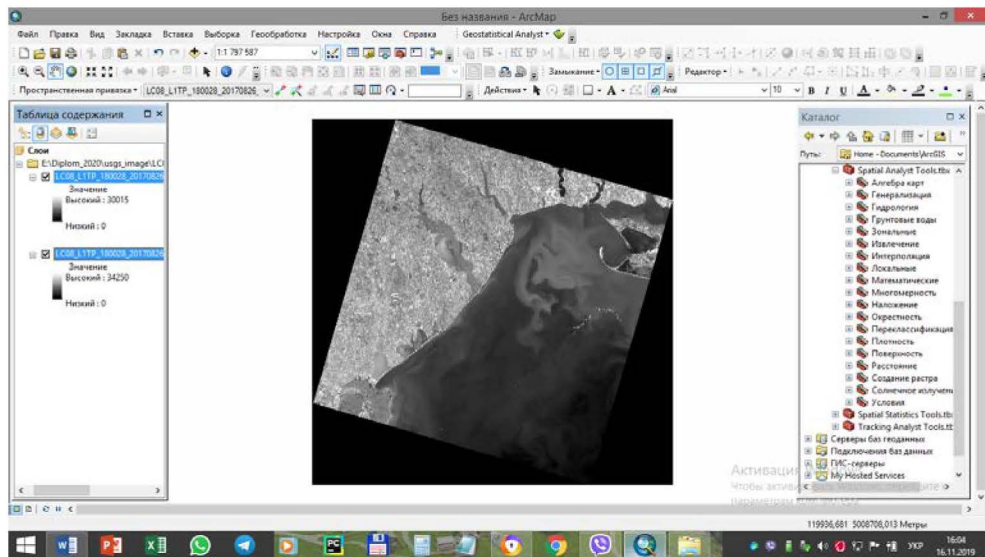


Рис.2.18. Супутникове зображення частини Одеської області в ПК ArcGis10.5

На Рис.2.19 бачимо отримане зображення, водні об'єкти чітко видно (світло-сірі). Навіть найменші водні об'єкти теж досить добре видно.

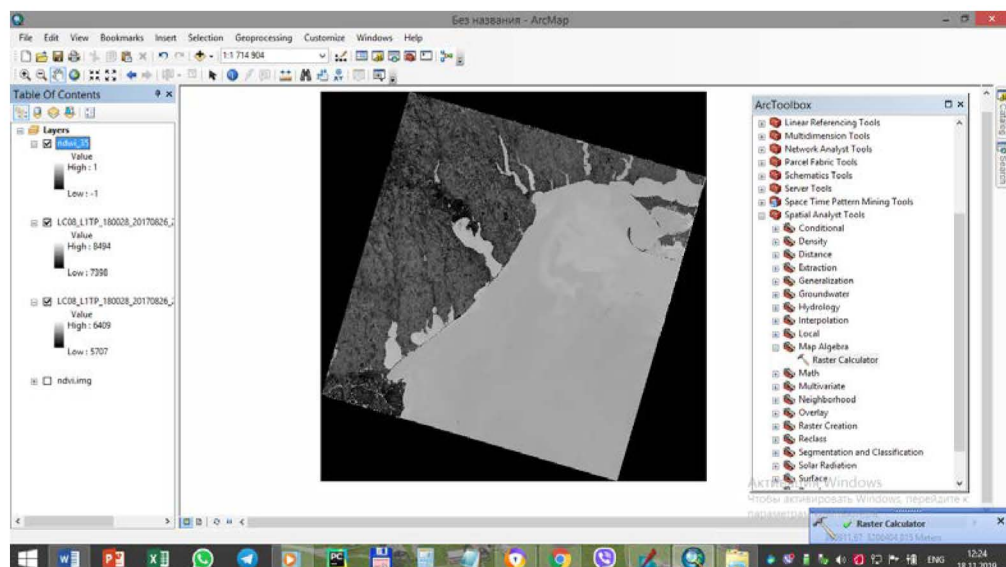


Рис.2.19. Зображення NDWI частини Одеської області в ПК ArcGis10.5

На Рис. 2.20 можна бачити класифіковане зображення з трьох класів. Синім кольором зображено водні об'єкти, зеленим рослинність, жовтим забудова.

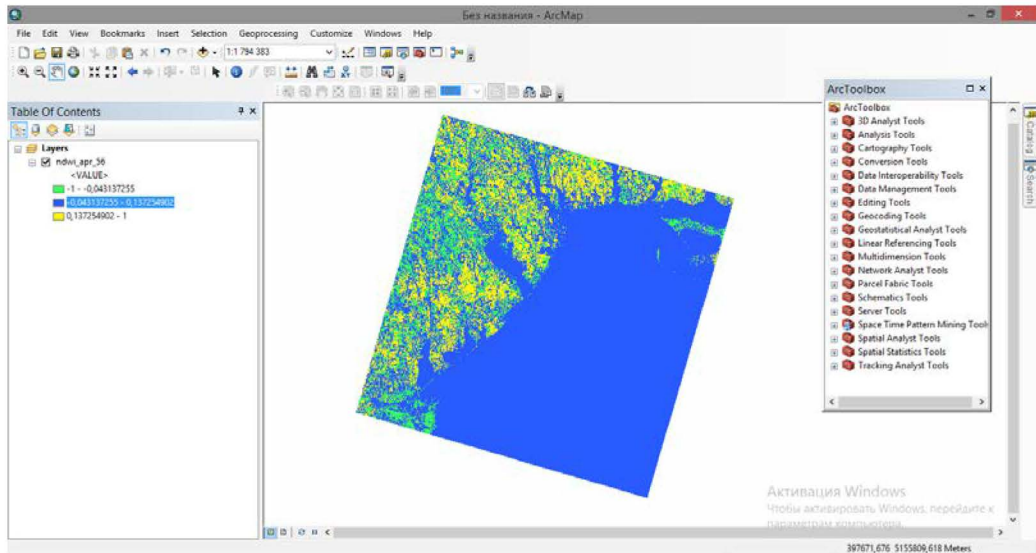


Рис.2.20. Класифіковане зображення (3 класи) NDWI частини Одеської області в
 ПК ArcGis10.5

Значення водойм більше 0,5. Рослинність має значно менші значення, що призводить до простішого відрізнення рослинності від водойм. Вбудовані функції мають позитивні значення між 0 та 0,2. Рис. 2.21 показує як можна змінити вручну межі класифікації.

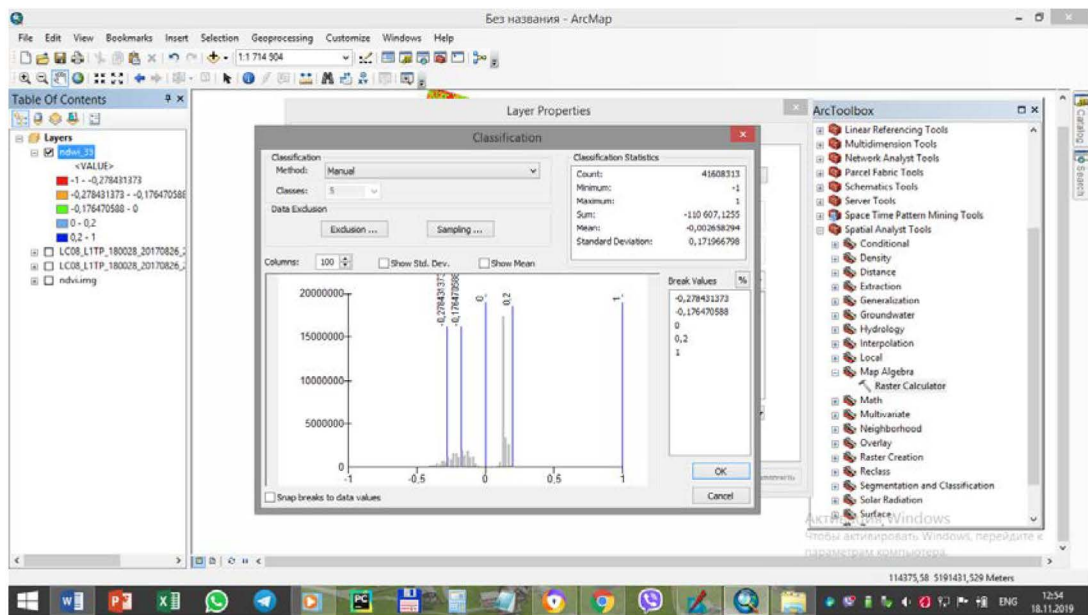


Рис.2.21. Зміна меж класифікації для кращого відображення в ПК ArcGis10.5

Рис. 2.22 показує класифіковане зображення (5 класів) NDWI, на цьому зображенні вже краще можна бачити найменші забудовані території, та рослинність.

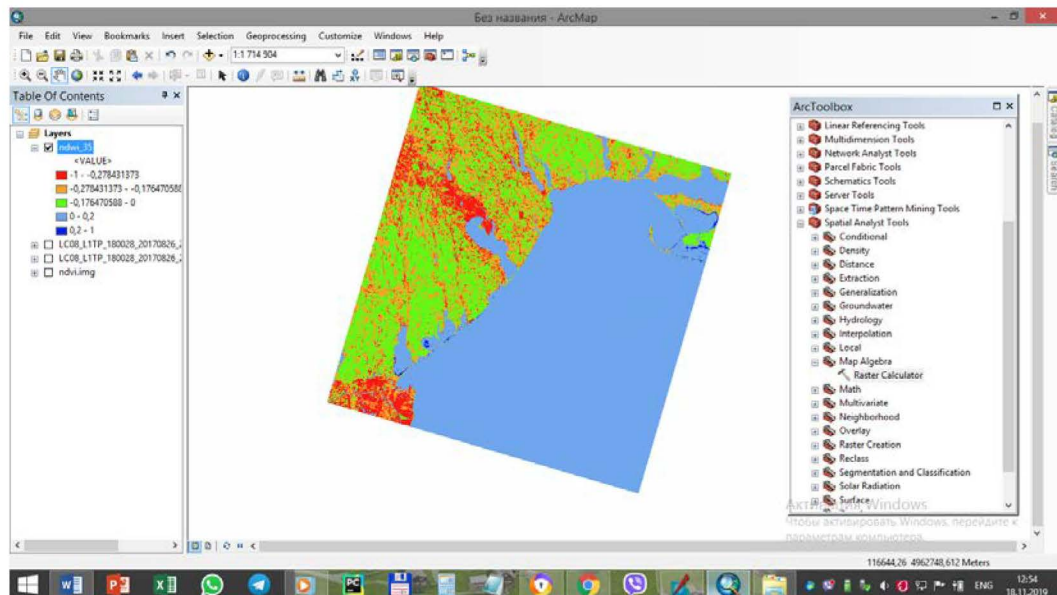


Рис.2.22. Класифіковане зображення (5 класів) NDWI частини Одеської області в
 ПК ArcGis10.5

Класифіковане зображення дозволяє краще розподіляти об'єкти за певними характеристиками, такими як вода, суша, забудова. За класифікацією можна визначати типи полів, та стан врожайності; відокремити ліс від полів тощо.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ОСНОВІ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ

3.1. Загальна характеристика водних ресурсів Одеської області

Водні ресурси Одеської області складаються із запасів підземних та поверхневих вод. Запаси поверхневих вод на території області розподіляються нерівномірно. Північна та центральна частини території характеризуються обмеженими запасами води, а південь та захід, які тяжіють до річок Дністер та Дунай, мають достатній запас води. На території Одеської області розташовано 5732 артезіанських свердловин та 195 шахтних колодязя. Однак, забезпеченість підземними водами якісною питною водою у цілому по області становить близько 30 %. Питне водопостачання області майже на 80 % забезпечується за рахунок поверхневих джерел, тому якість води у поверхневих водних об'єктах є вирішальним чинником санітарного та епідеміологічного благополуччя населення. Одеський водопровід отримує воду з поверхневих джерел ріки Дністер, Кілійський та Вилківський з ріки Дунай, Болградський з озера Ялпуг. Всі інші населені пункти користуються водою з підземних джерел.

Водозабезпеченість території Одеського регіону

На території південного регіону за особливостями водокористування та умовами водозабезпеченості у межах існуючих річкових басейнів можна виділити п'ять водогосподарських районів, а саме:

1. Північний водогосподарський район охоплює території Ананьївського, Балтського, Кодимського, Подільського, Окнянського, Любашівського і Савранського адміністративних районів. На території зазначених районів нараховується 1161 артсвердловин, з них 774 (67 %) перебувають у незадовільному технічному стані. Підземні джерела районів є основним джерелом водопостачання і оцінюються, як придатні для питного водокористування. За даними статзвітності № 2-ТП (водгосп) у 2018 році Північним водогосподарським районом забрано 2,984 млн. м³ води із природних водних об'єктів.

2. Центральний водогосподарський район охоплює території Березівського, Великомихайлівського, Миколаївського, Захарівського та Ширяївського адміністративних районів. На території вище зазначених районів налічується 1154 артсвердловин, з них 567 (49,1 %) знаходяться у незадовільному технічному стані. Мінералізація підземних вод, головним чином, верхньосарматських (розвідані горизонти, на які бурять свердловини для споживання води на питні потреби) водоносних горизонтів артезіанського басейну підвищена, але вони виступають єдиним джерелом водопостачання. За даними статзвітності № 2-ТП (водгосп) у 2018 році Центральним водогосподарським районом забрано 3,17 млн.м³ води із природних водних об'єктів.

3. Приміський (Придністровський) водогосподарський район охоплює території міст Одеса, Чорноморськ, Южний, Теплодар, Білгород-Дністровський та Білгород-Дністровського, Біляївського, Лиманського, Іванівського, Овідіопольського та Роздільнянського адміністративних районів. На території зазначених районів налічується 2283 артсвердловин, з них 1006 свердловин (44 %) перебувають у незадовільному технічному стані. За даними статзвітності № 2-ТП (водгосп) у 2018 році Приміським водогосподарським районом забрано 170,768 млн. м³ води із природних водних об'єктів.

4. Південно-Західний водогосподарський район охоплює територію Арцизького, Саратського, Тарутинського і Татарбунарського адміністративних районів, та характеризується у цілому незадовільною водогосподарською ситуацією та відсутністю надійних джерел водопостачання – розвідані підземні води мають високу мінералізацію. На території зазначених районів налічується 795 артсвердловин, з них 440 (55,3 %) знаходяться у незадовільному технічному стані. За даними статзвітності № 2-ТП (водгосп) у 2018 році Південно-Західним водогосподарським районом забрано 102,174 млн.м³ води із природних водних об'єктів.

5. Придунайський водогосподарський район охоплює територію міста Ізмаїл та Болградського, Ізмаїльського, Кілійського і Ренійського адміністративних районів. На території зазначених районів налічується 296 артсвердловин, з них 159 (53,7 %) перебувають у незадовільному технічному стані. За даними статзвітності № 2-ТП (водгосп) у 2018 році Придунайським водогосподарським районом забрано 472,621 млн. м³ води із природних водних об'єктів.

Водокористування та водовідведення

У 2018 році забір води з природних водних об'єктів склав 751,7 млн. м³, що на 85,3 млн. м³ більше ніж у 2017 році.

На 85,3 млн. м³ збільшився обсяг забору води з поверхневих джерел, на 8,22 млн. м³ збільшився забір води із підземних джерел. Забір води з Чорного моря зменшився на 0,43 млн. м³.

Водопостачання від загального обсягу використаної прісної води (становить 2158 млн. м³) розподіляється наступним чином:

- питні та санітарно-гігієнічні потреби – (240,3 млн. м³);
- виробничі потреби – (123,8 млн. м³);
- зрошення – (413,2 млн. м³);
- інші галузі – (17,64 млн. м³).

Загальний обсяг водовідведення у 2018 році складає 403,4 млн. м³, у тому числі у поверхневі водні об'єкти 388,0 млн. м³.

Скид забруднених стічних вод у водні об'єкти складає 388,0 млн. м³, у тому числі недостатньо очищених 7,663 млн.м³, без очищення – 34,29 млн. м³.

У порівнянні з 2017 роком зменшився скид недостатньо очищених стічних вод на 0,128 млн. м³ та нормативно-очищених стічних вод на 4,0 млн. м³ [44]. Динаміка змін досить позитивна, але потрібно й надалі працювати над зменшенням скидів стічних вод у водні об'єкти.

3.2. Побудова зображень водних об'єктів Одеської області з використанням супутникових знімків

В дипломній роботі використані знімки супутника Landsat 8, які знаходяться у відкритому доступі на сайті геологічної служби США <https://www.usgs.gov/>, що показано на Рис. 3.1.

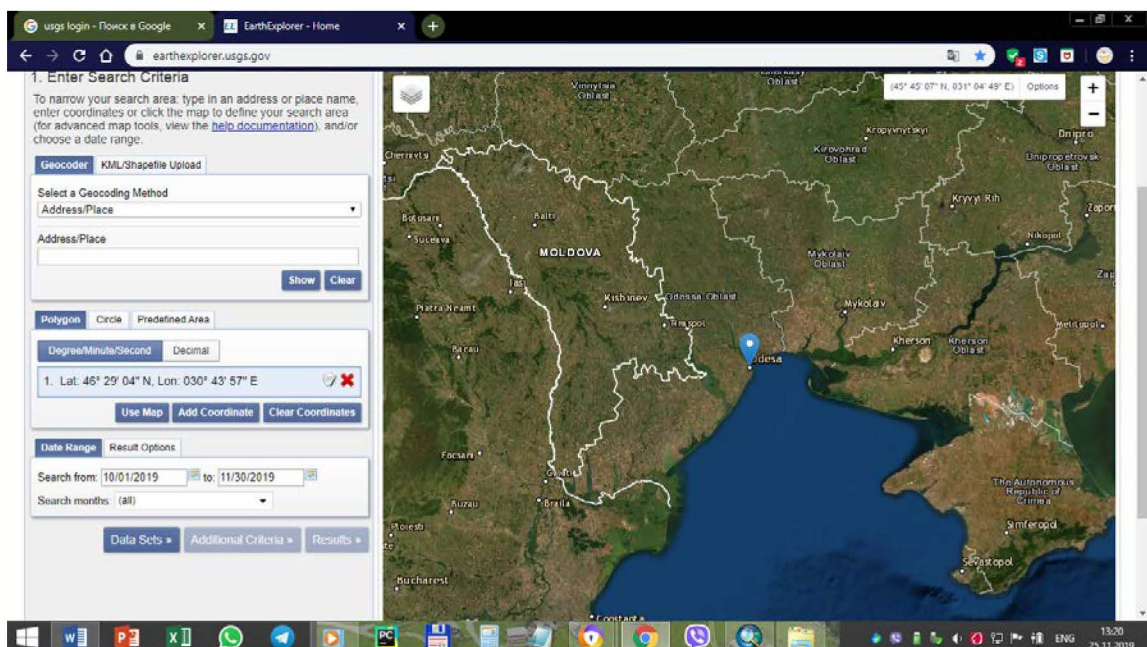


Рис. 3.1. Сайт геологічної служби США

На рис. 3.2. показано, як можна задати потрібну ділянку місцевості, на яку потрібно отримати супутникові знімки. Оскільки, нас цікавить Одеська область, ми задали координати полігону, який охопив всю область. Повністю область покривають три знімки, тому потрібно робити дослідження одразу для кількох знімків.

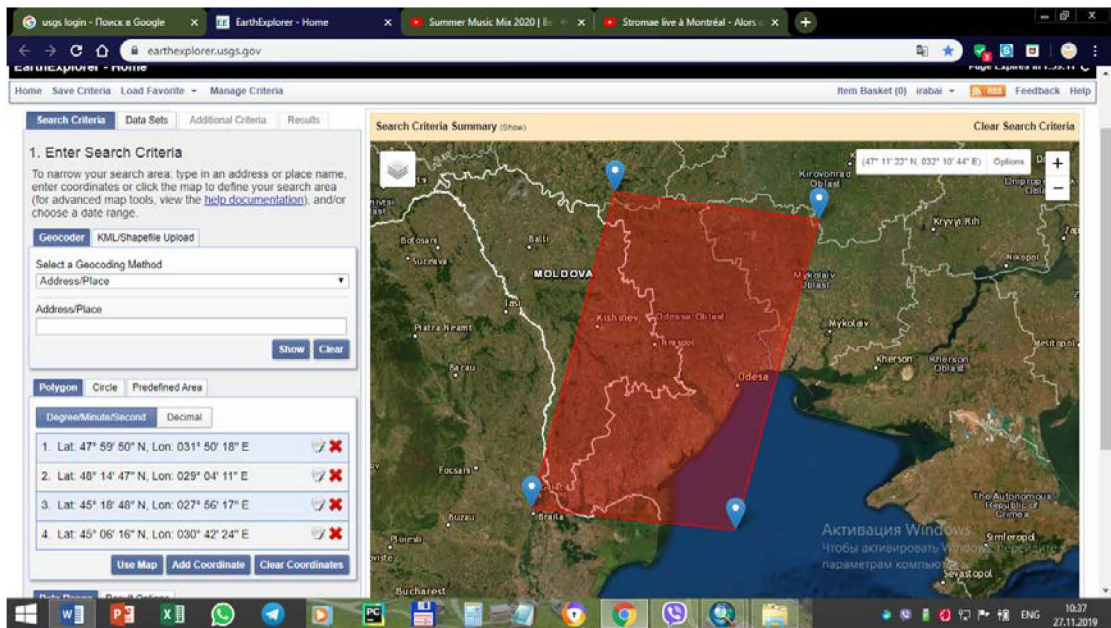


Рис. 3.2. Зображення Одеської області на сайті <https://www.usgs.gov/>

3.2.1. Стан водних об'єктів Одеської області за індексом каламутності NDTI та забруднення води

Для того, щоб отримати якісні зображення, були відібрані лише ті знімки, які не були вкриті густою хмарністю. В 2019 році для Одеської області такі знімки вийшли за квітень, травень, липень, серпень, жовтень, листопад. Вже на основі цих космознімків було розраховано індекс NDTI. Всі розрахунки проводились в ПК ArcGis 10.5. На рис. 3.3.-3.6 можна побачити зображення водних об'єктів з використанням NDTI за декілька місяців. Всі місяці не були взяті тому, що супутникові знімки були сильно захмареними і прочитати якусь інформацію було б неможливо, або вкрай важко. Проаналізувавши отримані карти, можна зробити висновок, що найбільш каламутними водні об'єкти у 2019 році були у жовтні. Для того, щоб відобразити всю територію Одеської області, потрібно було зшити п'ять знімків за допомогою інструментів ArcToolbox: Data Management Tools>Raster> Raster Dataset>Mosaic To New Raster. Після зшиття мозаїки, вирізано територію Одеської області теж з використанням ArcToolbox: Data Management Tools>Raster> Raster Processing>Clip. На основі цих вирізаних зображень, будувалась серія карт, яка відображає різні особливості водних ресурсів. Зокрема, NDTI індекс відображає рівень каламутності води.

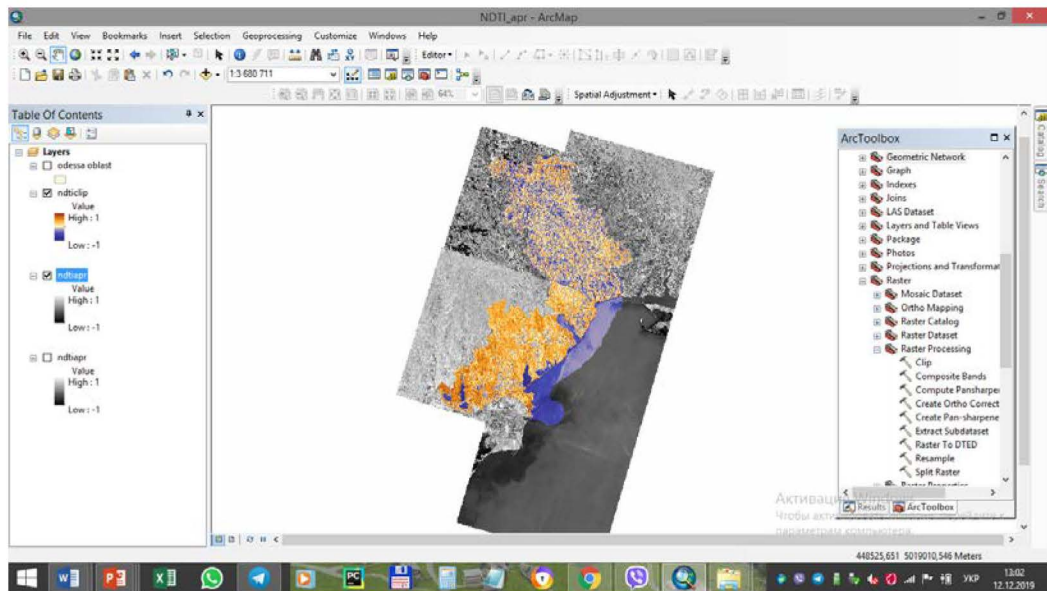


Рис. 3.3. Зображення Одеської області відповідно до значень NDTI

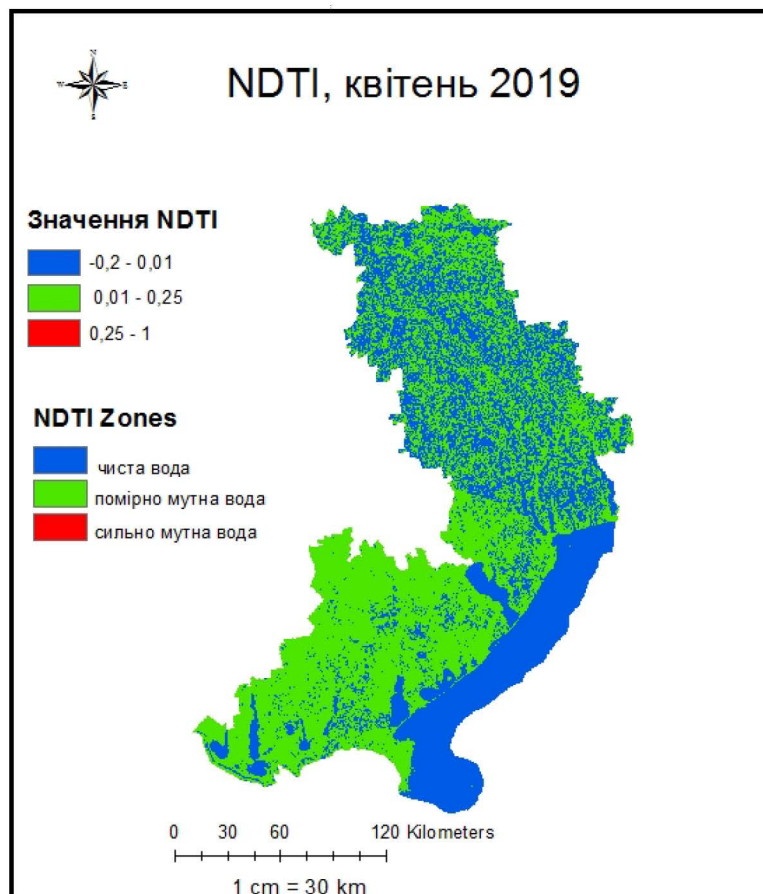


Рис. 3.4. Карта Одеської області, значення NDTI(квітень 2019)

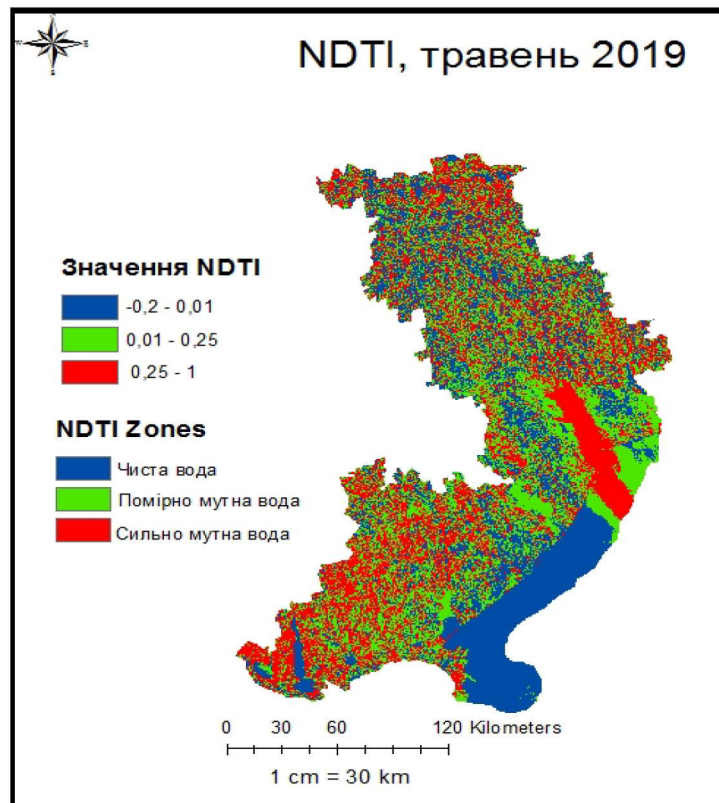


Рис. 3.5. Карта Одеської області, значення NDTI(травень 2019)

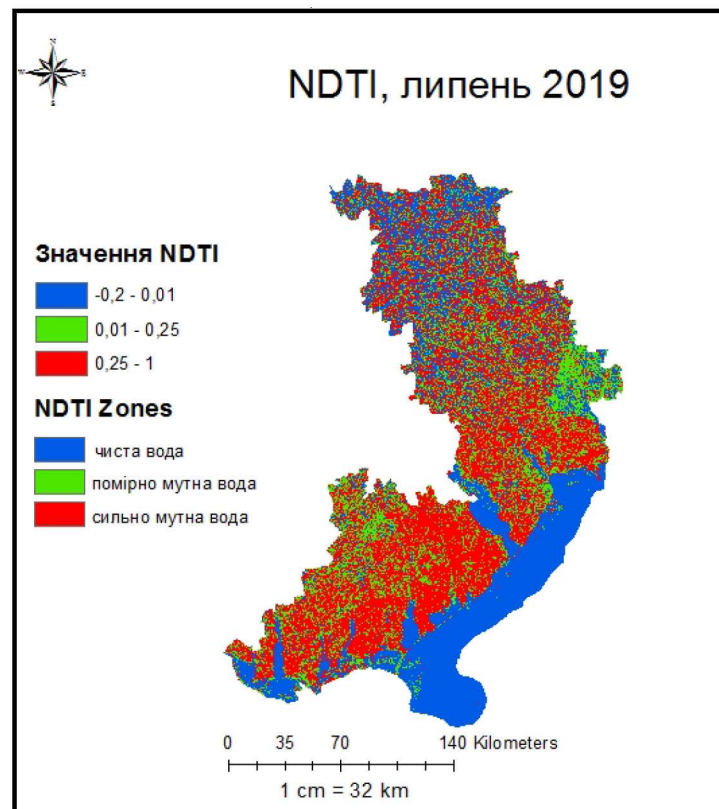


Рис. 3.6. Карта Одеської області, значення NDTI(липень 2019)

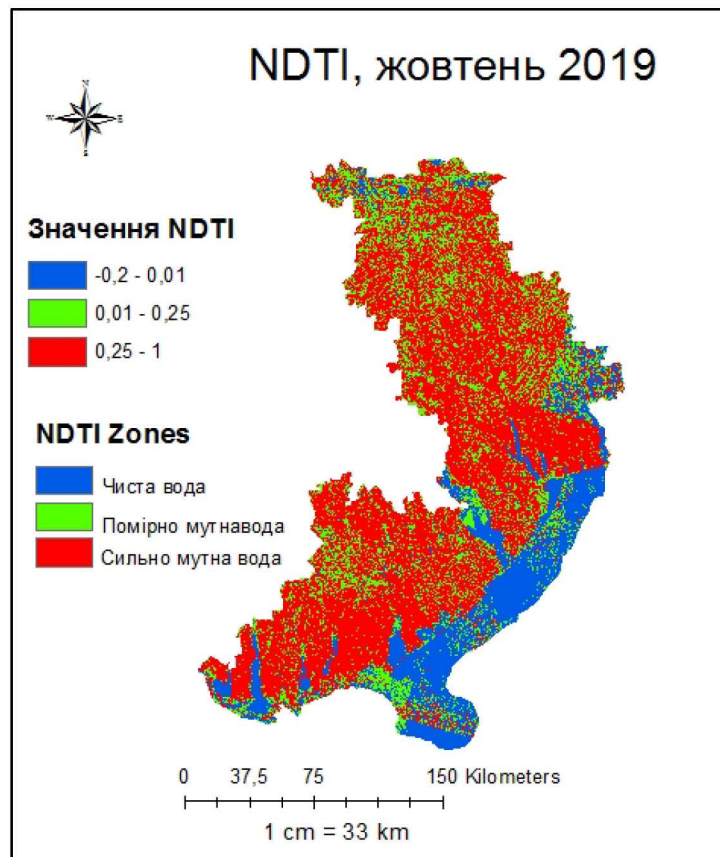


Рис. 3.7. Карта Одеської області, значення NDTI(жовтень 2019)

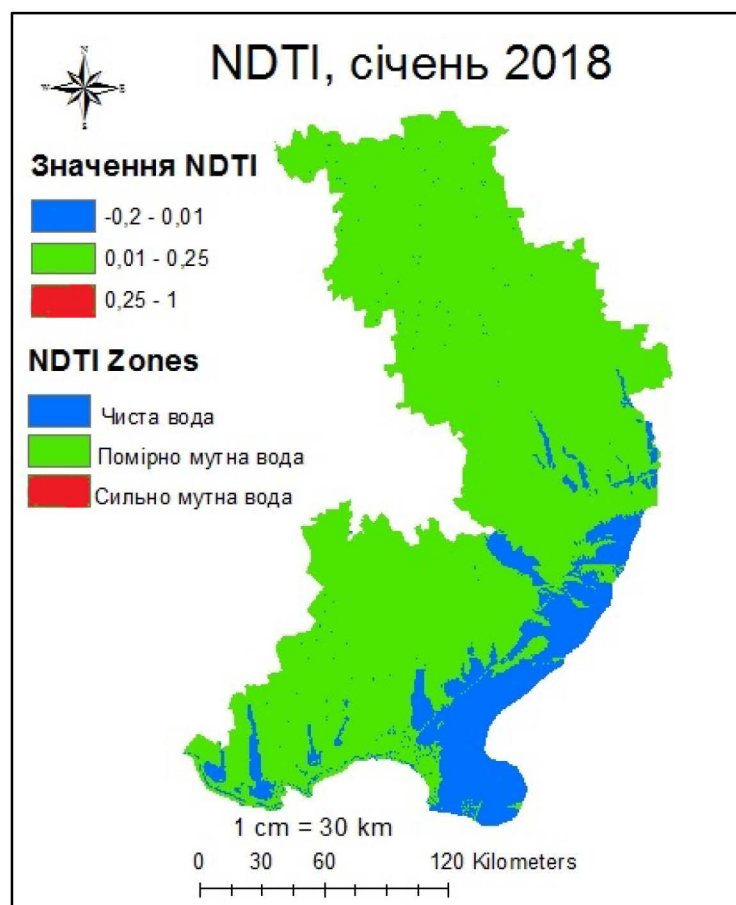


Рис. 3.8. Карта Одеської області, значення NDTI(січень 2018)

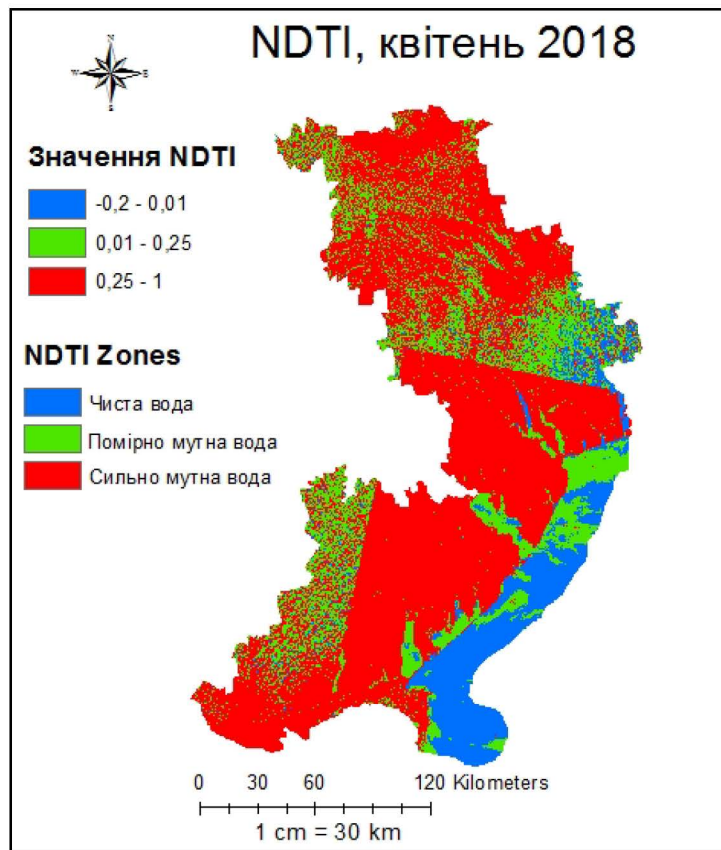


Рис. 3.9. Карта Одеської області, значення NDTI(квітень 2018)

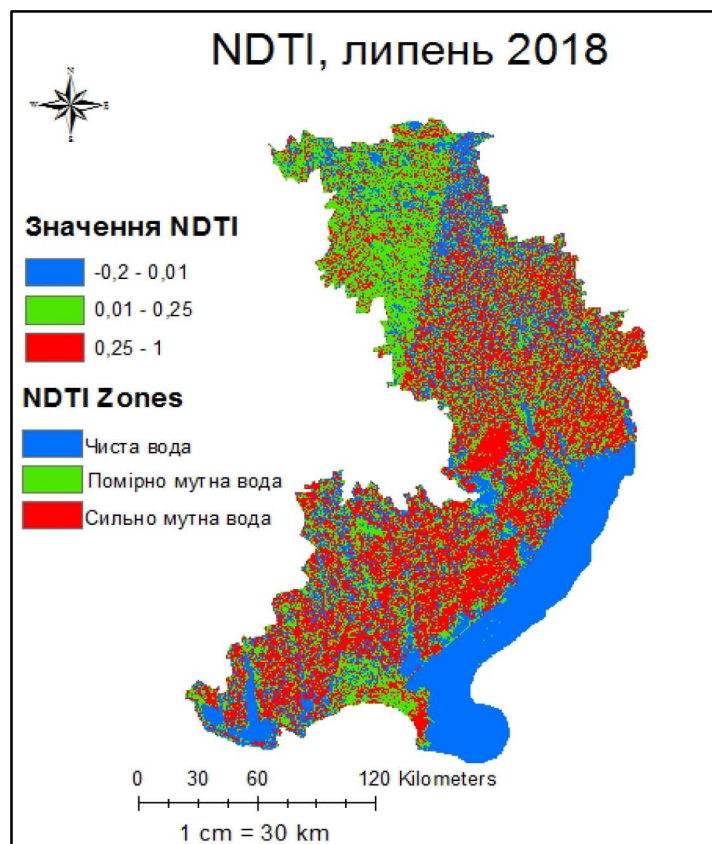


Рис. 3.10. Карта Одеської області, значення NDTI(липень 2018)

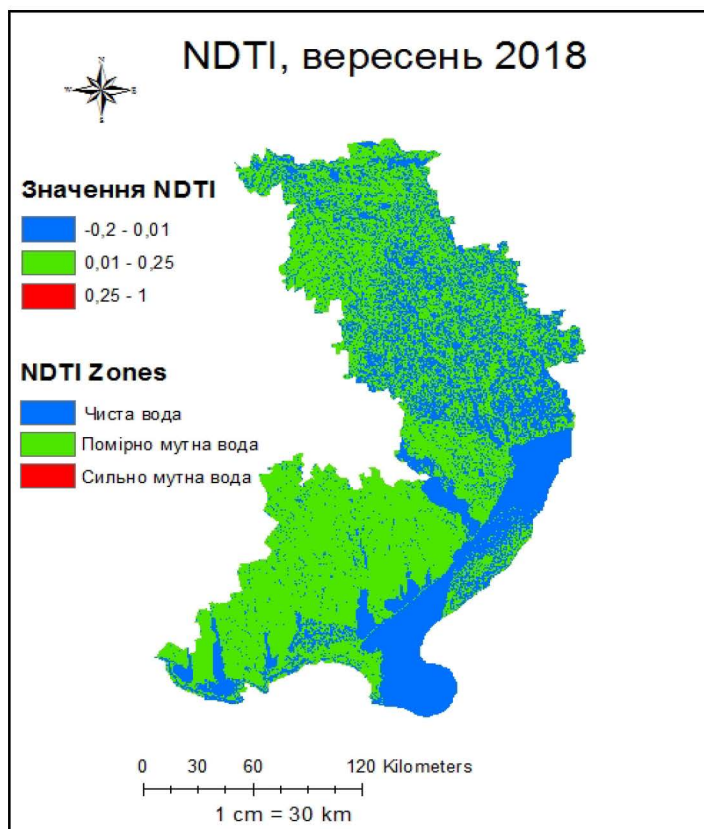


Рис. 3.11. Карта Одеської області, значення NDTI(вересень 2018)

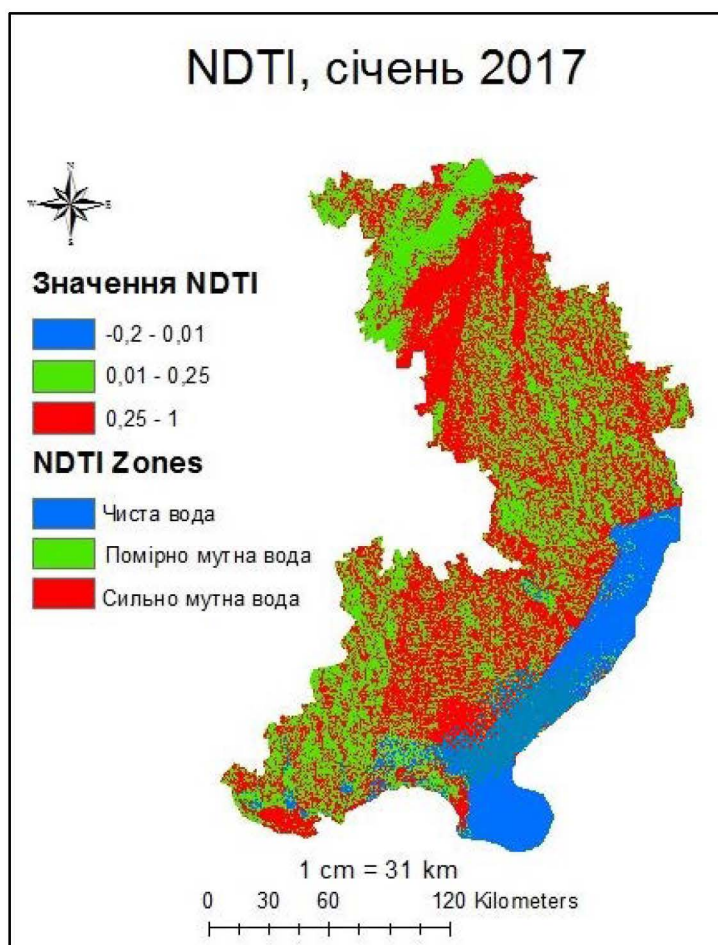


Рис. 3.12. Карта Одеської області, значення NDTI(січень 2017)

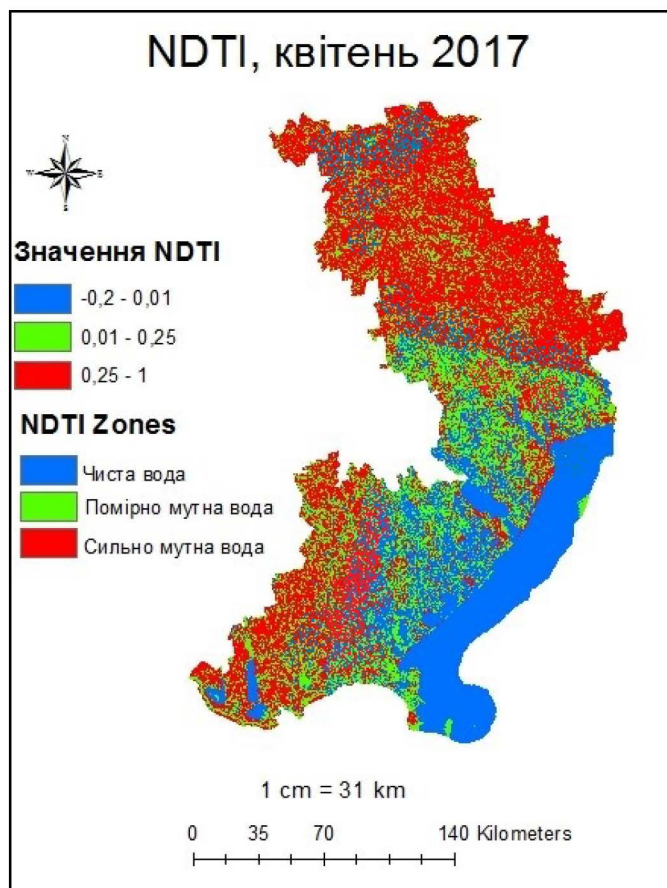


Рис. 3.13. Карта Одеської області, значення NDTI(квітень 2017)

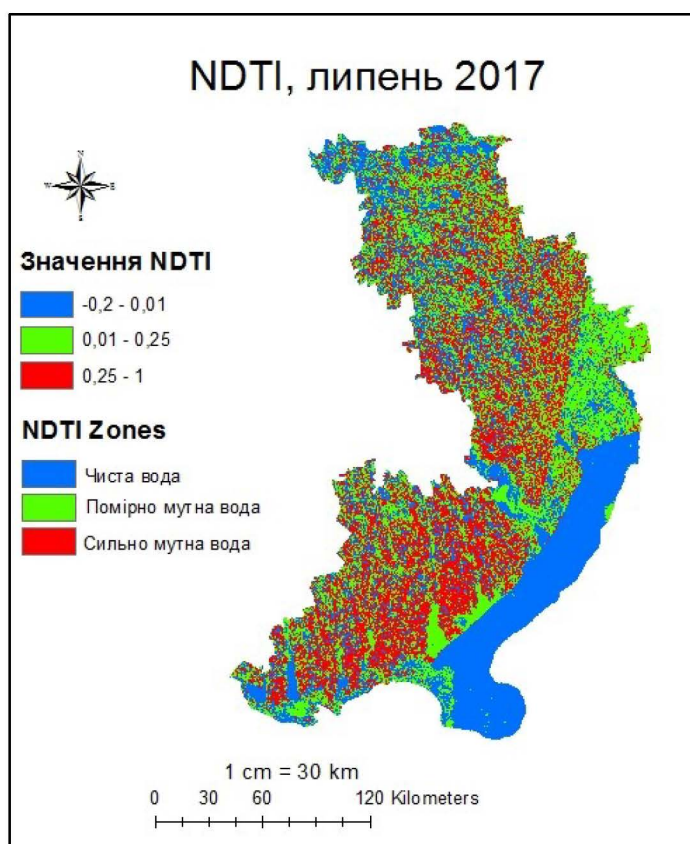


Рис. 3.14. Карта Одеської області, значення NDTI(липень 2017)

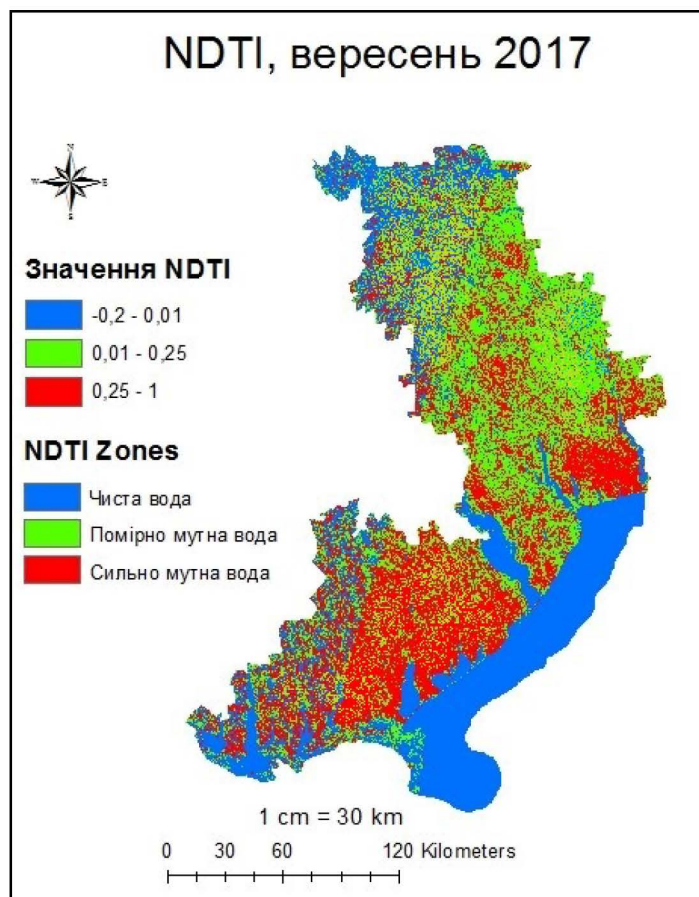


Рис. 3.15. Карта Одеської області, значення NDTI(вересень 2017)

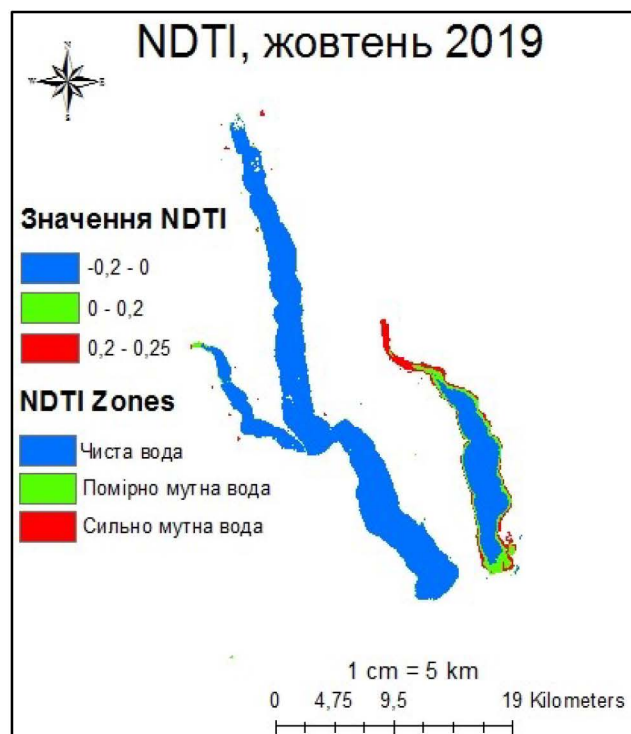
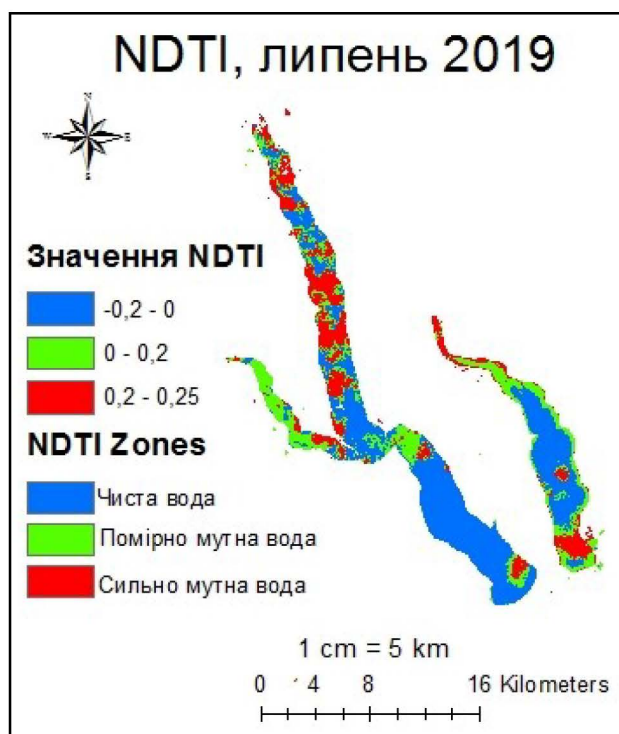
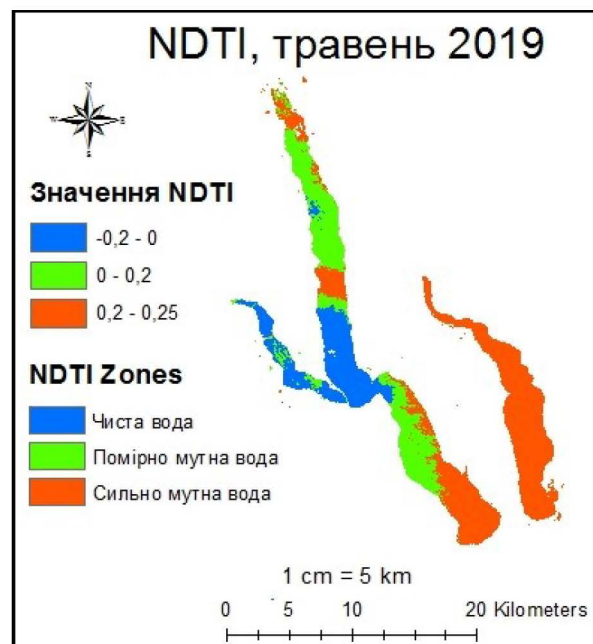
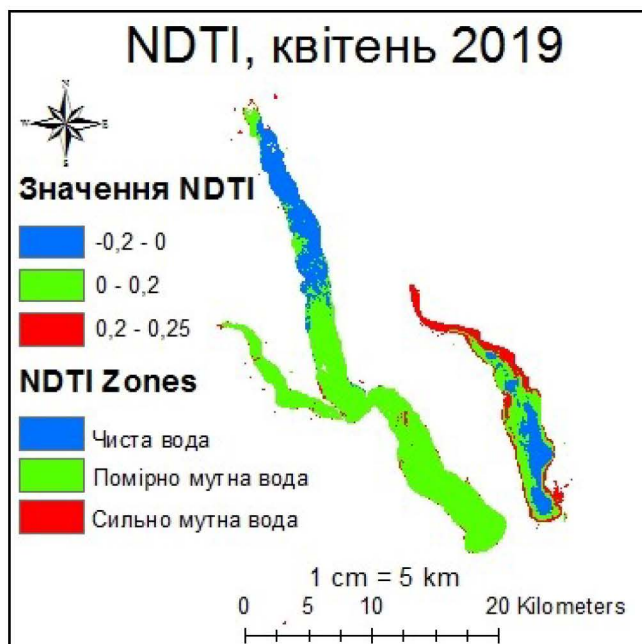


Рис. 3.16 Карти Куяльницького та Хаджибейського лиманів, значення за 2019 рік

3.2.2. Зображення водойм Одеської області, отримані за значеннями індексу NDPI

NDPI індекс забезпечує кращий розподіл водної та водно-болотної рослинності від нормальної рослинності в порівнянні з NDVI, який виявляє всі типи рослинності. Індекс NDWI для оцінки ризику виникнення пожежі використовується для визначення наявності вологи в рослинному покриві. Більш високі значення NDWI вказують на достатню вологість, в той час як низькі значення вказують на нестачу води. Варто зазначити, що цей індекс розраховується за двома формулами. Як було сказано вище, одна формула використовується для визначення кількості води в рослинах. Друга формула використовується для пошуку рівня води або зміну рівня води (наприклад, затоплення), тоді доцільно використовувати зелені та спектри NIR спектральних смуг, що використовуються в даній формулі. На рис. 3.3. показано територію Одеської області, обраховану за NDPI.

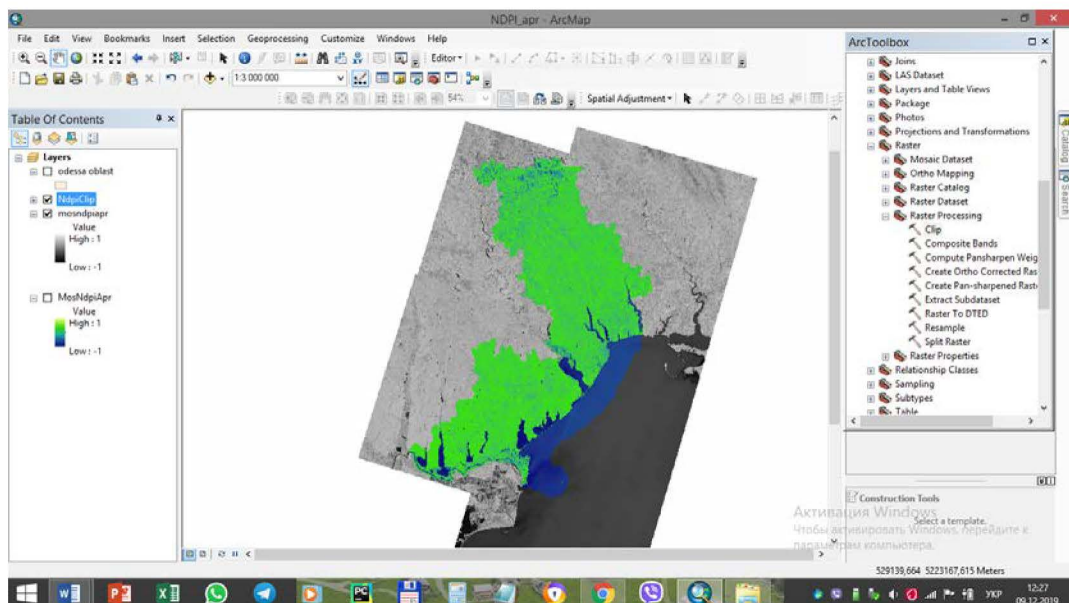


Рис. 3.17. Територія Одеської області, обчислена за NDPI

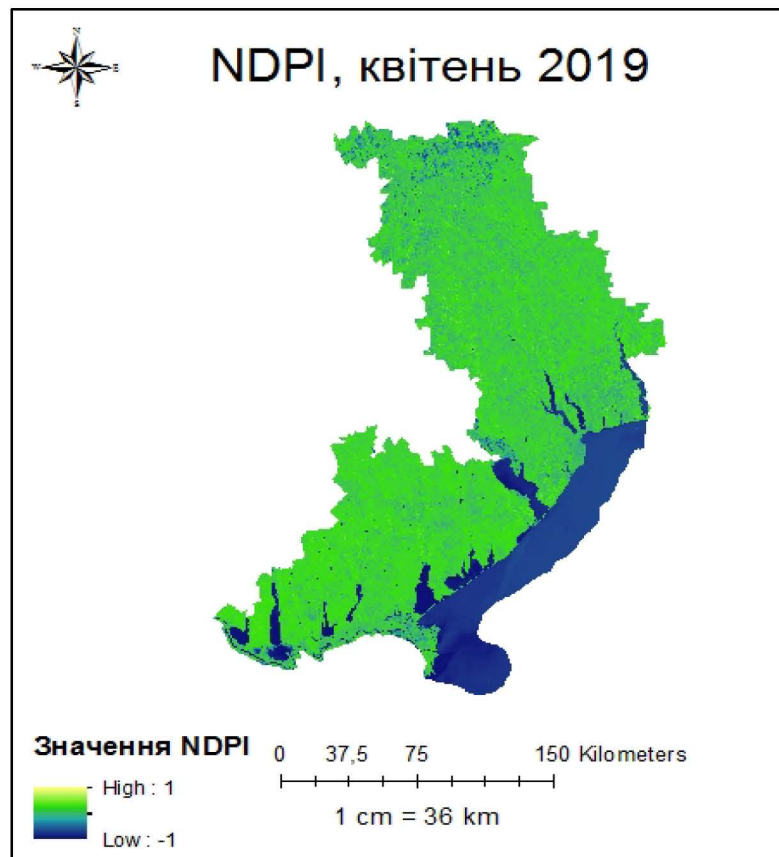


Рис. 3.18. Карта Одеської області, значення NDPI(квітень 2019)

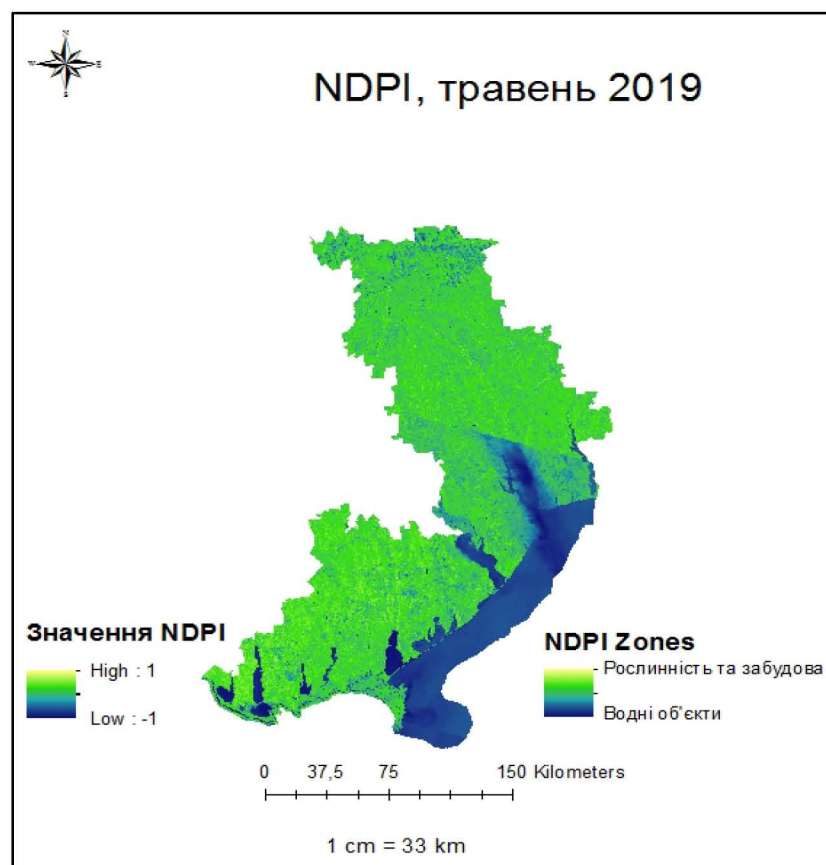


Рис. 3.19. Карта Одеської області, значення NDPI(травень 2019)

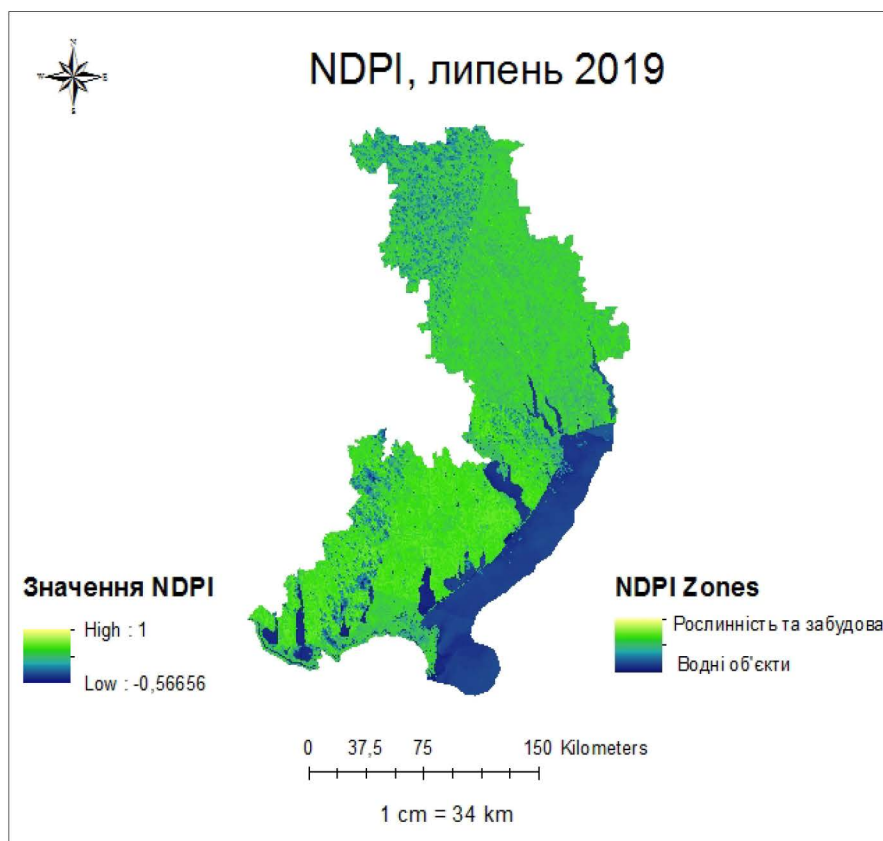


Рис. 3.20. Карта Одеської області, значення NDPI(липень 2019)

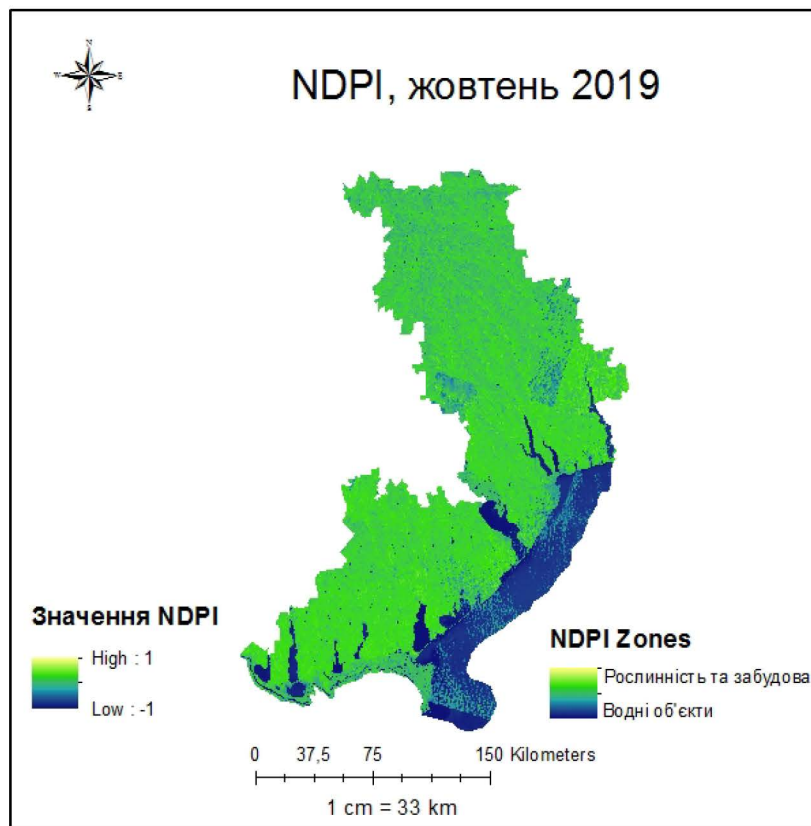


Рис. 3.21. Карта Одеської області, значення NDPI(жовтень 2019)

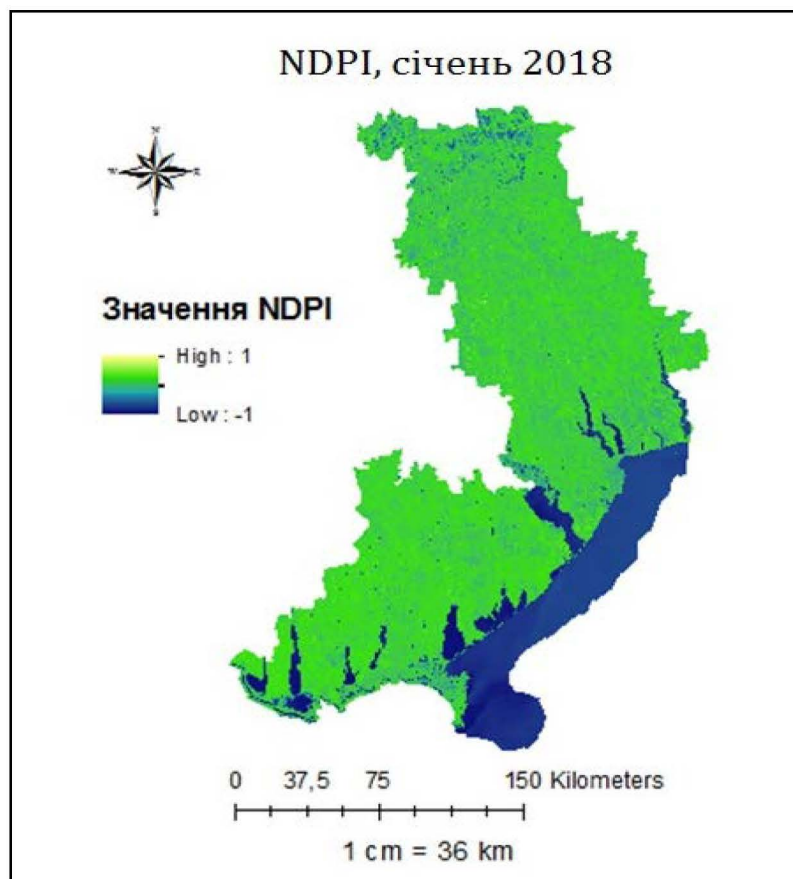


Рис. 3.22. Карта Одеської області, значення NDPI(січень 2018)

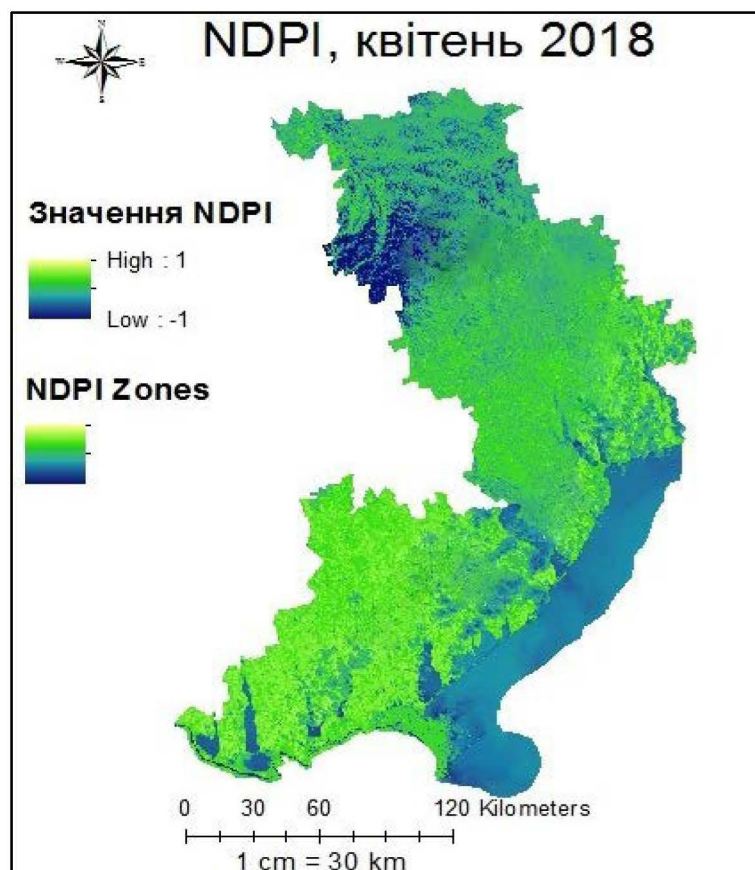


Рис. 3.23. Карта Одеської області, значення NDPI(квітень 2018)

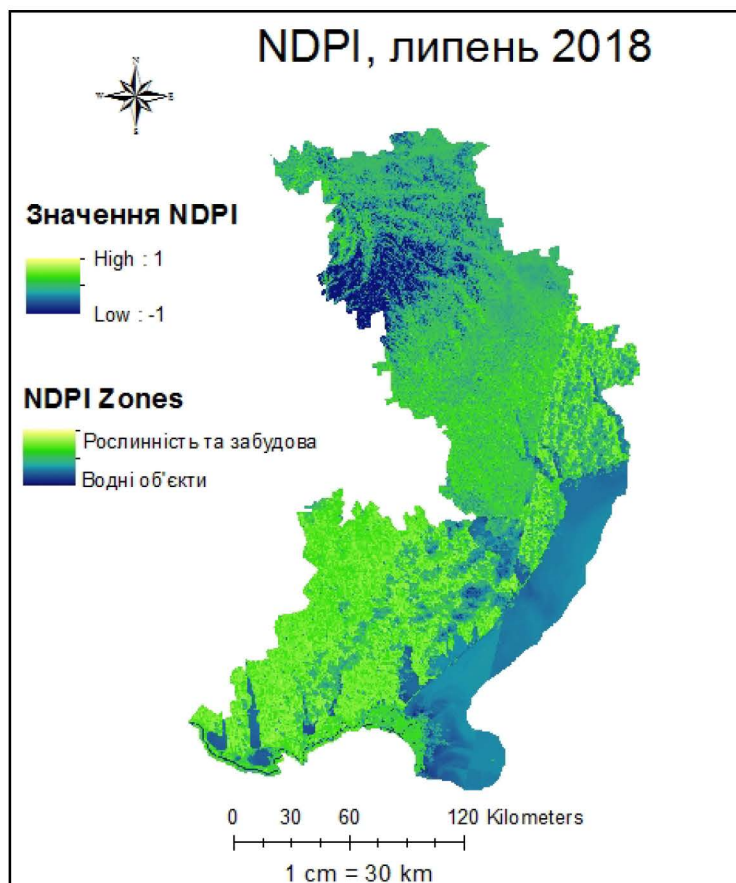


Рис. 3.24. Карта Одеської області, значення NDPI(липень 2018)

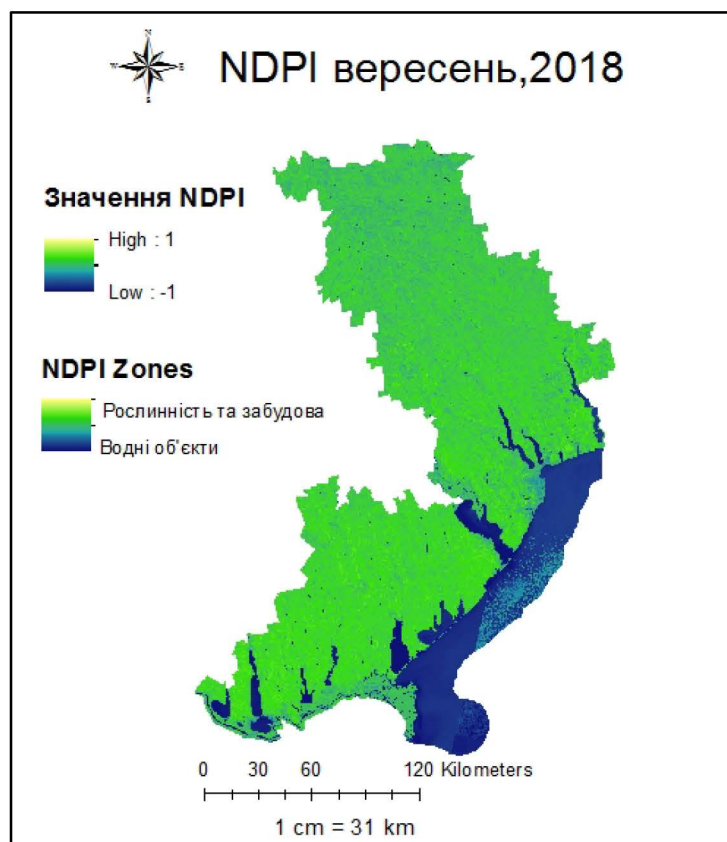


Рис. 3.25. Карта Одеської області, значення NDPI(вересень 2018)

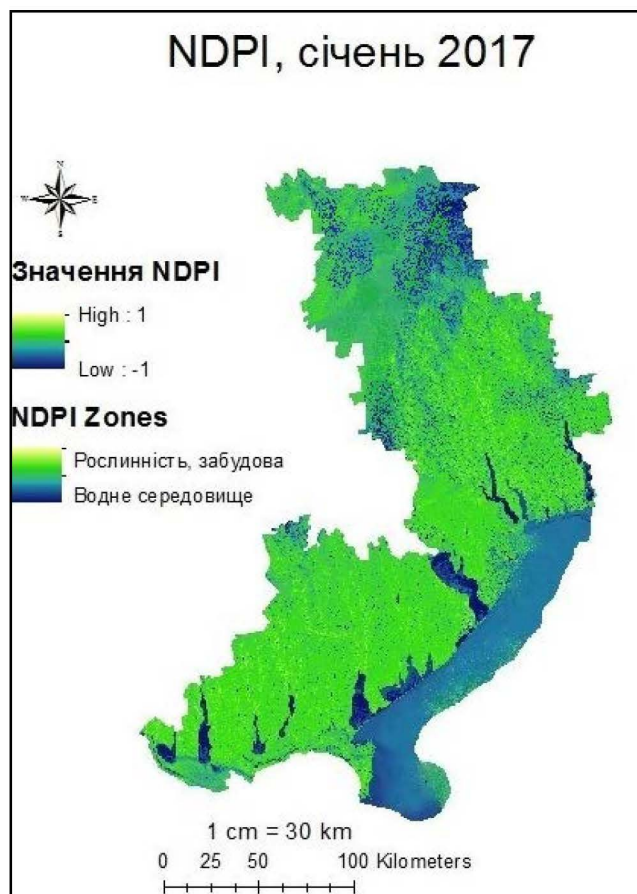


Рис. 3.26. Карта Одеської області, значення NDPI(січень 2017)

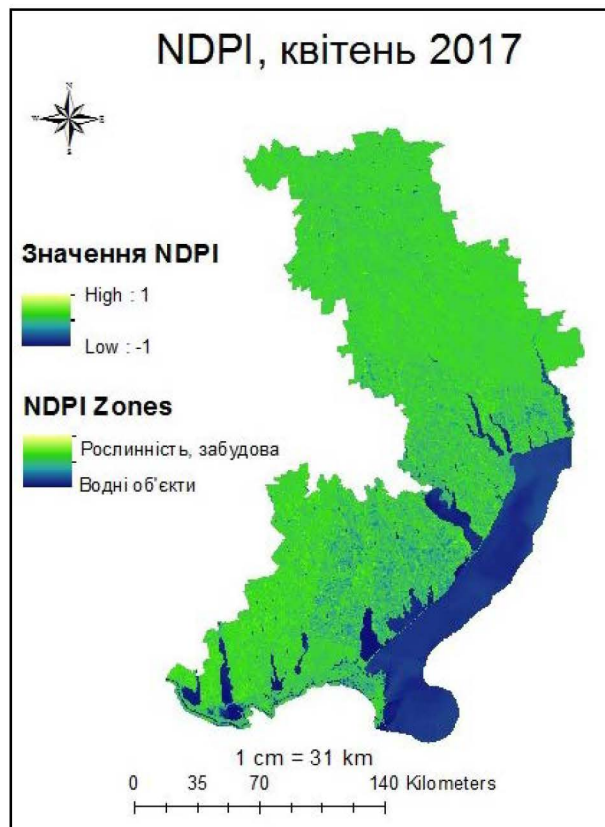


Рис. 3.27. Карта Одеської області, значення NDPI(квітень 2017)

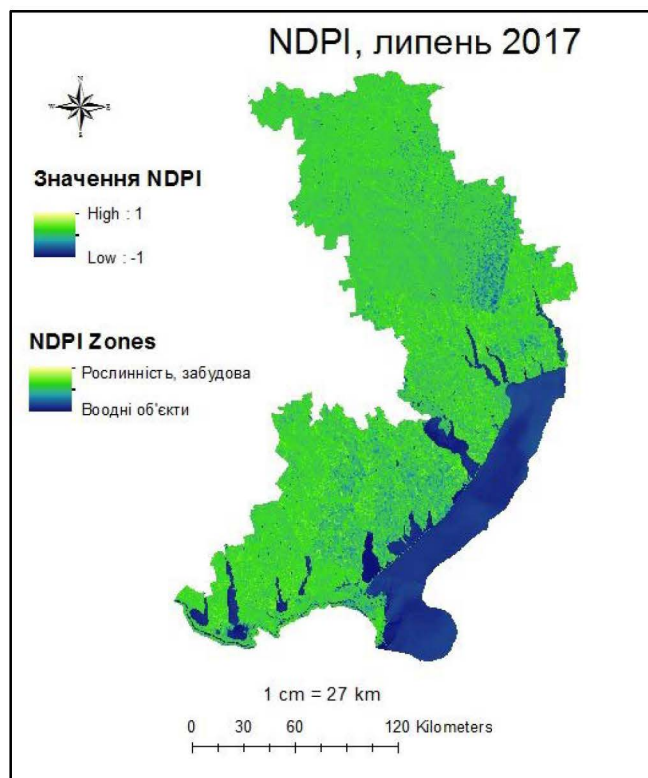


Рис. 3.28. Карта Одеської області, значення NDPI(липень 2017)

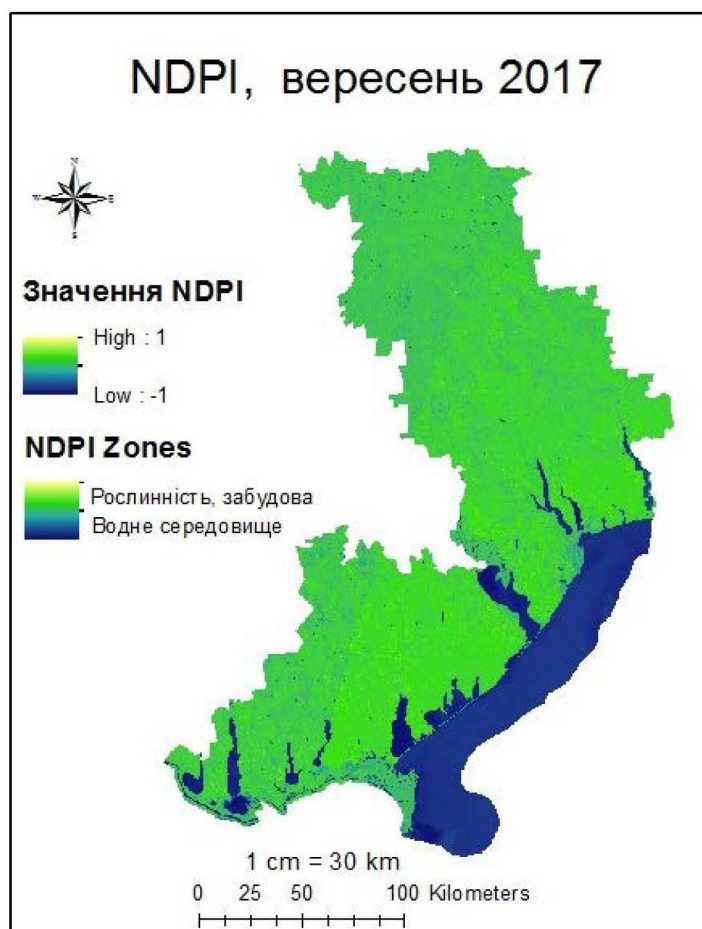


Рис. 3.29. Карта Одеської області, значення NDPI(вересень 2017)

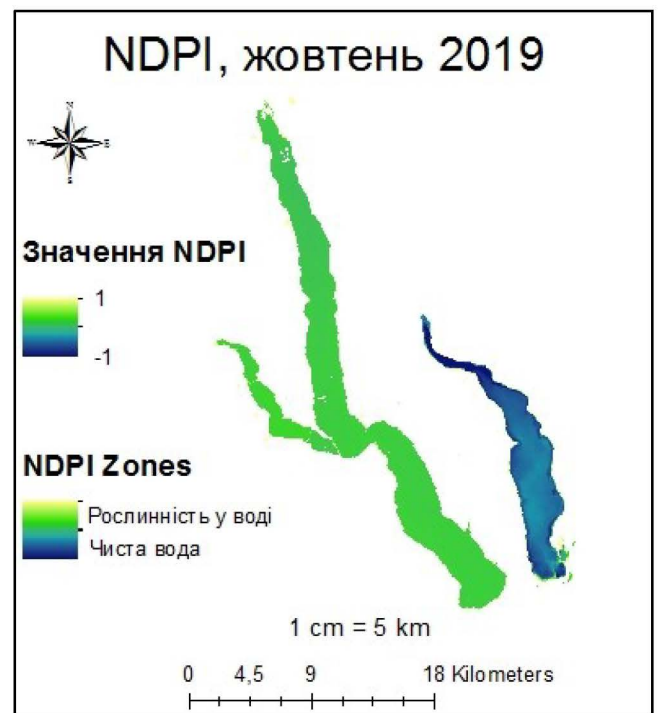
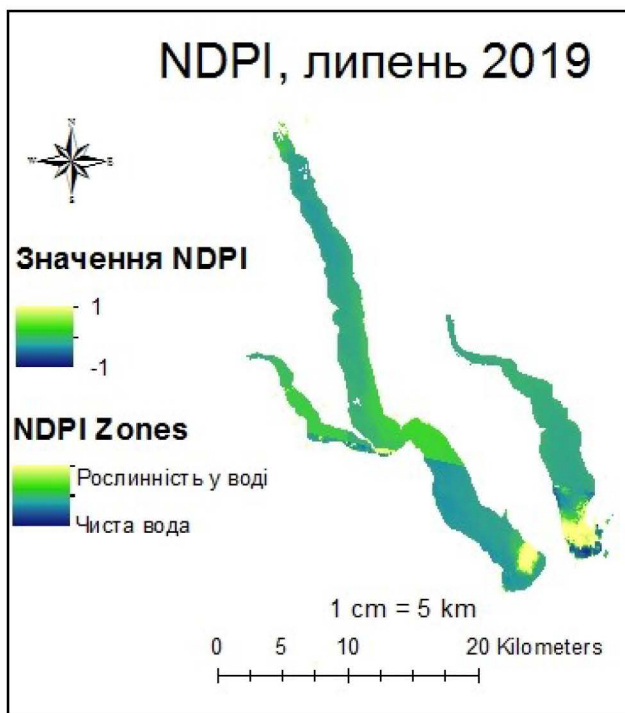
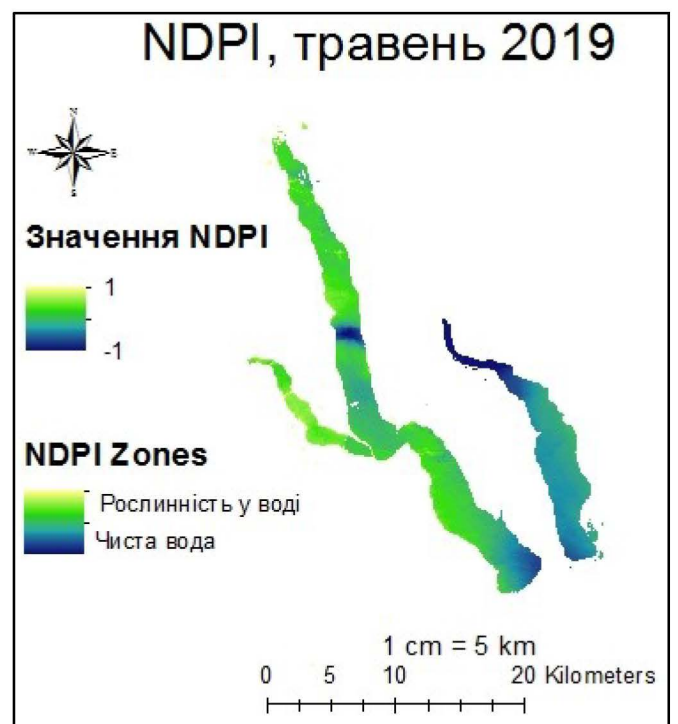
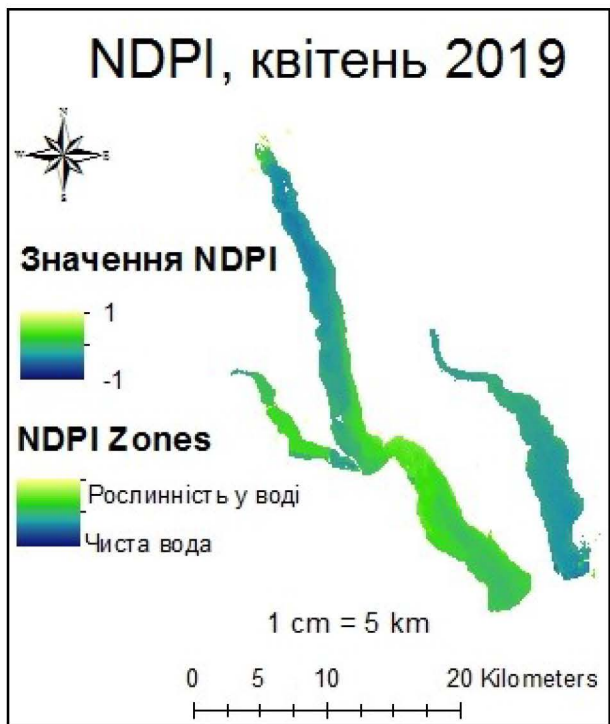


Рис.3.30 Карти Куяльницького та Хаджибейського лиманів, значення за 2019 рік

3.2.3. Зображення водойм, побудовані відповідно до значень NDVI

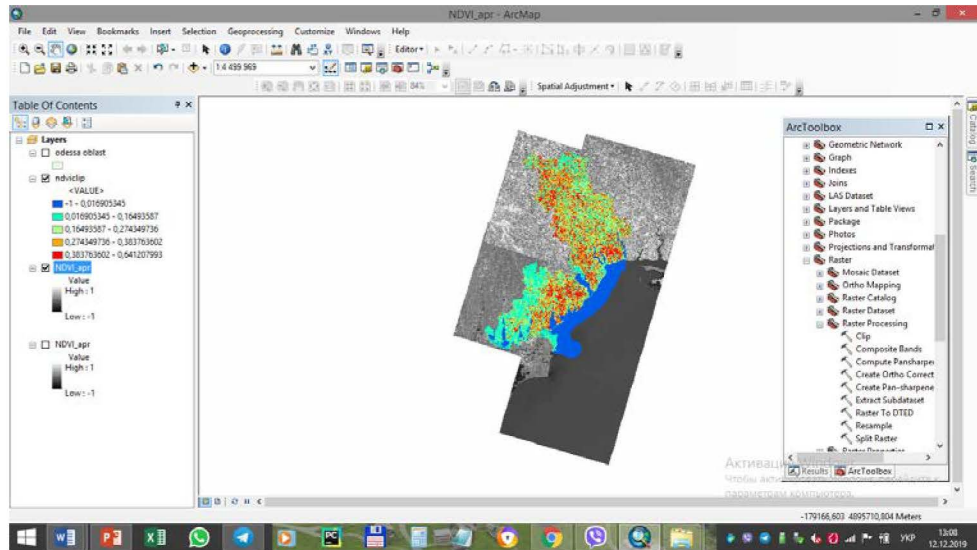


Рис. 3.31. Карта Одеської області, значення NDVI

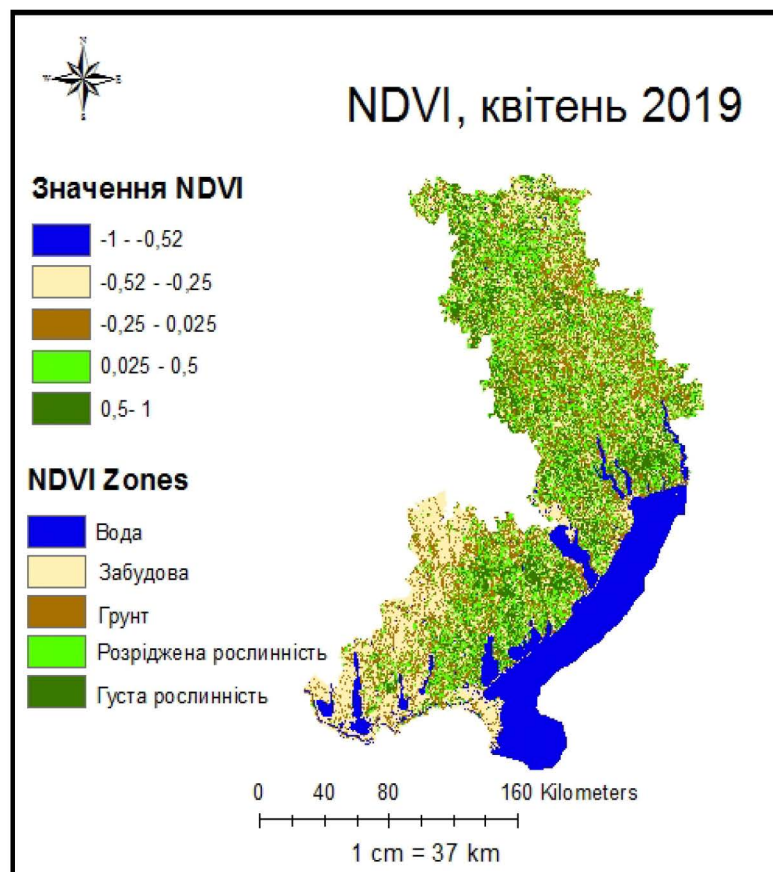


Рис. 3.32. Карта Одеської області, значення NDVI(квітень 2019)

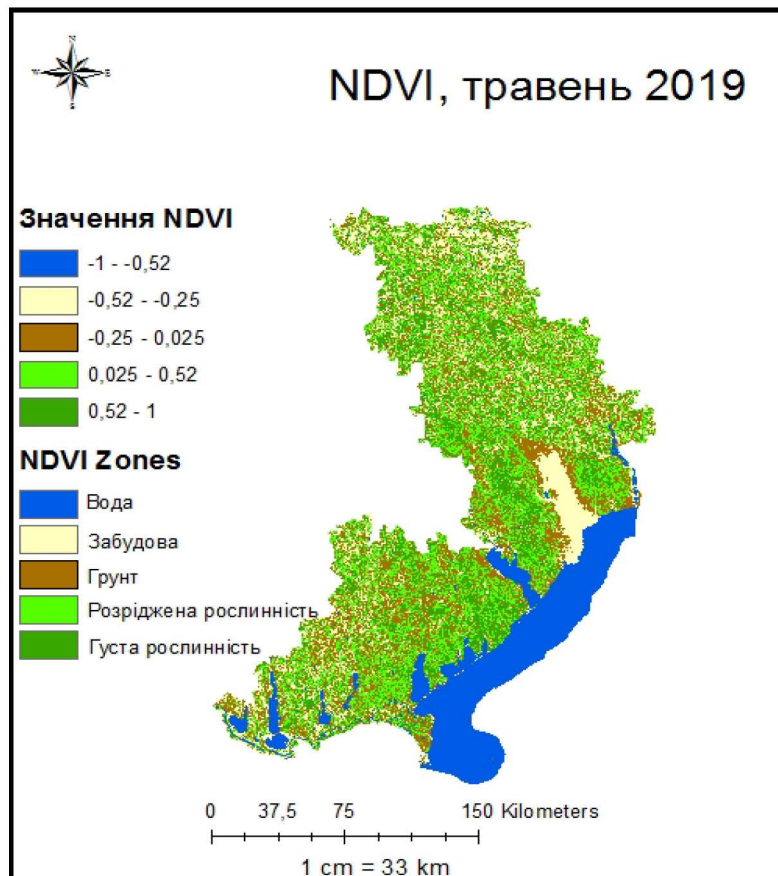


Рис. 3.33. Карта Одеської області, значення NDVI(травень 2019)

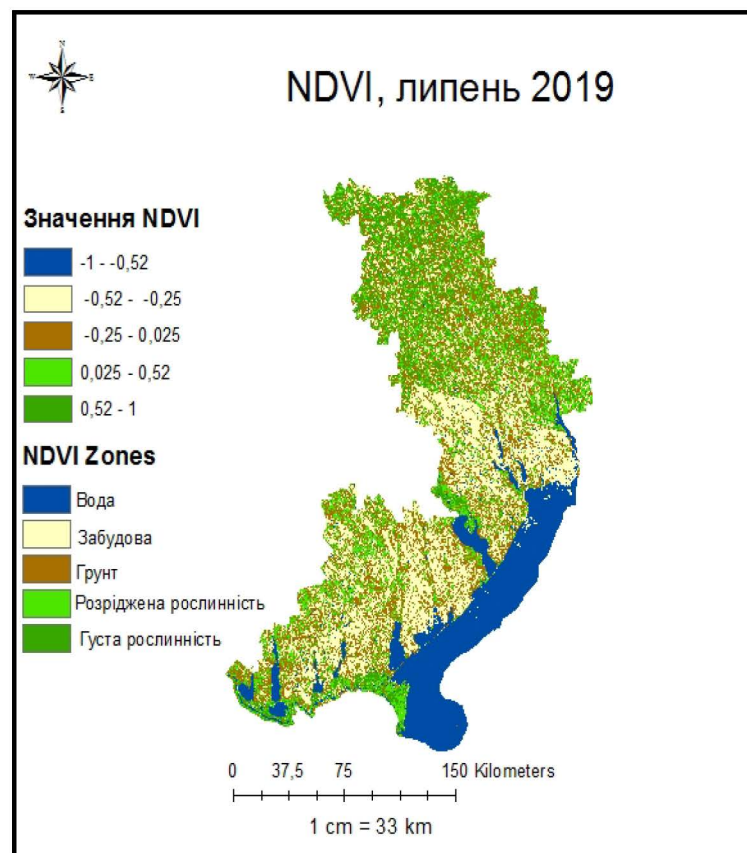


Рис. 3.34. Карта Одеської області, значення NDVI(липень 2019)

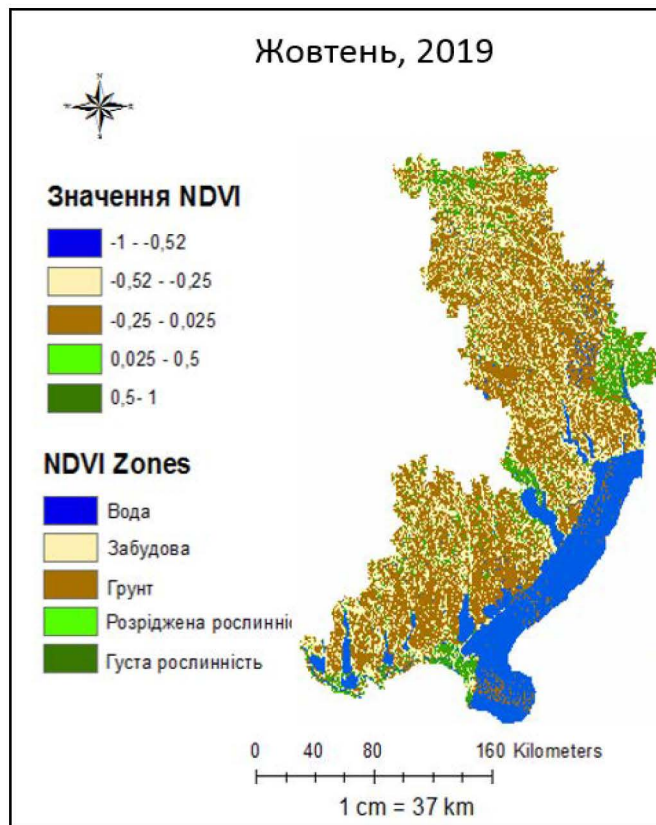


Рис. 3.35. Карта Одеської області, значення NDVI(жовтень 2019)

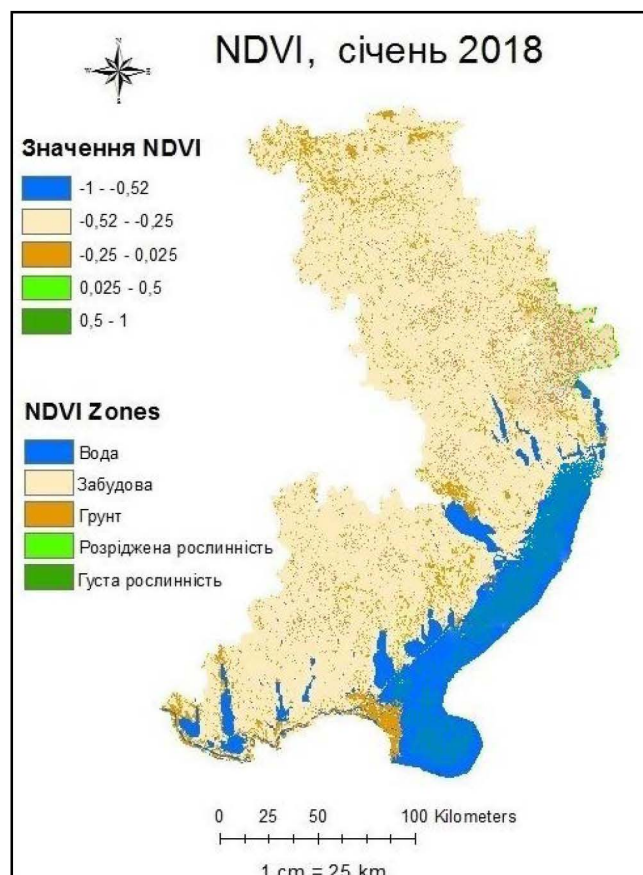


Рис. 3.36. Карта Одеської області, значення NDVI(січень 2018)

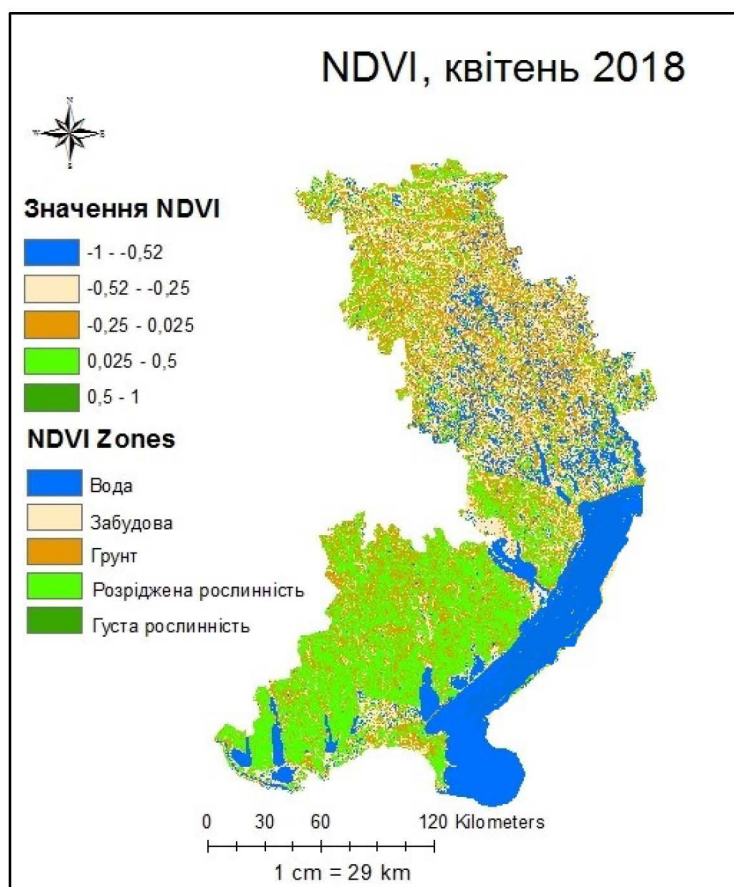


Рис. 3.37. Карта Одеської області, значення NDVI(квітень 2018)

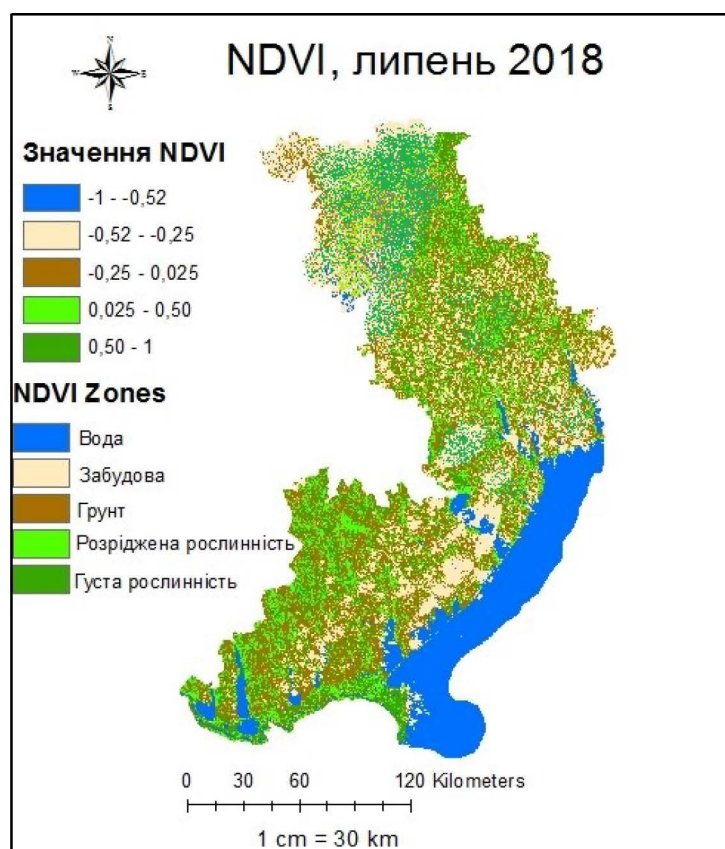


Рис. 3.38. Карта Одеської області, значення NDVI(липень 2018)

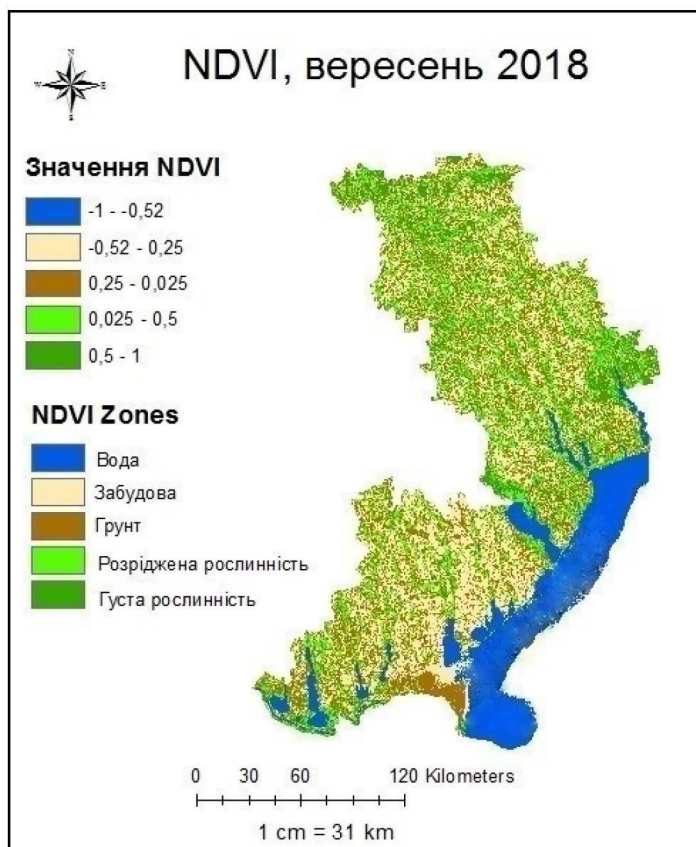


Рис. 3.39. Карта Одеської області, значення NDVI(вересень 2018)

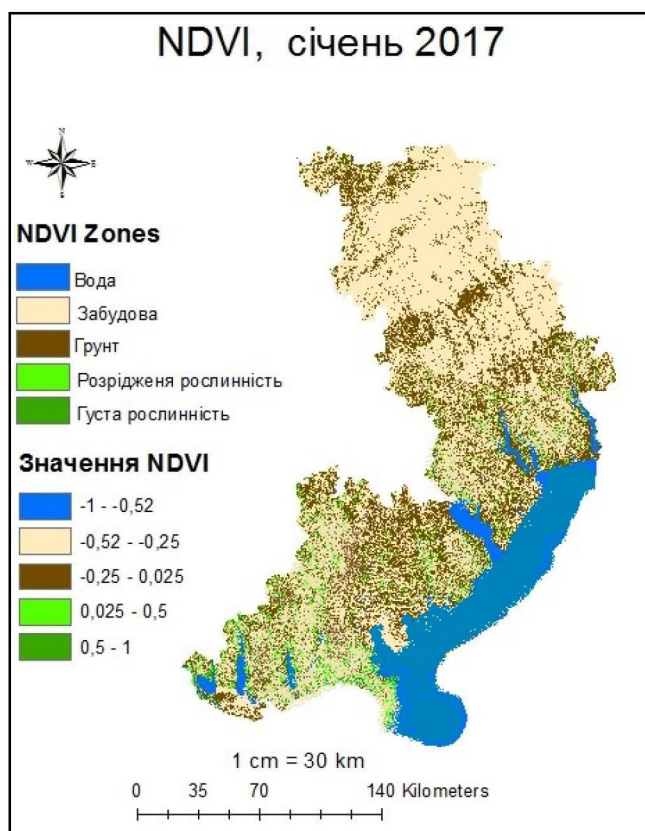


Рис. 3.40. Карта Одеської області, значення NDVI (січень 2017)

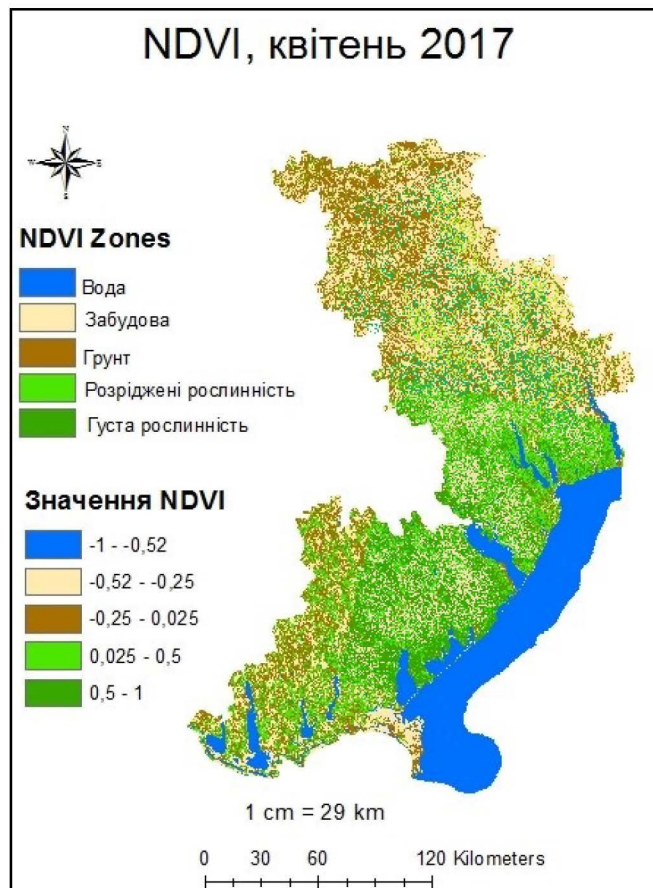


Рис. 3.41. Карта Одеської області, значення NDVI(квітень 2017)

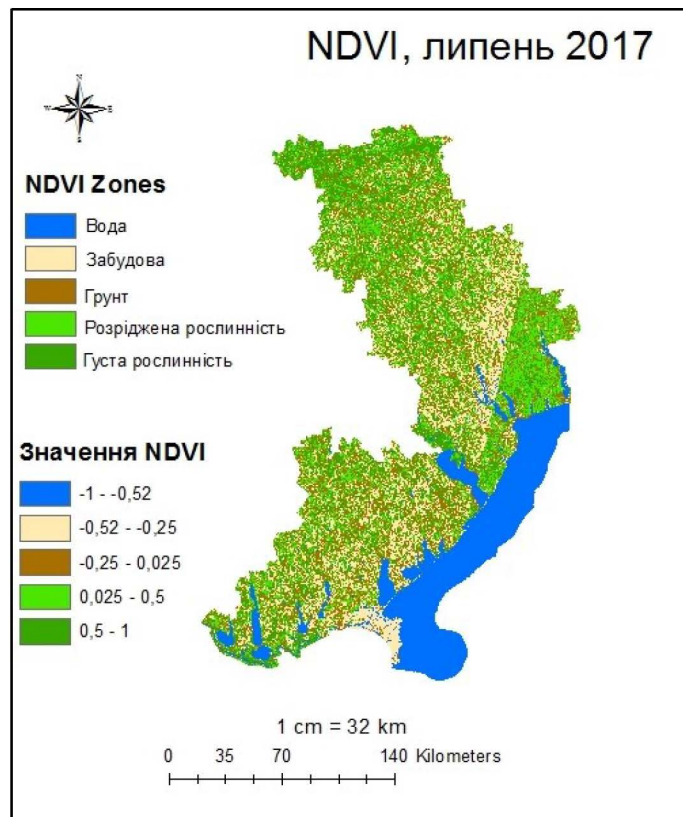


Рис. 3.42. Карта Одеської області, значення NDVI(липень 2017)

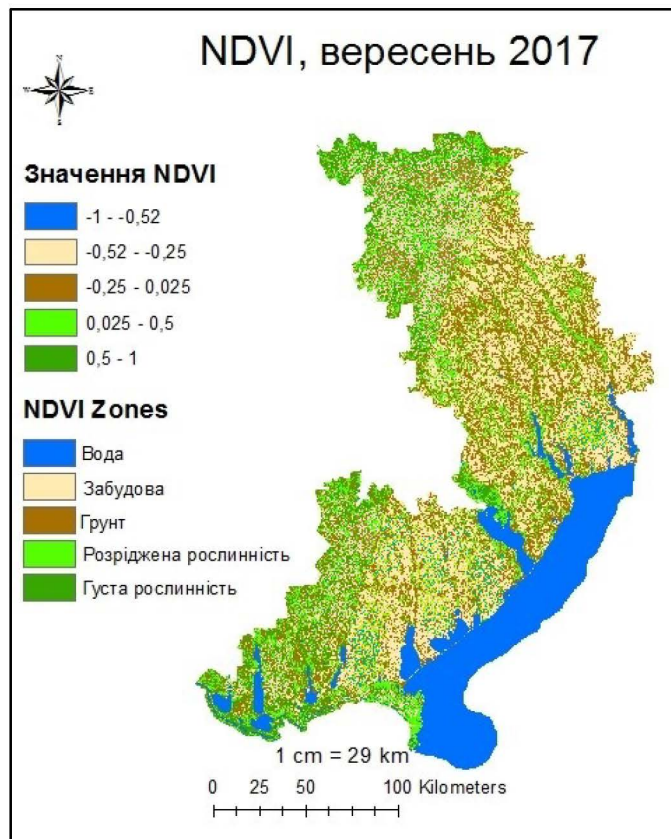


Рис. 3.43. Карта Одеської області, значення NDVI(вересень 2017)

3.2.4. Стан водних ресурсів Одеської області зі водним індексом NDWI

Нормалізований індекс різниці води (NDWI) може посылатися на один із щонайменше двох показників, отриманих дистанційним зондуванням, що стосуються рідкої води.

Рослинний покрив на поверхні Землі зазнає сильних стресів під час посухи. Якщо уражені ділянки не будуть визначені вчасно, цілі культури можуть бути пошкоджені. Раннє виявлення водяного стресу може запобігти багатьом негативним впливам на посіви. Дистанційне зондування землі та індекс NDWI можуть контролювати зрошення в режимі реального часу, значно покращуючи сільське господарство, особливо в районах, де задоволення потреб у воді важко.

На рис. 3.18-3.21. показано Одеську область, зображення якої обраховане за наступною формулою (12):

$$NDWI=(NIR-SWIR)/(NIR+SWIR) \quad (12)$$

Функціональність формули пояснюється такими міркуваннями: замість використання червоного діапазону, інтенсивність відбиття якого визначається присутністю хлорофілу, використовується короткохвильове ближнє інфрачервоне випромінювання (SWIR), в якому високе поглинання світла за воді відбувається. Можливий більш широкий діапазон 1500-1750 нм. Використання того ж ближнього інфрачервоного діапазону (NIR), що і в разі NDVI, пов'язане з тим, що вода не поглинає цю частину електромагнітного спектра, тому індекс стійкий до атмосферних впливів, що відрізняє його від NDVI. Слід зазначити, що при спостереженні за лісами індекс NDWI характеризується більш стабільним зниженням значень при досягненні критичної антропогенного навантаження, що може служити індикатором екологічного стану лісів, більш чутливих, ніж NDVI.

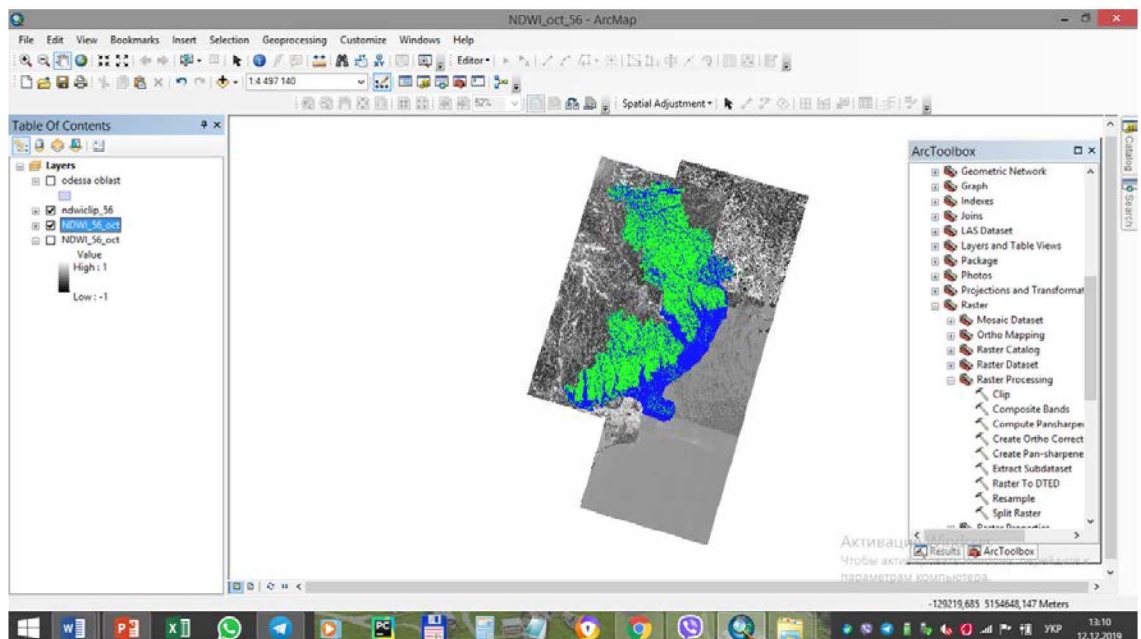


Рис. 3.44. Карта Одеської області, значення NDWI

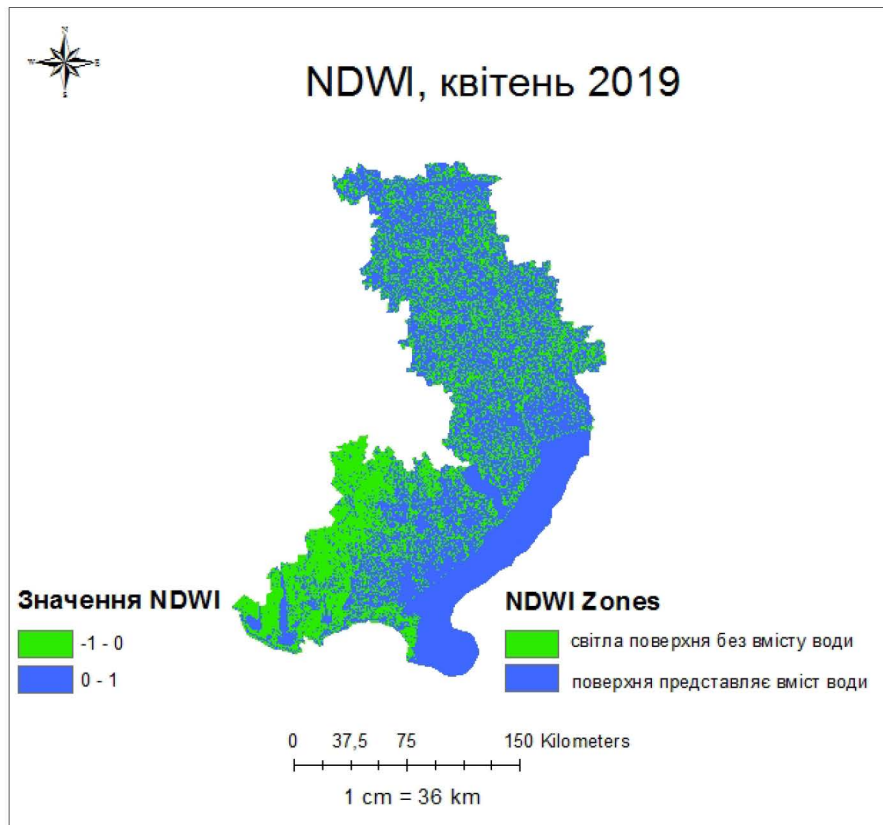


Рис. 3.45. Карта Одеської області, значення NDWI (квітень 2019)

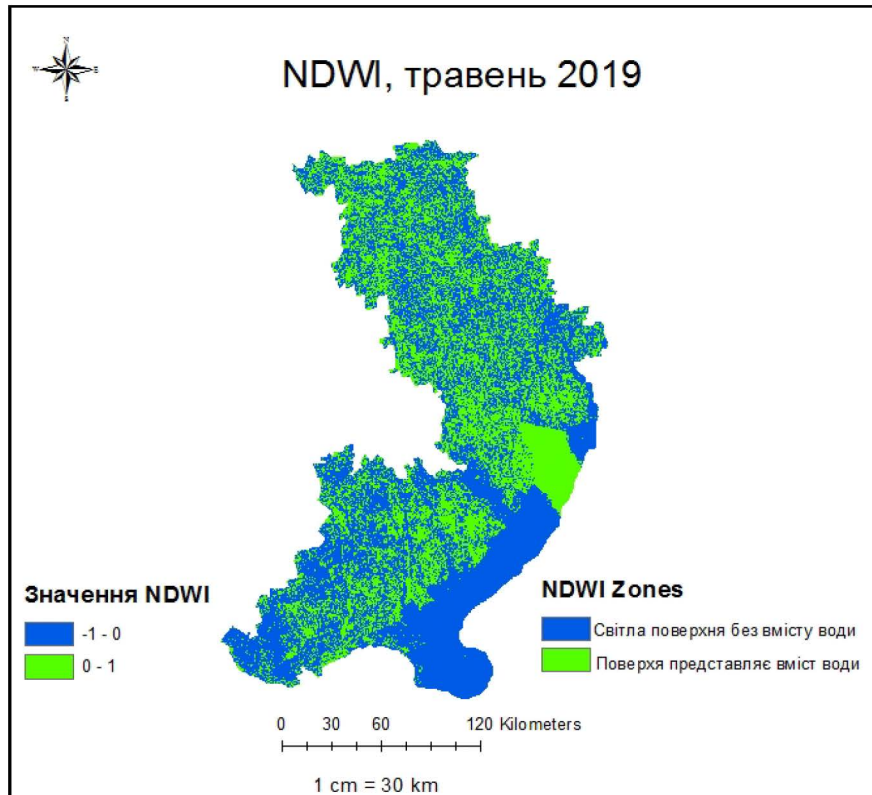


Рис. 3.46. Карта Одеської області, значення NDWI(травень 2019)

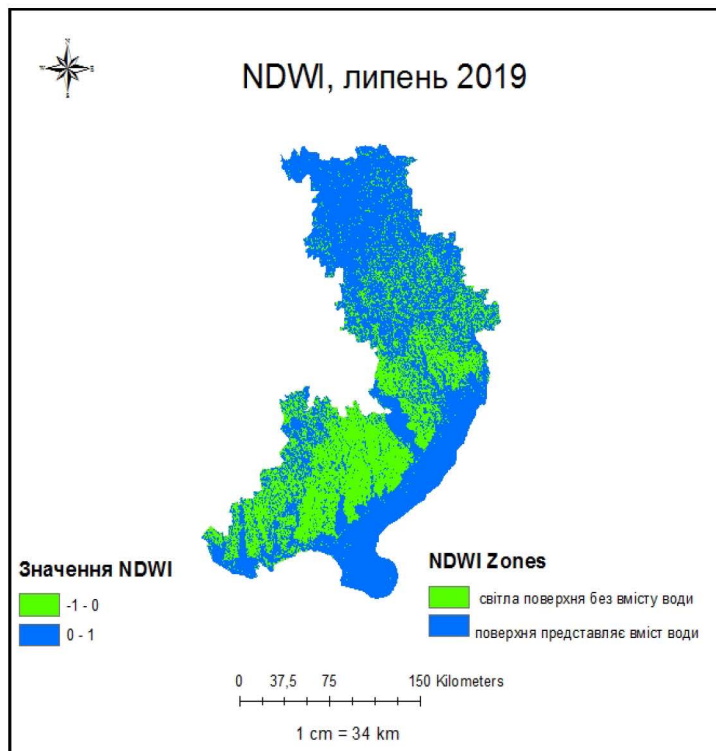


Рис. 3.47. Карта Одеської області, значення NDWI(липень 2019)

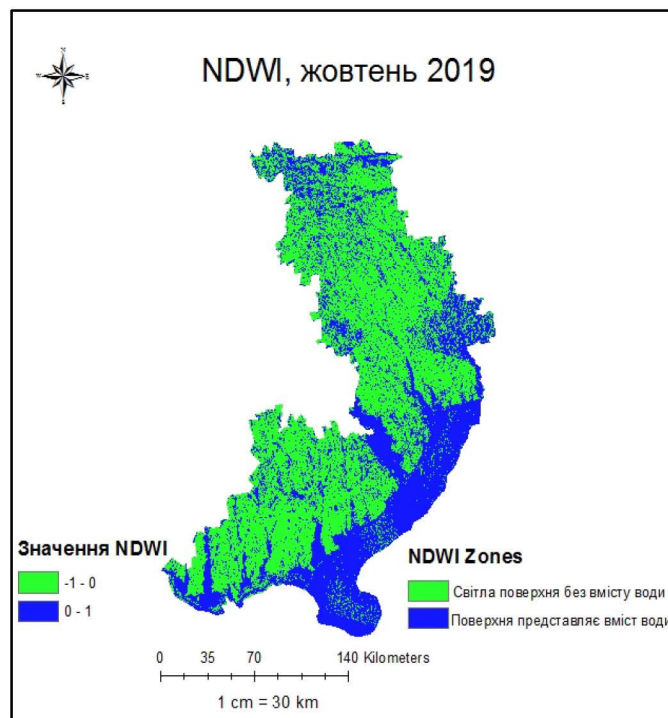


Рис. 3.48. Карта Одеської області, значення NDWI(жовтень 2019)

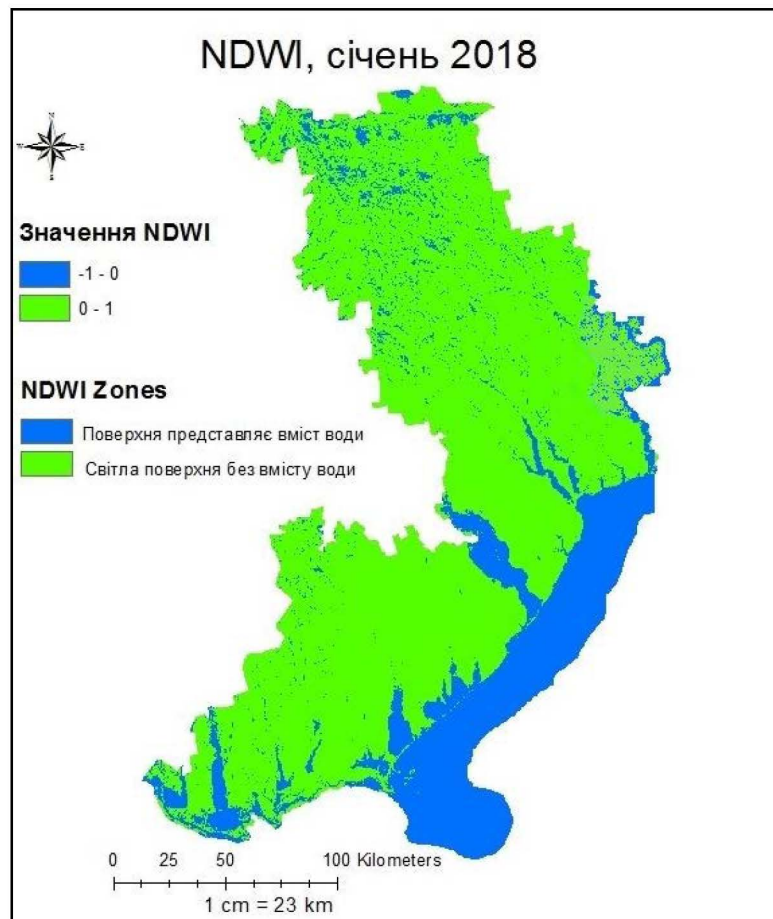


Рис. 3.49. Карта Одеської області, значення NDWI(січень 2018)

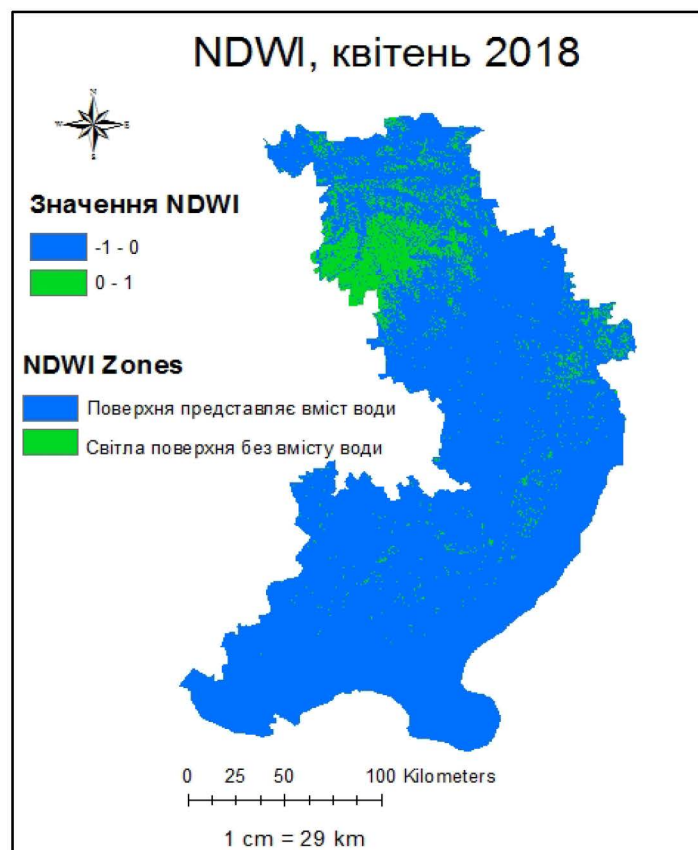


Рис. 3.50. Карта Одеської області, значення NDWI(квітень 2018)

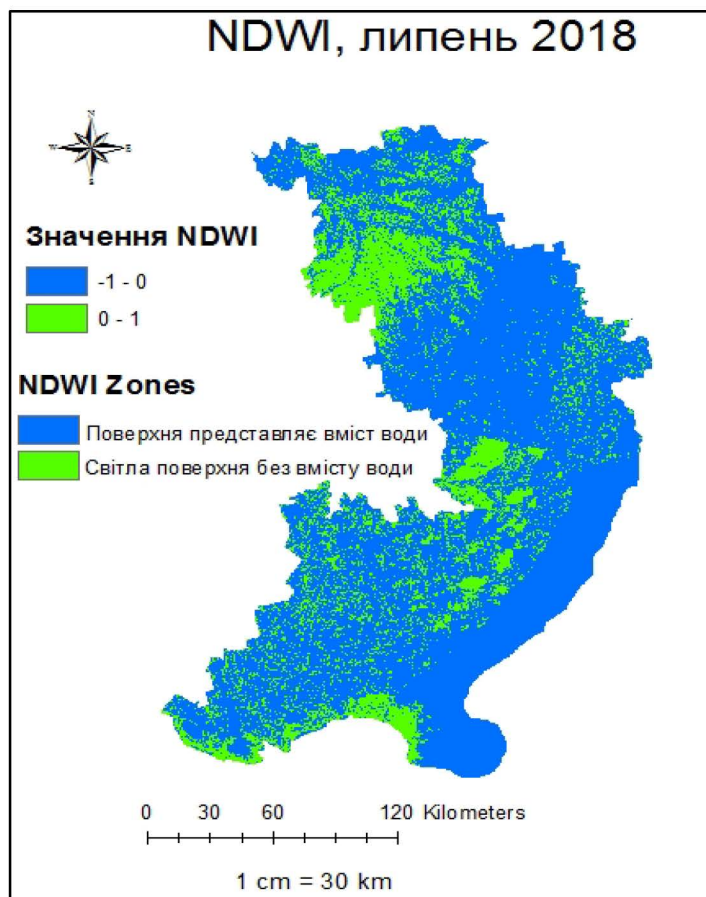


Рис. 3.51. Карта Одеської області, значення NDWI(липень 2018)

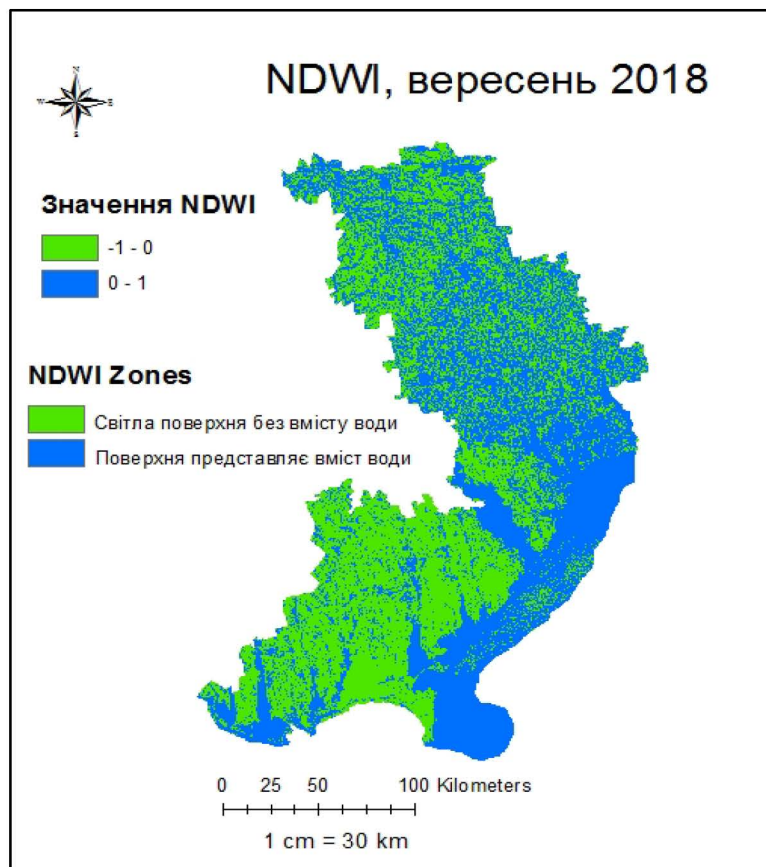


Рис. 3.52. Карта Одеської області, значення NDWI(вересень 2018)

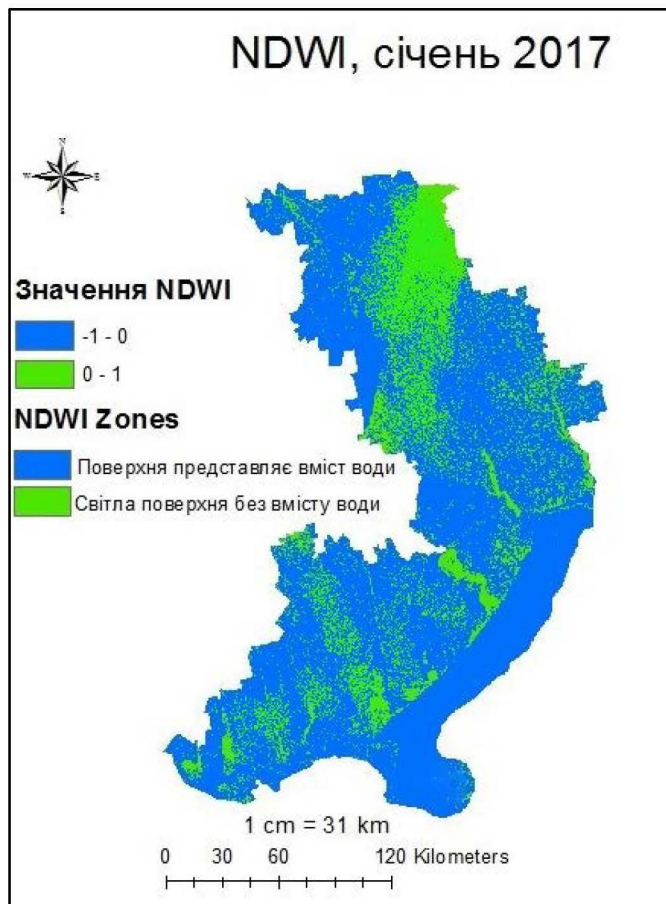


Рис. 3.53. Карта Одеської області, значення NDWI(січень 2017)

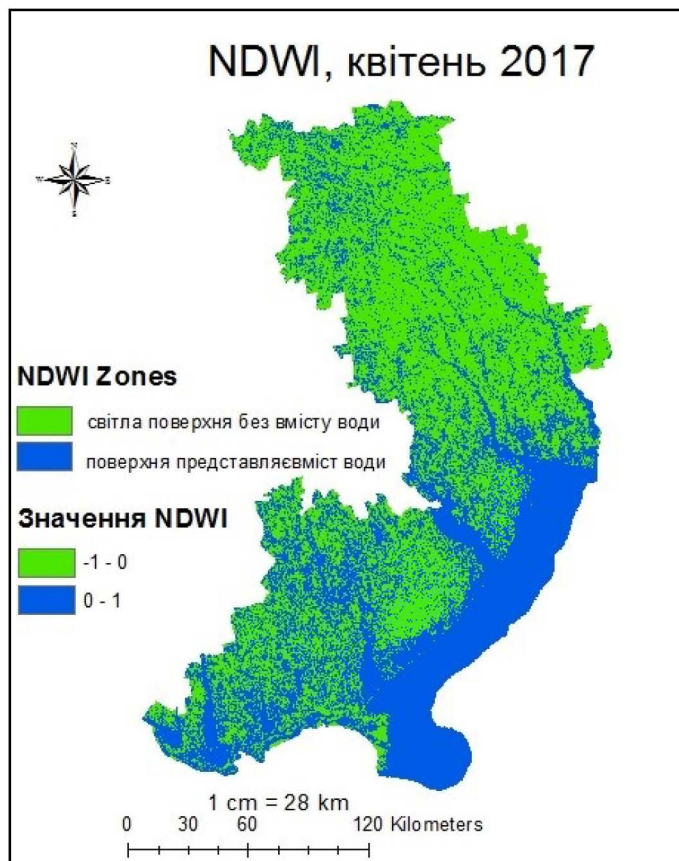


Рис. 3.54. Карта Одеської області, значення NDWI(квітень 2017)

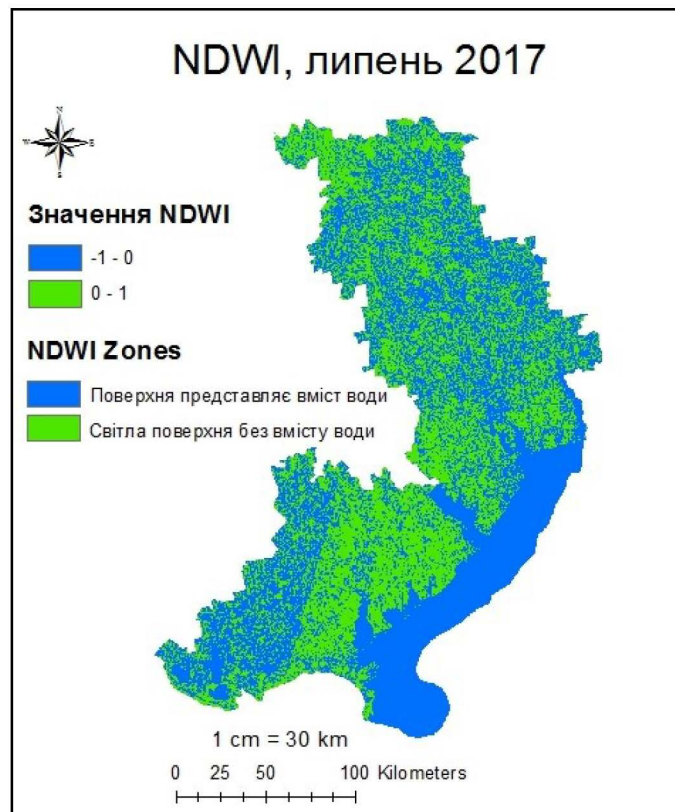


Рис. 3.55. Карта Одеської області, значення NDWI(липень 2017)

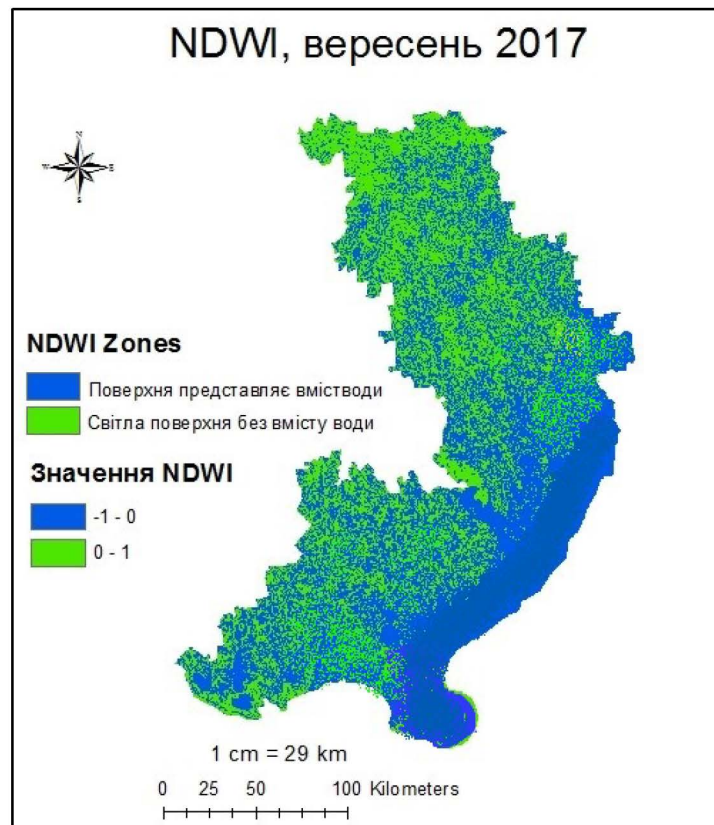


Рис. 3.56. Карта Одеської області, значення NDWI(вересень 2017)

Інша формула використовується для моніторингу змін, пов'язаних із вмістом води у водоймах, використовуючи зелену та NIR довжини хвиль, визначені McFeeters (13) (1996):

$$NDWI = \frac{GREEN-NIR}{GREEN+NIR} (13)$$

У дистанційному зондуванні зображення в співвідношенні або спектральне нормування – це методи вдосконалення, в яких растровий піксель з однієї спектральної смуги ділиться на відповідне значення в іншій смузі. [37] Обидва індекси вище мають однакову функціональну форму; вибір використовуваних смуг – це те, що робить їх придатними для певної мети.

Коли потрібно знайти рівень води або зміну рівня води (наприклад, затоплення), тоді доцільно використовувати Green та NIR спектри спектральних смуг. Як можна бачити на рис. 3.23.-3.27 територія Одеської області, визначена за вище наведеною формулою, даний індекс дозволяє побачити зміни, які з водними ресурсами впродовж 2019 року.

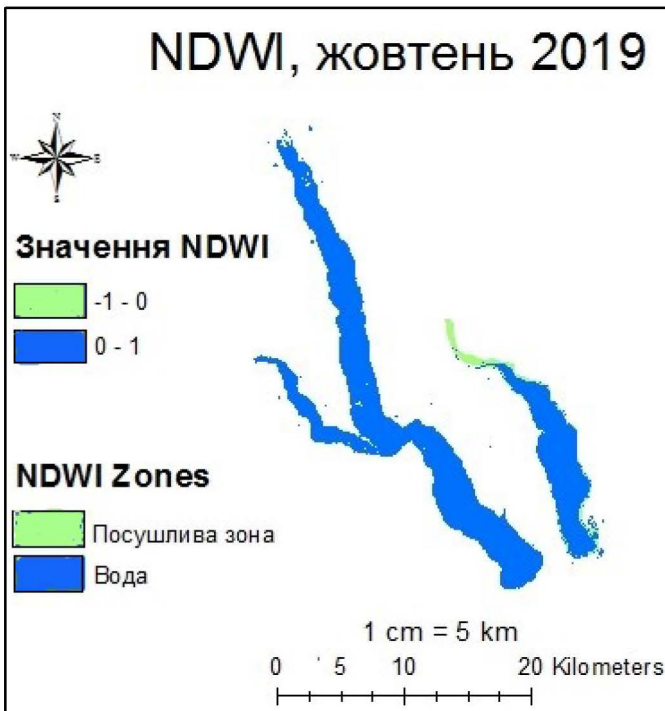
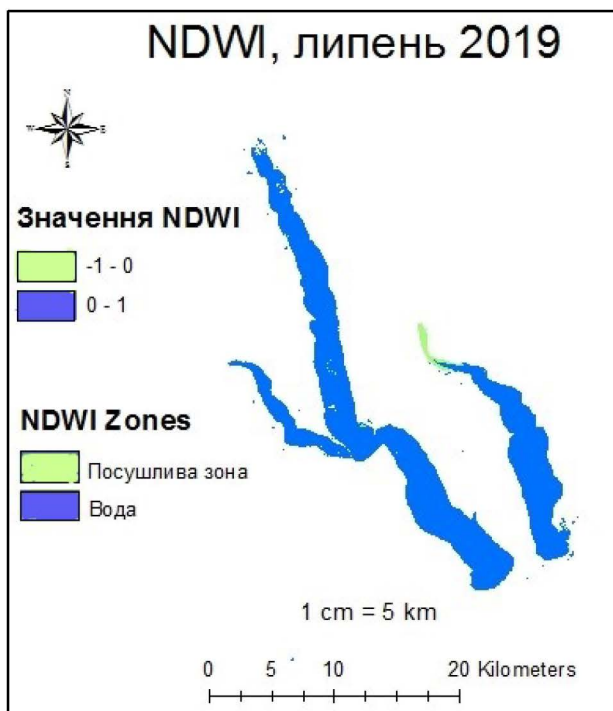
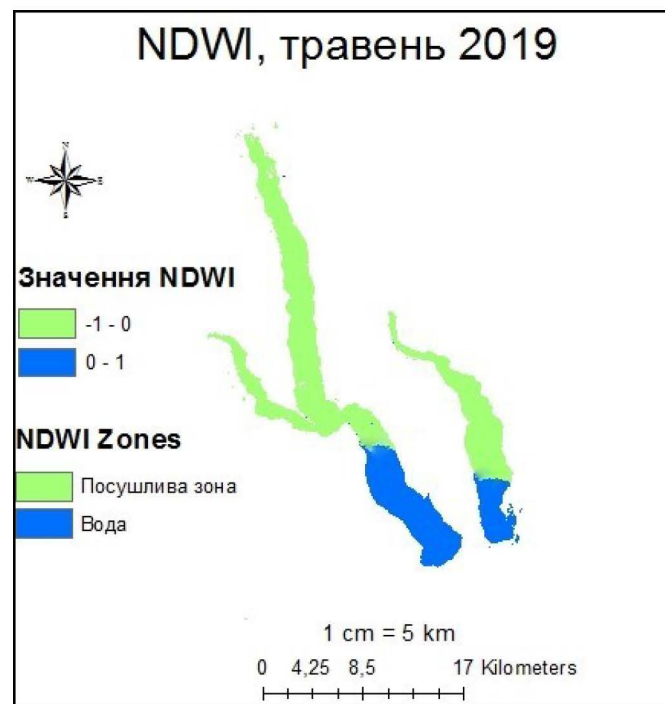
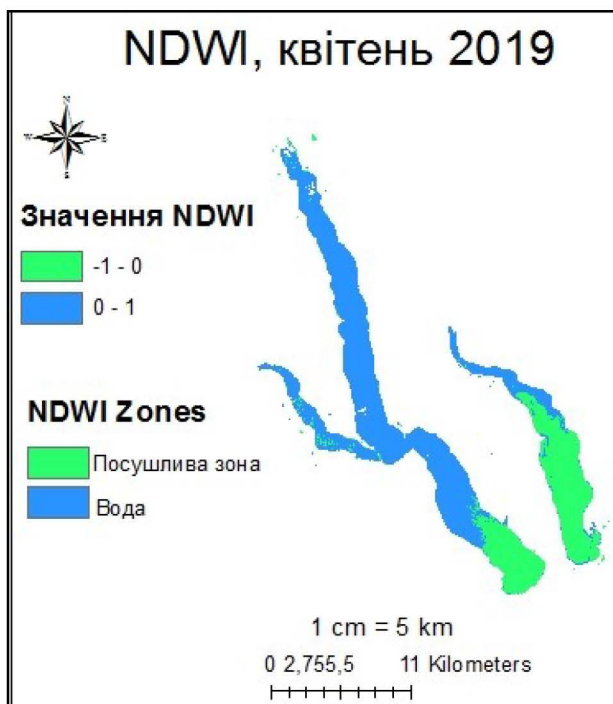


Рис. 3.57 Карты Куяльницького та Хаджибейського лиманів, значення за 2019 рік

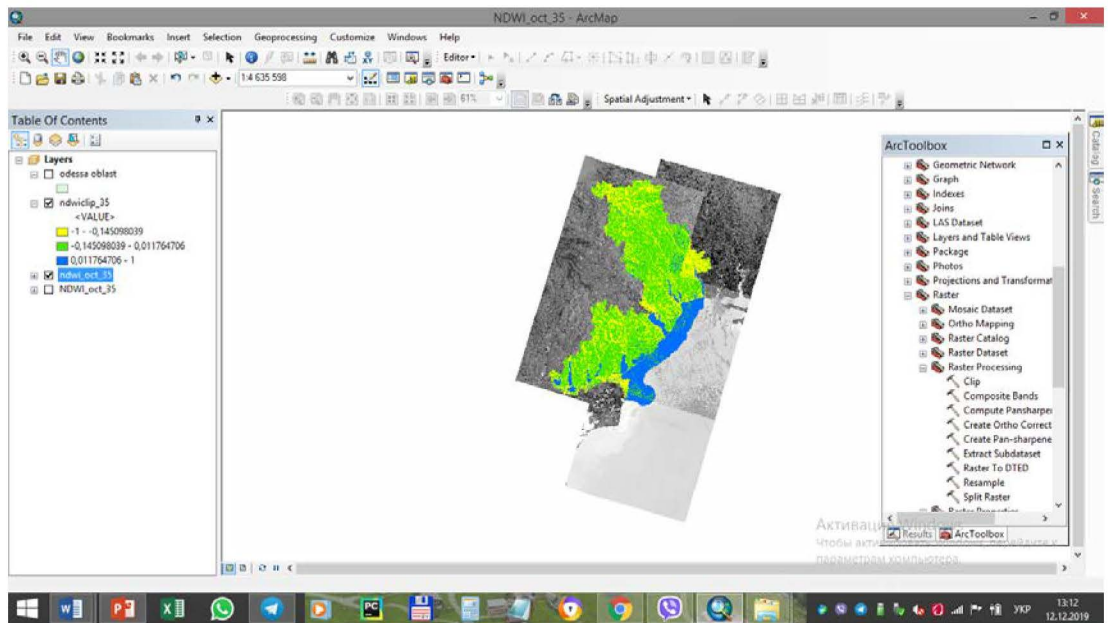


Рис. 3.58. Карта Одеської області, значення NDWI(жовтень 2019)

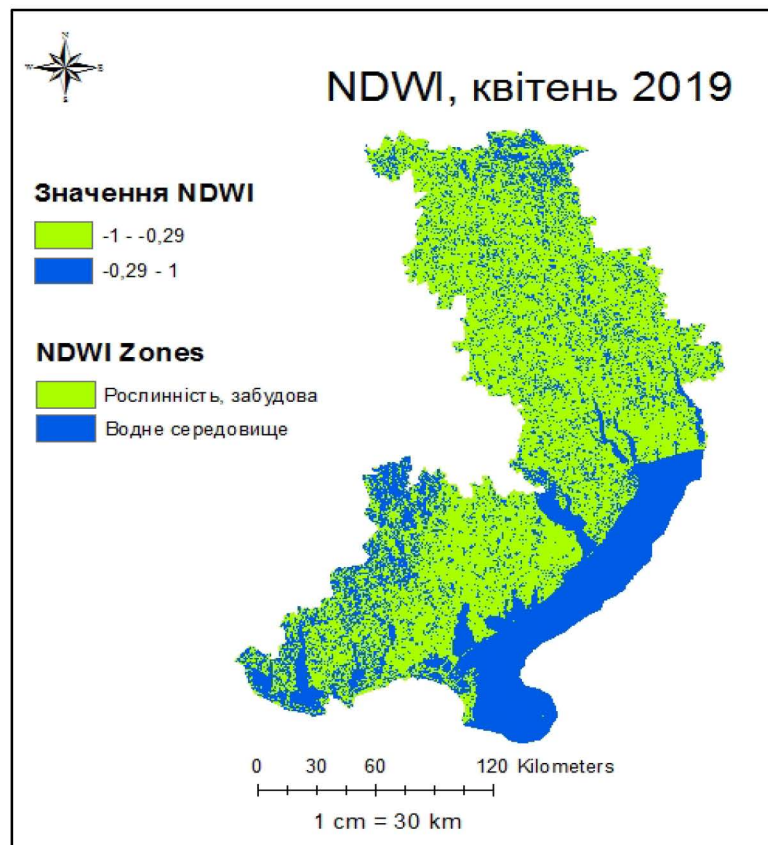


Рис. 3.59. Карта Одеської області, значення NDWI(жовтень 2019)

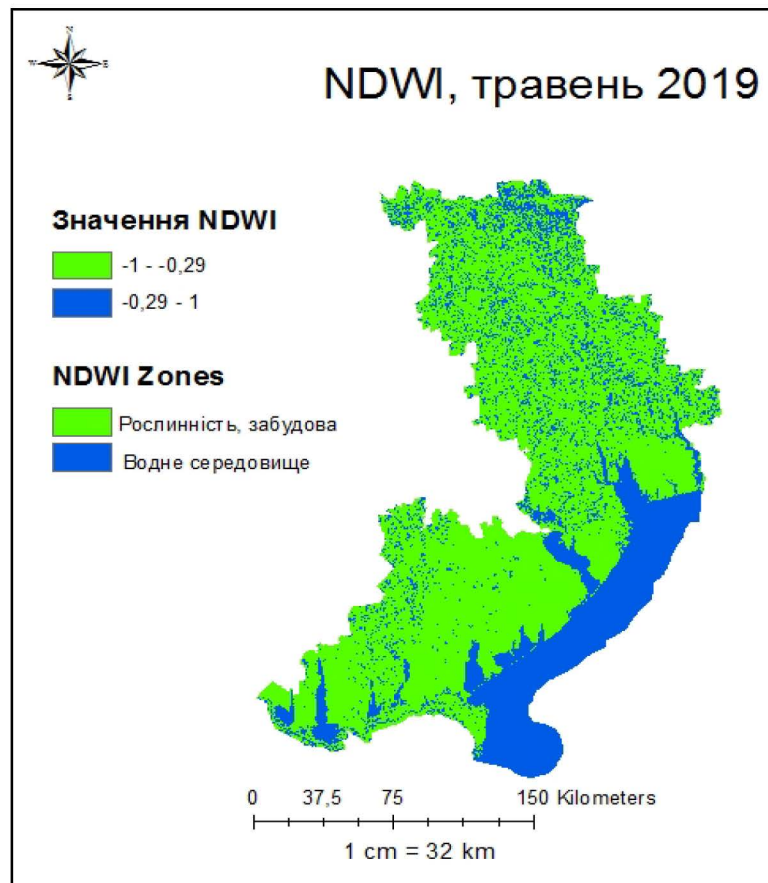


Рис. 3.60. Карта Одеської області, значення NDWI(травень 2019)

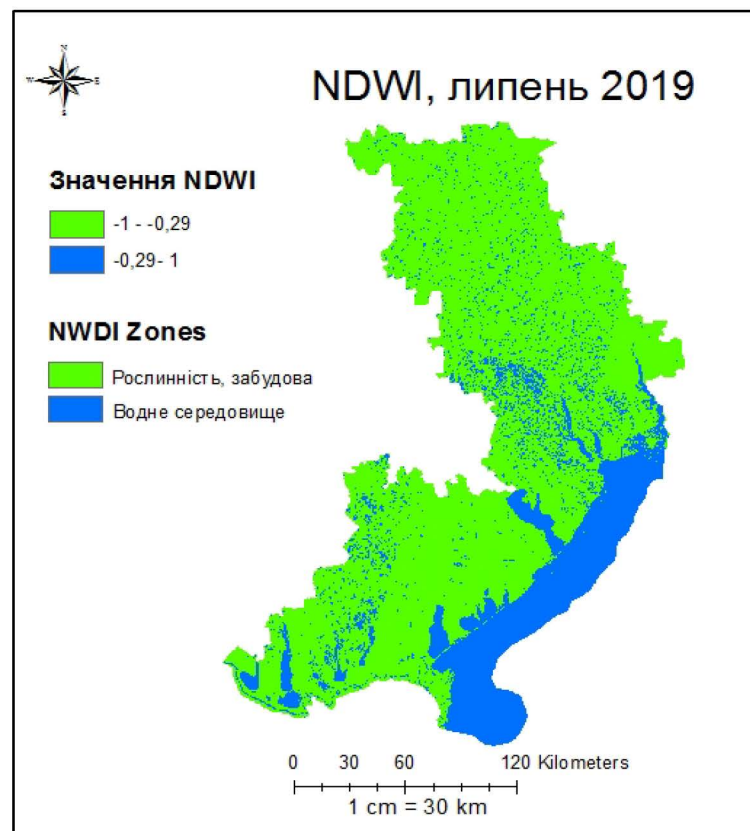


Рис. 3.61. Карта Одеської області, значення NDWI(липень 2019)

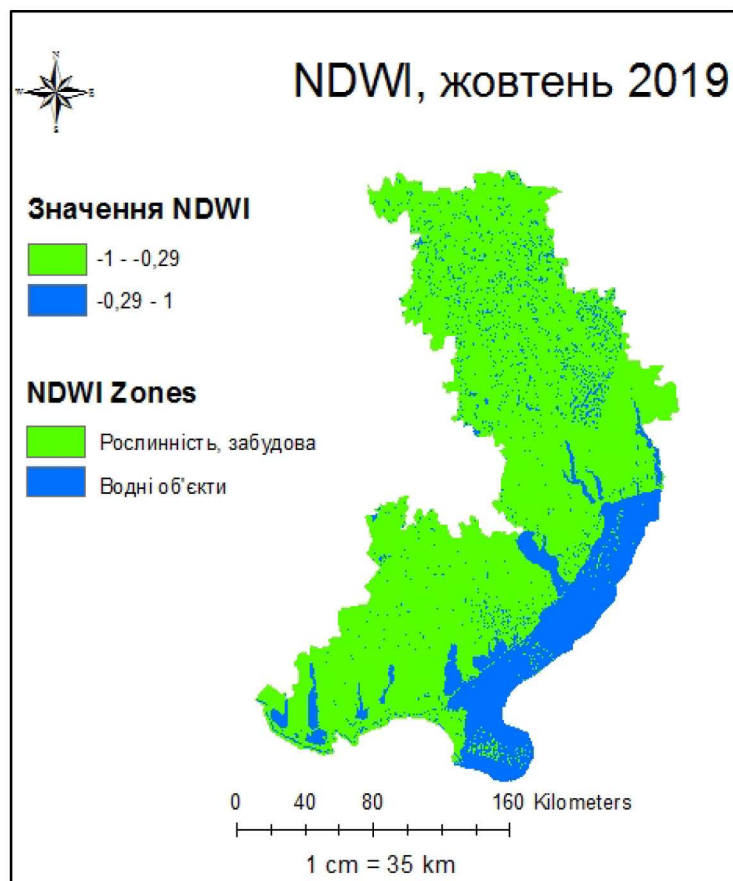


Рис. 3.62. Карта Одеської області, значення NDWI(жовтень 2019)

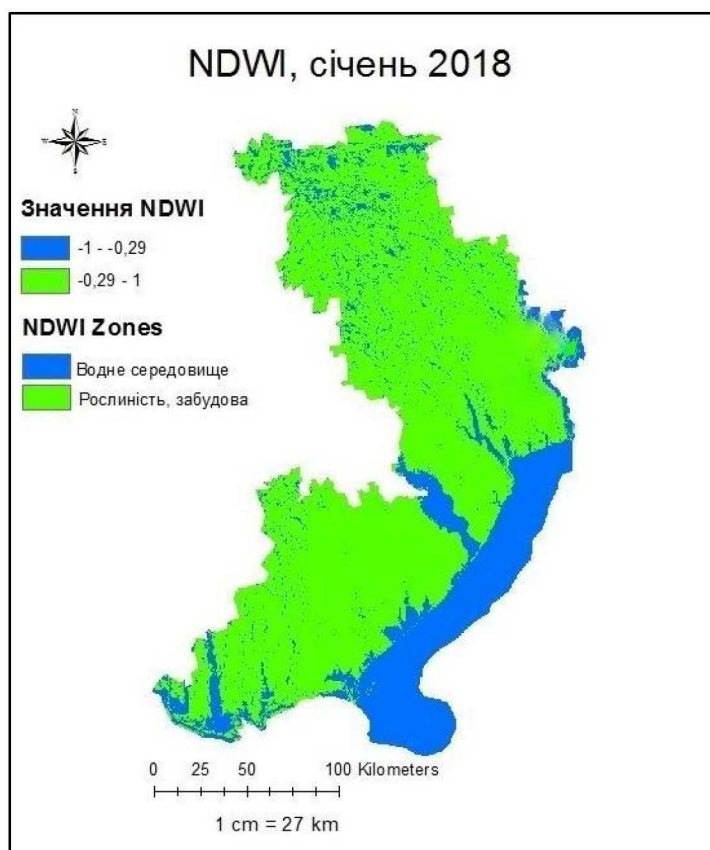


Рис. 3.63. Карта Одеської області, значення NDWI(січень 2018)

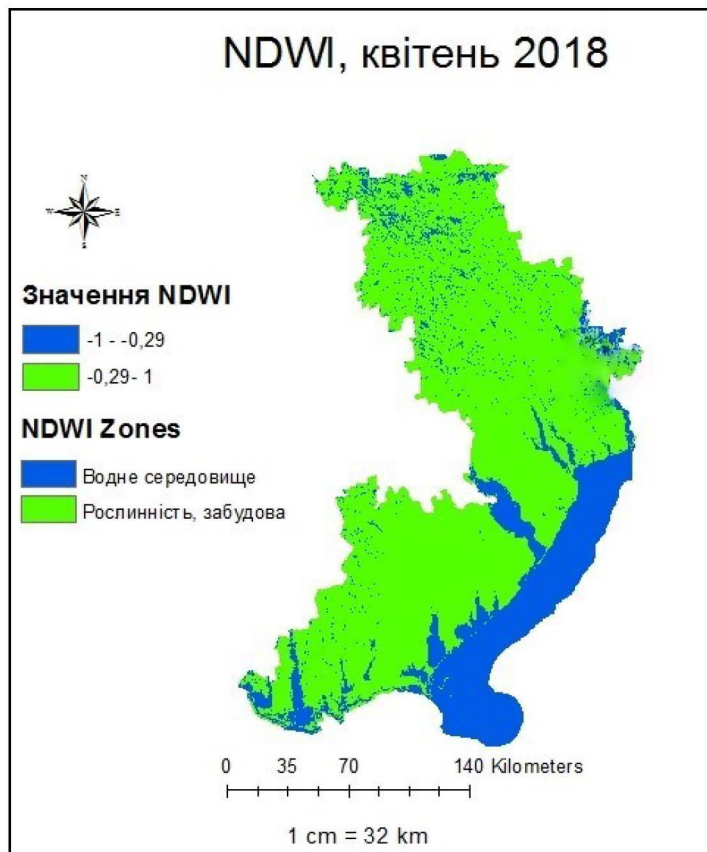


Рис. 3.64. Карта Одеської області, значення NDWI(квітень 2018)

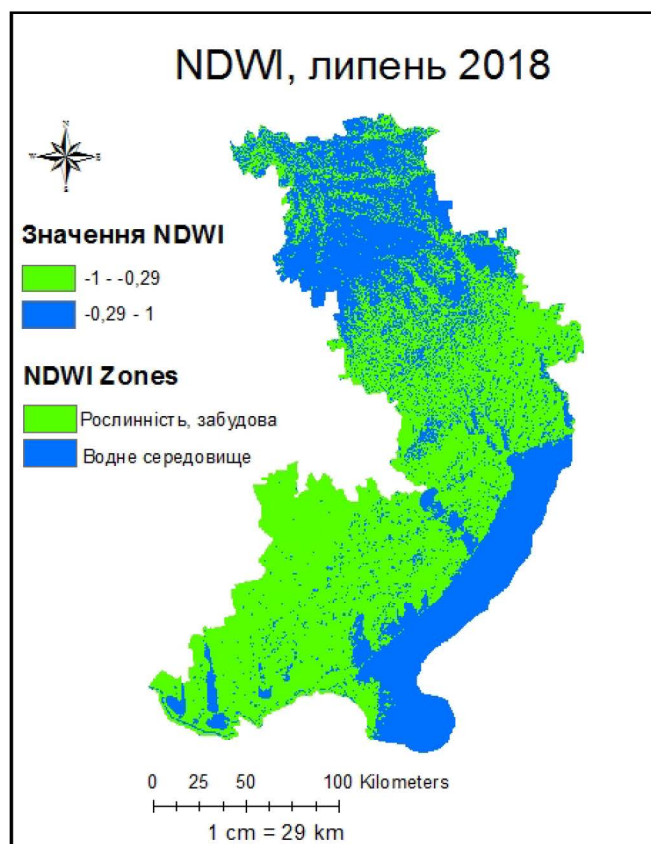


Рис. 3.65. Карта Одеської області, значення NDWI(липень 2018)

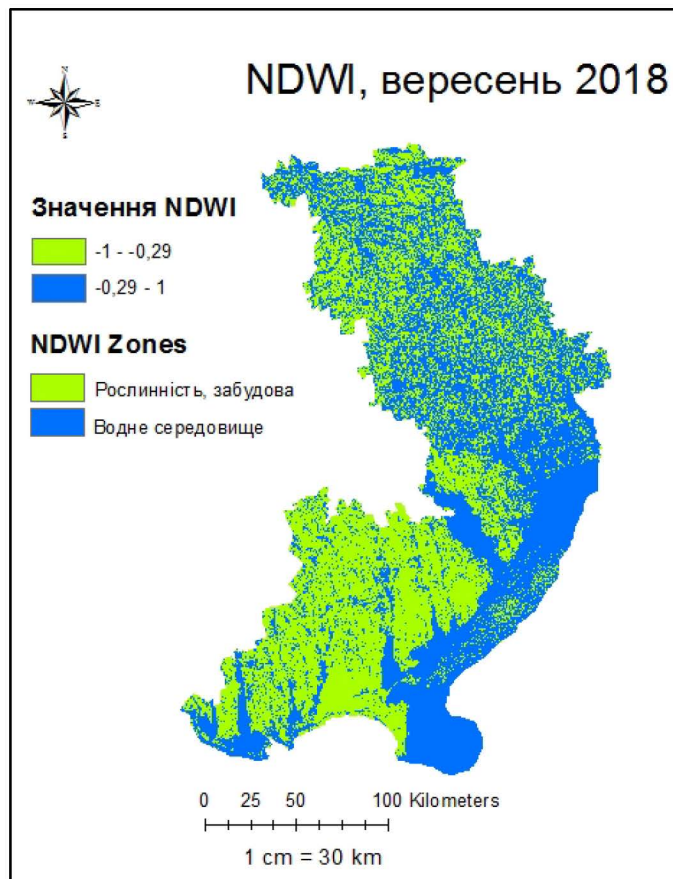


Рис. 3.66. Карта Одеської області, значення NDWI(вересень 2018)

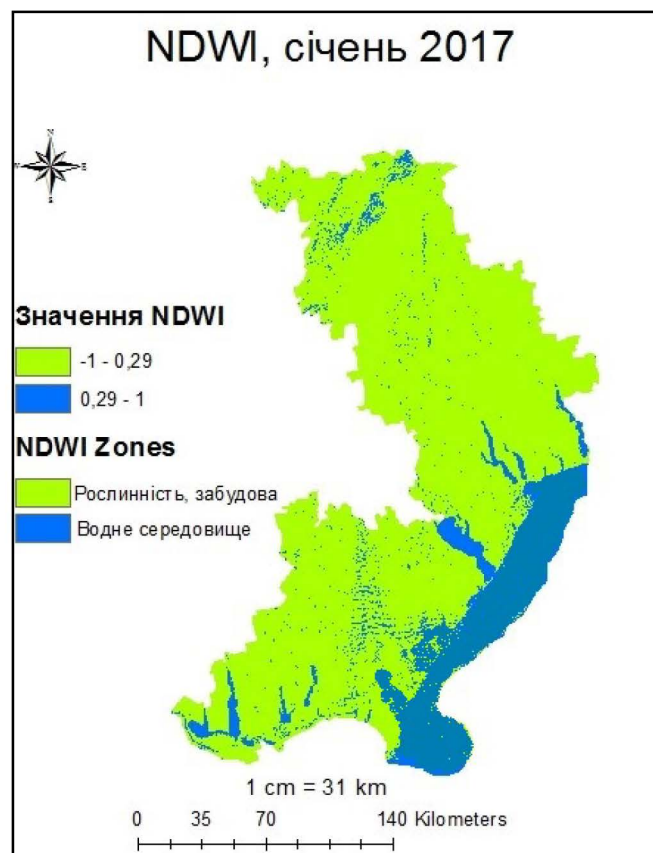


Рис. 3.67. Карта Одеської області, значення NDWI(січень 2017)

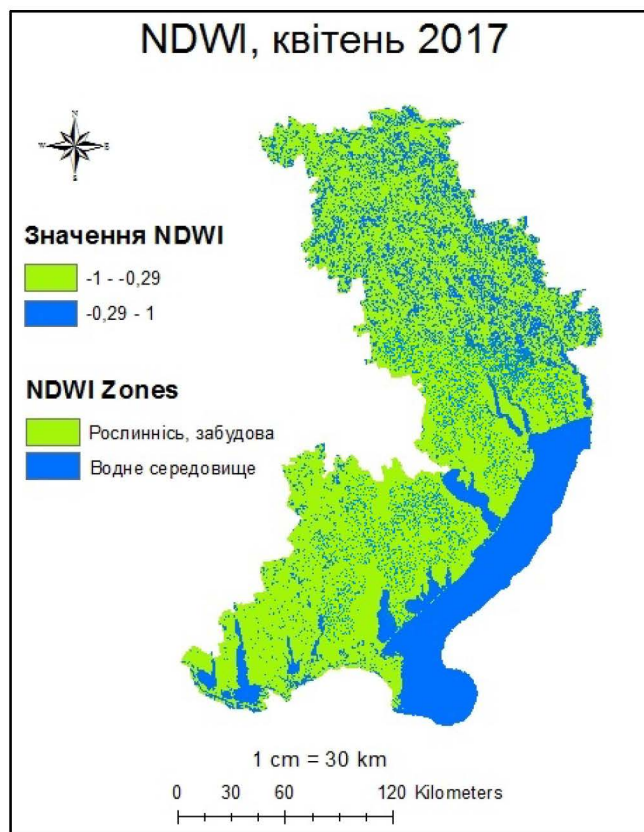


Рис. 3.68. Карта Одеської області, значення NDWI(квітень 2017)

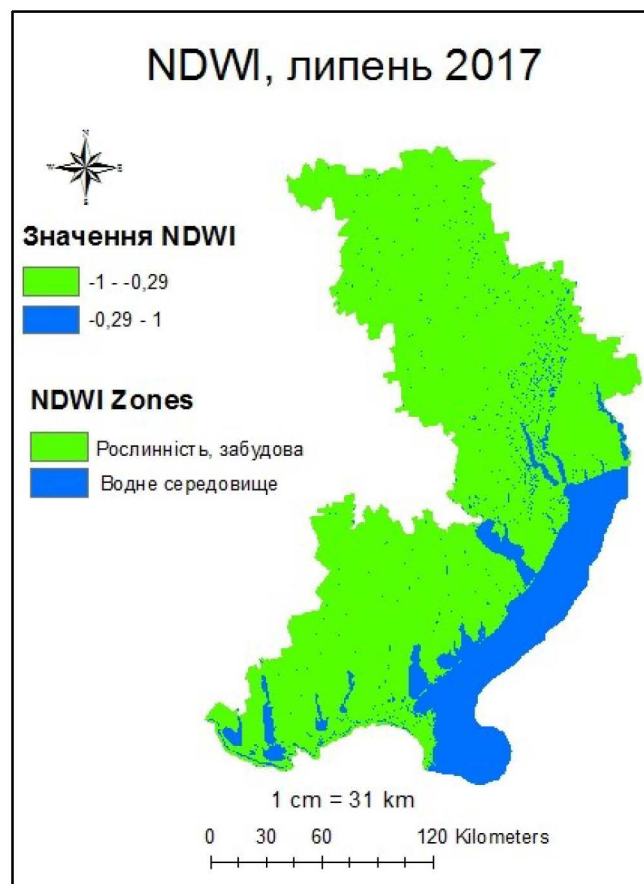


Рис. 3.69. Карта Одеської області, значення NDWI(липень 2017)

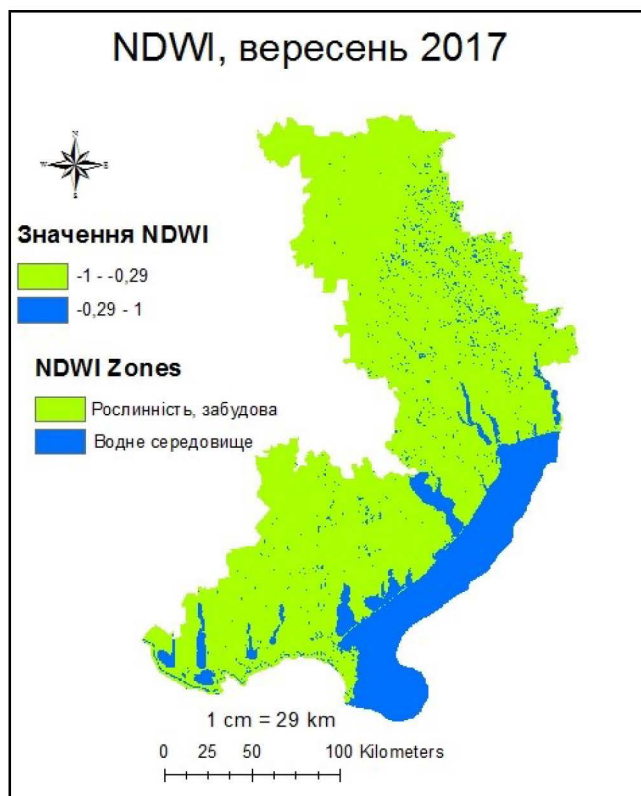


Рис. 3.70. Карта Одеської області, значення NDWI(вересень 2017)

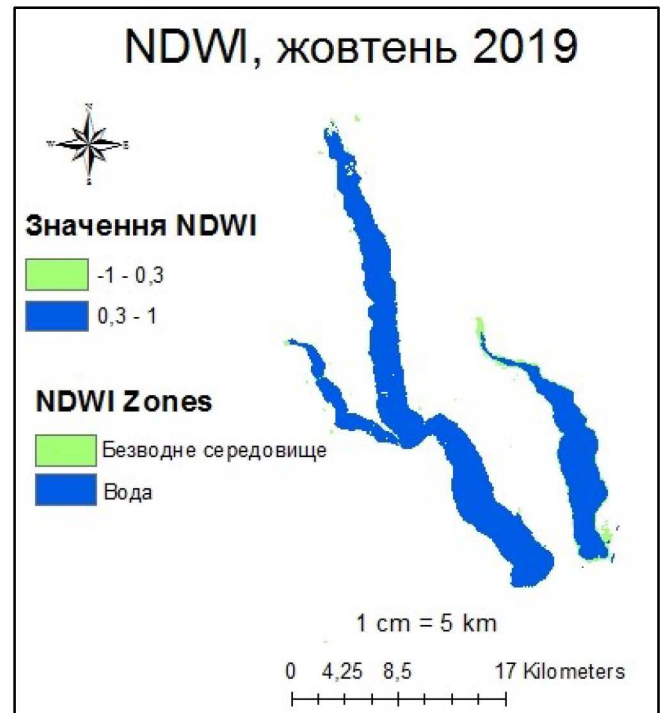
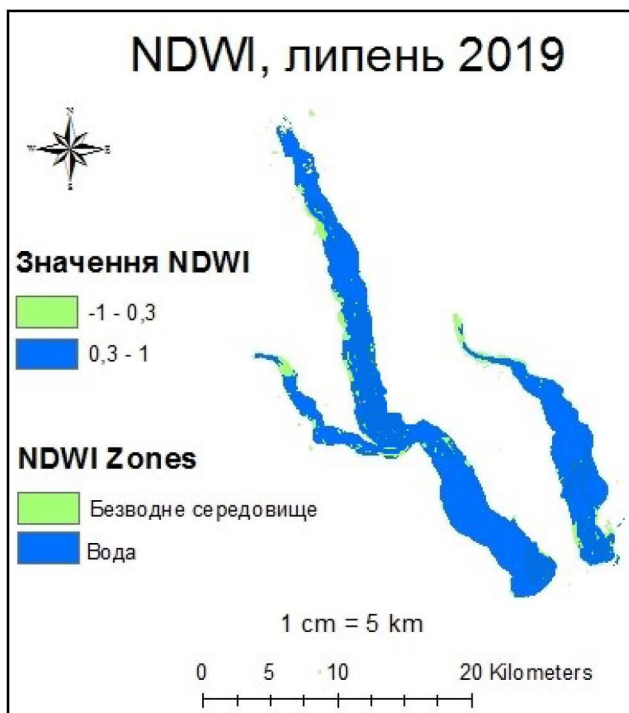
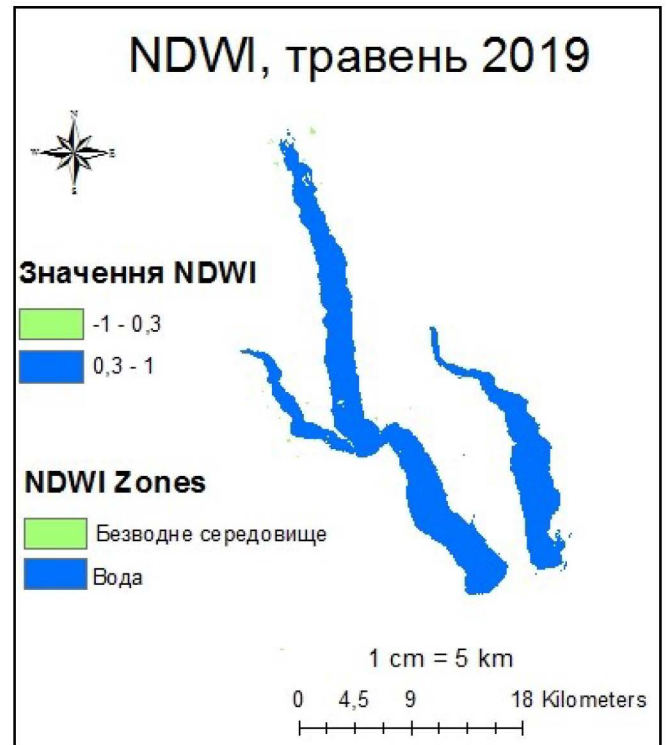
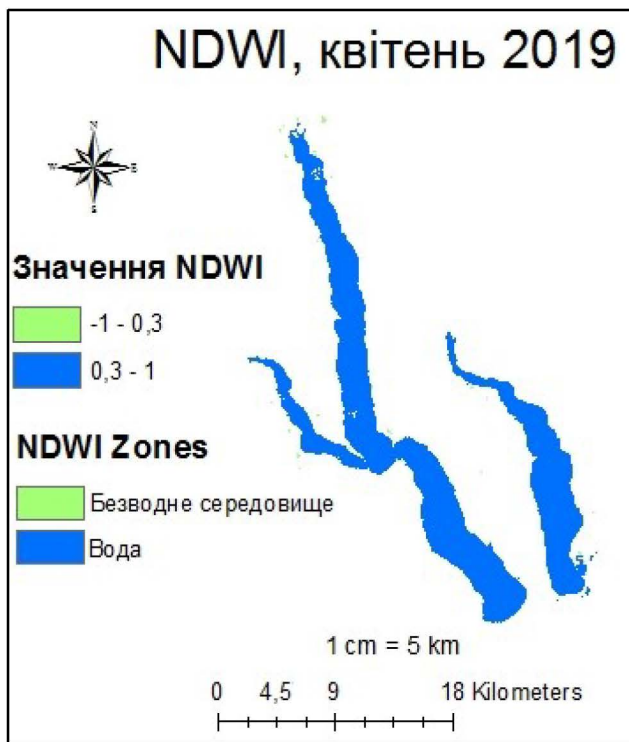


Рис. 3. 71 Карти Куяльницького та Хаджибейського лиманів, значення за 2019 рік

ВИСНОВКИ

1. Супутникові дані на сьогоднішній день є найбільш актуальними для дослідження та моніторингу за поверхнею Землі. Супутниковий моніторинг Землі дозволяє отримувати дані у відкритому доступі.

2. Запаси поверхневих вод на території Одеської області розподіляються нерівномірно. Північна та центральна частини території характеризуються обмеженими запасами води, а південь та захід, які тяжіють до річок Дністер та Дунай, мають достатній запас води.

3. Питне водопостачання області майже на 80 % забезпечується за рахунок поверхневих джерел, тому якість води у поверхневих водних об'єктах є вирішальним чинником санітарного та епідеміологічного благополуччя населення.

4. Створено декілька серій оперативних тематичних карт з використанням нормалізованих диференційних індексів в ArcGis, які виступають хорошим способом підтримки прийняття рішень у сфері моніторингу водних ресурсів Одеської області.

5. NDTI був спеціально розроблений для оцінки помутніння води за допомогою даних дистанційного зондування спеціально для ставків та внутрішніх вод. NDWI є найбільш підходящим для картографування водних об'єктів, та визначення вмісту води в рослинах. NDPI використовують для виявлення невеликих ставків із зображень високої роздільної здатності, він також використовується для розрізнення рослинності, що знаходиться у водоймах. NDVI використовується для візуалізації «цвітіння» води.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF> дата звернення 26.10.2019
2. Болсуновский М.А., Беленов А.В. Возможности картографической стереокамеры PRISM спутника ДЗЗ ALOS // Геопрофи. — 2006. — № 6. — С. 28–31.
3. В. І. Вишневський, С. А. Шевчук Оцінювання стану водних об'єктів Києва за даними дистанційного зондування Землі // Український журнал дистанційного зондування Землі 11(2016) 9–14
4. Использование данных дзз из космоса для мониторинга водных объектов // Технологии Геопрофи, №5, 2009, с.40-46
5. Никольский Д.Б. Современные тенденции в радиолокационном дистанционном зондировании Земли // Геопрофи. — 2008. — № 4. — С.19–24.
6. Всемирная орбитальная группировка космических аппаратов ДЗЗ // Геоматика. — 2008. — № 1. — С. 60–62.
7. Просторовий аналіз розповсюдження забруднень поверхневих вод і ґрунтів засобами ДЗЗ та ГІС Є.С. Анпілова , канд. техн. наук, старш. наук. співробітник; 1 В.І. Клименко , канд. техн. наук, вчений секретар, старш. наук. співробітник; 2 Д.Л. Крета , асистент кафедри; 1 О.М. Трофимчук , д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН України 1 Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ; 2 Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків, 2014. – 10 с.
8. А.В. Абросимов, Б.А. Дворкин Использование данных ДЗЗ из космоса для мониторинга водных объектов // Геопрофи 5(2009) 40-45
9. NDVI — теория и практика (<http://gis-lab.info/qa/ndvi.html>) дата звернення 01.11.2019
10. Наукове видання. Меліорація і водне господарство Випуск 104 Міжвідомчий тематичний науковий збірник Заснований у 1965 році.

11. Електронна бібліотека Національна бібліотека імені В. І. Вернадського http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe дата звернення 04.11.2019
12. Департамент екології та природних ресурсів одеської обласної державної адміністрації <http://ecology.odessa.gov.ua/zvti/> дата звернення 04.11.2019
13. Міністерство енергетики та захисту довкілля <https://menr.gov.ua/timeline/Ohorona-vod.html> дата звернення 04.11.2019
14. Водний кодекс України <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80> дата звернення 04.11.2019
15. Національний центр управління та випробувань космічних засобів <http://spacecenter.gov.ua/dzz> дата звернення 09.11.2019
16. Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 3755–3769, 2015 A review of applications of satellite SAR, optical, altimetry and DEM data for surface water modelling, mapping and parameter estimation Z. N. Musa, I. Popescu, and A. Mynett
17. Owe, M., Brubaker, K., Ritchie, J., and Albert, R.: Remote sensing and Hydrology, 2000, IAHS, Wallingford, OX, UK, 2001.
18. Smith, L. C.: Satellite Remote Sensing of River Inundation Area, Stage and Discharge: A review, Hydrol. Process. 11, 1427–1439, 1997.
19. Quinn, P. F., Hewett, C. J. M., Muste, M., and Popescu, I.: Towards new types of water-centric collaboration, Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management, 163, 39– 51, doi:10.1680/wama.2010.163.1.39, 2010.
20. Pereira-Cardenal, S. J., Riegels, N. D., Berry, P. A. M., Smith, R. G., Yakovlev, A., Siegfried, T. U., and Bauer-Gottwein, P.: Real-time remote sensing driven river basin modeling using radar altimetry, Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 241–254, doi:10.5194/hess-15-241- 2011, 2011
21. Lillesand, T., Kiefer, R. W., and Chapman, J. W.: Remote sensing and image interpretation, 5th Edn., John Wiley and sons, Hobone, NJ, USA, 2004.
22. Використання матеріалів дзз у моніторингу та управлінні водними ресурсами М. П. Слободяник проблеми безперервної географічної освіти і картографії Збірник наукових праць. – Харків, 2015. – Випуск 21 с. 80-84

23. Мозговой Д.К. Обработка спутниковых снимков при решении прикладных задач / Д.К. Мозговой // Международный научно-практический форум «Наука и бизнес». 29–30 июня 2015 года: тезисы докладов. – Днепропетровск, Noosphere Ventures inc. – С. 191–194.
24. Бурштинська Х. В. Аерокосмічні знімальні системи: Навч. посібник / Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич. – Львів: Видавництво Львівської Політехніки, 2010. – 292 с.
25. Assessment of Water Quality Parameters Using Temporal Remote Sensing Spectral Reflectance in Arid Environments, Saudi Arabia Mohamed Elhag, Ioannis Gitas, Anas Othman, Jarbou Bahrawi and Petros Gikas Water 2019, 11, 556/
<https://www.mdpi.com/journal/water>
26. Lacaux, J.P.; Tourre, Y.M.; Vignolles, C.; Ndione, J.A.; Lafaye, M. Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. Remote Sens. Environ. 2007, 106, 66–74
27. Assessing Water Clarity to Identify Potential Areas of Submerged Aquatic Vegetation in Chesapeake Bay Earthzine August 21, 2017 DEVELOP Spring 2017 Article Session, Original <https://earthzine.org/assessing-water-clarity-to-identify-potential-areas-of-submerged-aquatic-vegetation-in-chesapeake-bay-2/> дата звернення 18.11.2019
28. Вегетационные индексы <http://gis-lab.info/qa/vi.html> дата звернення 18.11.2019
29. ERDAS IMAGINE http://wiki.gis.com/wiki/index.php/ERDAS_IMAGINE дата звернення 18.11.2019
30. Remote sensing http://wiki.gis.com/wiki/index.php/Remote_sensing дата звернення 18.11.2019
31. Index Database A database for remote sensing indices <https://www.indexdatabase.de/db/i.php> дата звернення 19.11.2019
32. Clemas V. Remote sensing of algal blooms: an overview with case studies. Journal of Coastal Research, 2012, vol. 28, pp. 34–43.

33. Monirul Islam and Kimiteru Sado, 2006. "Analyses of ASTER and Spectroradiometer data with in situ measurements for turbidity and transparency study of lake Abashri", *International Journal of Geoinformatics*. Vol. 2. 31-45.
34. J.P. Lacaux, Y.M. Toure, C. Vignolles, J.A. Ndione, M. Lafaye, 1986, "Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal", *remote Sensing of Environment* 106, 66–74.
35. U.S. Geological Survey <https://earthexplorer.usgs.gov/> дата звернення 10.11.2019
36. Gao. "NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space." 1996. http://ceeserver.cee.cornell.edu/wdp2/cee6150/Readings/Gao_1996_RSE_58_257-266_NDWI.pdf дата звернення 22.11.2019
37. Lillisand & Kifer <https://www.harrisgeospatial.com/docs/BandRatios.html> дата звернення 22.11.2019
38. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain Ceccato et al. 2001 <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.475.6832&rep=rep1&type=pdf> дата звернення 22.11.2019
39. Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a Geographic Information System to Detect Swimming Pools for Mosquito Abatement: A Practical Approach <https://www.mdpi.com/2072-4292/5/7/3544/htm>
40. Gates, David M. (1980) *Biophysical Ecology*, Springer-Verlag, New York, 611 p.
41. "Measuring Vegetation" NASA Earth Observatory. 2000-08-30.
42. Crippen, R.E. (1990) 'Calculating the vegetation index faster,' *Remote Sensing of Environment*, 34, 71-73.
43. Sellers, P. J. (1985) 'Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration', *International Journal of Remote Sensing*, 6, 1335-1372.
44. Одеська обласна державна адміністрація департамент екології та природних ресурсів Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2018 році, м. Одеса, 2019. – 241 с.

45. Assessing Water Clarity to Identify Potential Areas of Submerged Aquatic Vegetation in Chesapeake Bay <https://earthzine.org/assessing-water-clarity-to-identify-potential-areas-of-submerged-aquatic-vegetation-in-chesapeake-bay-2/> Earthzine August 21, 2017
46. Оцінювання стану водних об'єктів Києва за даними дистанційного зондування Землі В. І. Вишневський, С. А. Шевчук / Український журнал дистанційного зондування Землі 11 (2016) 9–14
47. Шевчук С. А. Використання даних супутника Landsat 8 для визначення мікрокліматичних особливостей Києва / С. А. Шевчук, В. І. Вишневський [Електронний ресурс] // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2016. — № 10. — С. 10–16. — Режим доступу до журналу: <http://www.ujrs.org.ua>
48. Landsat 8 (L8) data users handbook [Електронний ресурс].—Режим доступу https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook-v5.0.pdf. – Назва з екрану
49. What are the processing levels for Landsat Level-1 data?https://www.usgs.gov/faqs/what-are-processing-levels-landsat-level-1-data?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products – Назва з екрану
50. Automatic Extraction of Water Features at Multiple Scale/Submitted by Manohar Kumar. C.V.S.S. / Indian Institute of Remote Sensing, Indian Space Research Organization – Uttarakhand, India, June, 2015
51. Охрана труда при работе с компьютером <https://news.dtkr.ua/ru/labor/labor-relations/39447> – Назва з екрану
52. Охорона праці при роботі з комп'ютерною технікою <http://oppb.com.ua/content/ohorona-praci-pry-roboti-z-kompyuternoyu-tehnikoyu> – Назва з екрану
53. Інструкція з охорони праці при роботі з комп'ютером, принтером, ксероксом та іншою оргтехнікою <https://osvita-docs.com/node/41> – Назва з екрану